



# '26

## ХЕМИЈСКИ ПРЕГЛЕД

YU ISSN 04406826  
UDC 54.011.93

### Век од рођења



академика

**Драгомира Виторовића**  
(1926-2015)

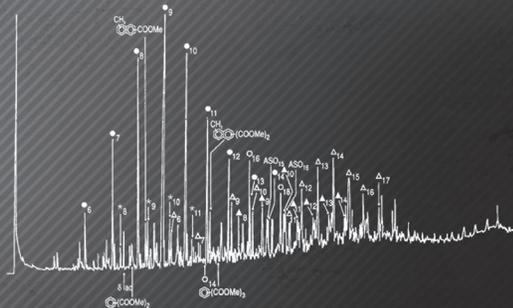


Fig. 1. Gas chromatogram of ether-soluble acids K4 obtained by oxidation of Estonian kukersite kerogen (fourth fraction). Methyl-esters of ○ —  $\alpha$ -monocarboxylic acids; ● —  $\alpha,\omega$ -dicarboxylic acids; \* — 2-methylidicarboxylic acids; □ — branched dicarboxylic acids; △ — alkyltricarboxylic acids; ▲ — alkyltetracarboxylic acids; ASOn —  $n$ -alkylsuccinic acids with O-function in alkyl-chain;  $\gamma$ - and  $\delta$ -lac —  $\gamma$ - and  $\delta$ -lactones;  $n$  — total number of C atoms.

**Водећег органског геохемичара  
друге половине двадесетог века**

[hp.shd.org.rs](http://hp.shd.org.rs)

# ХЕМИЈСКИ ПРЕГЛЕД CHEMICAL REVIEW



Editor-in-Chief  
DRAGICA D. TRIVIĆ

Volume 67  
NUMBER 1  
(February)

Deputy Editor-in-Chief  
VESNA D. MILANOVIĆ  
MAŠTRAOVIĆ

Publisher  
SERBIAN CHEMICAL SOCIETY  
Belgrade/Serbia, Karnegijeva 4

Годиште 67

број 1  
фебруар

Издаје  
СРПСКО ХЕМИЈСКО ДРУШТВО

Телефон 3370-467

Карнегијева 4

излази двомесечно

ОДГОВОРНИ И ГЛАВНИ УРЕДНИК  
Драгица Д. Тривић

ПОМОЋНИК ОДГОВОРНОГ И ГЛАВНОГ УРЕДНИКА  
Весна Д. Милановић Маштраповић

ЧЛАНОВИ РЕДАКЦИЈЕ

Душанка М. Милојковић Опсеница,  
Тамара Р. Годоровић, Игор М. Опсеница,  
Милан Р. Николић, Ксенија Стојановић,  
Александра Дапчевић

УРЕЂИВАЧКИ ОДБОР

Иван Гутман, Душан Сладић, Снежана Зарић, Сузана  
Јовановић Шанта, Драган Марковић, Радомир Саичић,  
Мелина Калагасидис Крушић, Живорад Чековић  
(председник)

Web site: <https://hp.shd.org.rs/>

e-mail редакције: [hempred@chem.bg.ac.rs](mailto:hempred@chem.bg.ac.rs)

Припрема за штампу и штампа:  
РИЦ графичког инжењерства  
Технолошко-металуршки факултет  
Београд, Карнегијева 4

Насловна страна:  
Слободан и Горан Ратковић  
RatkovicDesign  
[www.ratkovicdesign.net](http://www.ratkovicdesign.net)  
[office@ratkovicdesign.net](mailto:office@ratkovicdesign.net)

## САДРЖАЈ

### ПРИЧА СА КОРИЦА

Бранимир ЈОВАНЧИЋЕВИЋ  
*Branimir JOVANČIĆEVIĆ*  
ВЕК ОД РОЂЕЊА АКАДЕМИКА ДРАГОМИРА ВИТОРОВИЋА  
*THE CENTURY OF BIRTH OF ACADEMICIAN DRAGOMIR  
VITOROVIĆ* ----- 2

### ЧЛАНЦИ

Иван ГУТМАН  
*Ivan GUTMAN*  
ВИТРИОЛ  
*VITRIOL* ----- 7

Марија КОВАЧЕВИЋ, Ана ЛАЗИЋ, Марина РАДЕНКОВИЋ  
*Marija KOVAČEVIĆ, Ana LAZIĆ, Marina RADENKOVIĆ*  
СИМУЛАЦИОНА ТОКСИКОЛОШКА АНАЛИЗА  
МЕЗОТРИОНА, МАЛАТИОНА И ФЕНИТРОТИОНА И  
ЊИХОВИХ ДЕГРАДАЦИОНИХ ПРОИЗВОДА  
*SIMULATION TOXICOLOGICAL ANALYSIS OF MESOTRIONE,  
MALATHION, AND FENITROTHION AND THEIR DEGRADATION  
PRODUCTS* ----- 9

Стеван ЈОКИЋ, Љиљана ЈОКИЋ  
*Stevan JOKIĆ, Ljiljana JOKIĆ*  
КВАНТНЕ ТЕХНОЛОГИЈЕ У ОБРАЗОВАЊУ  
*QUANTUM TECHNOLOGIES IN EDUCATION* ----- 17

Андреј КУКУРУЗАР  
*Andrej KUKURUZAR*  
МЕЂУНАРОДНА ХЕМИЈСКА ОЛИМПИЈАДА. ПРОБЛЕМ:  
ХИДРИДИ БОРА И ДРУГА БОРОВА ЈЕДИЊЕЊА (IChO 2012)  
*THE INTERNATIONAL CHEMISTRY OLYMPIAD. PROBLEM:  
BORON HYDRIDES AND OTHER BORON COMPOUNDS (IChO  
2012)* ----- 27

ИСПРАВКА (CORRIGENDUM) ЧЛАНКА „НОВОГОДИШЊА  
ХЕМИЈСКА ЧАРОЛИЈА” ----- 32

IN MEMORIAM:  
ПРОФ. ДР РАТКО М. ЈАНКОВ (1945-2026) ----- 33

### ВЕСТИ ИЗ СХД

АПРИЛСКИ ДАНИ О НАСТАВИ ХЕМИЈЕ,  
8. и 9. април 2026. ----- 35



# УВОДНИК

Драги читаоци *Хемијској прегледа*,

Пред вама је први број часописа у 2026. години. Са нама више није проф. др Ратко М. Јанков који је годинама као одговорни и главни уредник бринуо да *Хемијски преглед* са својим читаоцима дели важне идеје и резултате, и тако открива значај хемије као науке и праксе. У свом последњем уводнику у овом часопису написао је: „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 преглед 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 стизао двомесечно.”

Хвала Вам на свим залагањима, идејама и урађеном за опште добро.

\*\*\*

Корице *Хемијској прегледа* у 2026. посвећене су обележавању 100 година од рођења академика Драгомира Виторовића. О његовом истраживачком раду у областима примењене хемије, органске геохемије и хемије животне средине, наставном раду и друштвеном ангажовању упознаје нас кроз причу са корица **Бранимир Јовачићевић** са Универзитета у Београду – Хемијског факултета.

\*\*\*

**Иван Гутман**, Универзитет у Крагујевцу, Природно-математички факултет, написао је причу о *Витриолу*, и пружио разлог да се завири у овај број и сазна каквих све витриола има, као и о историји сумпорне киселине, витриолског уља.

\*\*\*

**Марија Ковачевић**, **Ана Лазих** и **Марина Раденковић**, Институт за нуклеарне науке „Винча” - Институт од националног значаја за Републику Србију, Универзитета у Београду, у чланку под називом *Симулациона токсиколошка анализа мезотириона, малайтиона и фенилпропиона и њихових деградационих производа* упознају нас о токсиколошкој анализи једног хербицида и два инсектицида, као и њихових главних деградационих продуката, коришћењем пет онлајн алата за предикцију токсичности. Таква анализа доприноси процени понашања пестицида у животној средини и колико су продукти њихове разградње штетни по жива бића.

\*\*\*

**Стеван Јокић** и **Љиљана Јокић**, Пројекат Рука у тесту, написали су чланак *Квантне технологије у образовању* с намером да информишу о појмовима попут квантна информација, квантно спрезање, квантни бит – QUBIT, квантне тачке, ласерски светлосни импулси реда атосекунда. Чланак информише о научним и технолошким достигнућима, реализованим применом квантних технологија, вештачке интелигенције, великих база података, машинског учења, прорачуна високих перформанси, за које су у претходном периоду додељене Нобелове награде.

\*\*\*

**Андреј Кукурузар**, Универзитет у Београду, Институт за хемију, технологију и металургију, Институт од националног значаја за Републику Србију, припремио је чланак под називом *Међународна хемијска олимпијада. Проблем: Хидриди бора и група борова једињења*. Како се развијало ово такмичење почев од 1968. године, које активности обухвата, како се учествује, о свему томе можете сазнати у чланку. Можете видети и како је изгледао један задатак 2012. године када је први пут учествовао на Олимпијади тим из Србије. Најпре решите захтеве у том задатку, а онда можете проверити решења.

\*\*\*

У овом броју можете видети и Исправку (Corrigendum) чланка *Новојодушиња хемијска чаролија*, објављеног у броју 6 Хемијског прегледа у 2025. години, а коју су приложили аутори **Слађана Ђорђевић**, **Кристина Пискулић**, **Невена Михаиловић**, **Јована Бугариновић**, **Филип Сташевић** и **Јелена Ђурђевић Николић** са Природно-математичког факултета у Крагујевцу.

\*\*\*

На крају, остаје нам да се с дубоким поштовањем сећамо свега што је професор Ратко М. Јанков учинио за науку, колико је својим радом допринео унапређењу образовања у Србији и колико је кроз своје предано деловање на Хемијском факултету, на Универзитету у Београду, у оквиру Српског хемијског друштва, Образовног форума и других организација, давао значајан допринос развоју и изградњи бољег друштва.

Драгица Д. Тривић



# ПРИЧА СА КОРИЦА



Бранимир ЈОВАНЧИЋЕВИЋ

Универзитет у Београду – Хемијски факултет

Е-пошта: [bjovanci@chem.bg.ac.rs](mailto:bjovanci@chem.bg.ac.rs)

## ВЕК ОД РОЂЕЊА АКАДЕМИКА ДРАГОМИРА ВИТОРОВИЋА

### ИЗВОД

Ове године навршава се 100 година од рођења академика Драгомира Виторовића (1926-2015). У тексту који следи изнети су основни подаци из његовог професионалног, друштвеног и личног живота.

*Кључне речи:* Драгомир Виторовић, орданска геохемија, примењена хемија, хемија животне средине, академик

Велико је задовољство сећати се, говорити и писати о академику Драгомиру Виторовићу. Професор, педагог и научник, али пре свега - господин Виторовић. Велика част била је познавати професора, а бити његов сарадник била је и велика срећа, јер је то била прилика да се толико тога доброг научи. Уз професора се није само учила хемијска технологија, органска геохемија или хемија животне средине. То је била прилика да се научи живот, и да се кроз те лекције постане добар и поштен човек, предан, вредан и одговоран радник. Генерације студената, сарадника и пријатеља то и данас могу да посведоче.

Професор Виторовић је припадао групи од десет младих хемичара које су професори Вукић Мишовић и Ђорђе Стефановић селектовали и одредили да, као њихови млађи сарадници, воде студије хемије на Универзитету у Београду (Слика 1). Они су усмеравали изабранике и у наставном и научном раду. Били су строги, али правични и тражили су максималну посвећеност послу. Може се рећи да су одиграли пресудну улогу у формирању својих изабраника у врсне академце. Тада млади, тек свршени студент хемије, Драгомир Виторовић је био изванредан кандидат. Урођена педантност и вредноћа, али и све оно што је у свом младалачком добу преживео, чиниле су га већ на самом почетку изузетним. Иако шкрти на похвалама, његови професори су то и сами истицали.

Професор Виторовић је рођен у Београду. Међутим, стално је истицао своје златиборско, односно ужичко порекло. Из села Бела Река његов отац Крс-

ман је стигао у Београд 1923. године. За кратко време је напредовао у свом послу, тако да се брзо осамосталио и постао угледни београдски привредник. Такву брзу каријеру могао је да направи само неко ко поседује ванстандардне људске и радне особине. А Драгомир је очигледно толико тога наследио од свог оца. Мајка Дарника је знала како да такво дете одгаја и од њега направи правог човека.



**Слика 1.** Асистенти са Вукићем Мишовићем и Ђорђем Стефановићем (с лева на десно: Ксенија Сиротановић, Сандра Стојиљковић, Петар Прекајски, Милутин Стефановић, Славко Михајловић, Драгомир Виторовић, Бора Терзић, Миленко Ћелап, Вилим Вајганд, Томислав Јањић, Милица Павичић, Мирјана Хранисављевић, Иванка Пејковић и Марија Амраин)

Свирепо убиство оца Крсмана у рану јесен 1944. године није само очеличило Драгомира. Оно је у њему усадило и дефинисало животну филозофију. Драгомир је остао да живи са сестром и мајком у Југославији, али никада није могао да прихвати егзекуторску комунистичку власт као своју. У највећој мери тај догађај је код њега усадио јак антикомунистички и антитоистички политички став и опредељење, као и код многих других који су имали сличну судбину.

Од самог почетка професор Виторовић се истраживачки бавио органском супстанцом седиментних стена. Модел супстанца били су битуминозни шкриљци. Проучавао је и битумен и нафту, растворне органске супстанце геосфере, али, пре свега, нерастворни облик, кероген. Почетком педесетих година то је била готово непозната супстанца, тако да његова докторска теза представља истински фундаментални допринос. Одбранио ју је 1956. године, а наслов тезе је био „О природи органске супстанце парафинских шкриљаца. Оксидација калијум-пермаганатом у неутралној средини”. Значају његове тезе доприноси и чињеница да ју је бранио пред Комисијом коју су чинили, тадашњи, наши водећи научници у хемијским наукама. Били су то академици, Вукић Мићовић, Ђорђе Стефановић, Павле Савић, Стојан Павловић и Панта Тутунџић.

Проучавање структуре керогена остаје његова доминантна истраживачка област практично до краја научне каријере. Бриљантни резултати у овој области су га уврстили у групу водећих светских органских геохемичара друге половине двадесетог века. Припала му је част да буде и један од аутора највеће светске монографије о керогену која је штампана 1980. године: Vitorović, D. (1980). Structure elucidation of kerogen by chemical methods. Chapter 10. In B. Durand (Ed). *Kerogen, Insoluble Organic Matter From Sedimentary Rocks* (pp. 301-338). Éditions Technip, Paris.

Асистентску каријеру Д. Виторовић је започео 1950. године на Катедри за хемију Филозофског факултета где је 1971. године формиран Одсек за хемијске и физичкохемијске науке. У његовом оснивању је учествовао и сам професор. Био је његов први управник и аутор његовог првог статута. Касније је одсек прерастао у самостални Хемијски факултет. У звање редовног професора Виторовић је изабран 1973. године.

Од почетка наставничке каријере (1957. године је изабран за доцента) изводио је наставу из хемијске технологије, индустријске технологије и нових области примењене технологије. Од оснивања Катедре 1971. године, па до одласка у пензију 1991. године, Д. Виторовић је био шеф Катедре за примењену хемију. Под његовим руководством одбрањене су 22 докторске тезе, 27 магистратура и чак 280 дипломских радова.

На Катедри за примењену хемију пуних двадесет година, а и касније, доминантна истраживачка област била је органска геохемија. У оквиру ње професорка

Мирјана Шабан је развијала област која се односила на растворну органску супстанцу, битумен, и на сирову нафту. Доминирали су биолошки маркери, а задатак истраживања је био процена порекла и геолошке историје нафти, а све са сврхом проспекцијских истраживања нафте и гаса на територији југоисточног дела Панонског басена. Професор Петар Пфендт се бавио органском супстанцом у рецентним седиментима, пре свега хуминским супстанцама. На тај начин почела је да се развија и хемија животне средине. У почетку је у факултетским круговима то била оспоравана научна област. Професор Виторовић је као руководилац био укључен у ове области, а сам је непосредно водио истраживања која су се односила на структуру керогена. То је врло незахвалан суспрат за анализу пошто је нерастворан у органским и неорганским растварачима. У том тешком истраживачком подухвату он је развио оригиналну методу ступњевите деградације керогена помоћу алкалног раствора калијум-пермаганата. На основу састава деградационих производа процењивала би се структура (Слике 2 и 3).

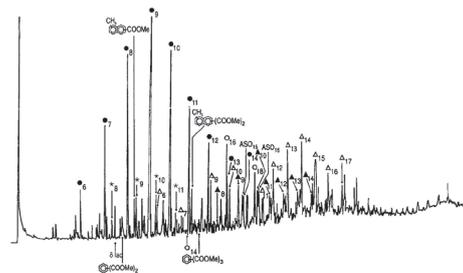
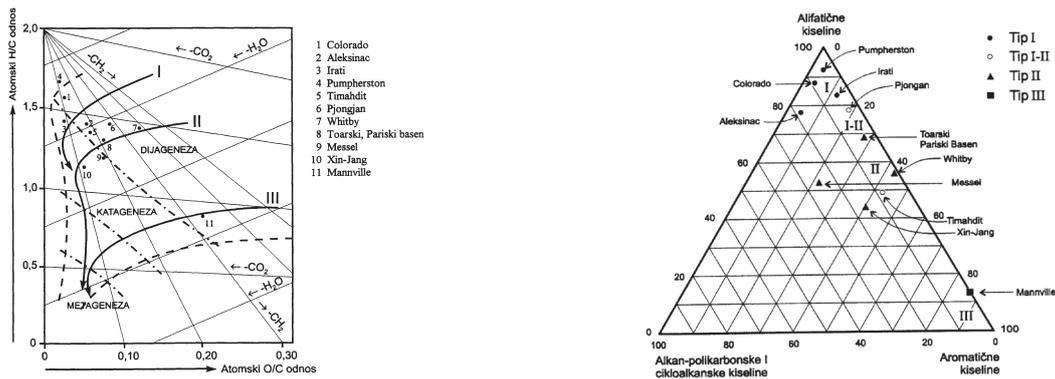


Fig. 1. Gas chromatogram of ether-soluble acids K4 obtained by oxidation of Estonian kukersite kerogen (fourth fraction). Methyl-esters of: ○ — *n*-monocarboxylic acids; ● — *n*- $\alpha,\omega$ -dicarboxylic acids; \* —  $\alpha$ -methylcarboxylic acids; □ — branched dicarboxylic acids; △ — alkyldicarboxylic acids; ▲ — alkyldicarboxylic acids; ASOn — *n*-alkylsuccinic acids with O-function in alkyl-chain;  $\gamma$ - and  $\delta$ -lac —  $\gamma$ - and  $\delta$ -lactones; *n* — total number of C atoms.

**Слика 2.** Пример гасног хроматограма метил-естара масних киселина добијених алкалном оксидацијом керогена (Bajc, S., Amblès, A., Largeau, C., Derenne, S., & Vitorović, D. (2001). Precursor biostructures in kerogen matrix revealed by oxidative degradation: oxidation of kerogen from Estonian kukersite. *Organic Geochemistry*, 32, 773-784)

Асистент му је дуго времена био Војин Крсмановић. Прве сараднице су му биле Снежана Бајц и Олга Цветковић. Верни сарадници су му били и технички сарадници Слободан Бане Настасевић и Никола Јовановић. Настављачи ових истраживања, односно наследници били су Предраг Полић и Бранимир Јованчићевић, писац овог текста, који је и садашњи шеф Катедре и после професора дугогодишњи руководио пројекта из области органске геохемије. Прерана трагична смрт младог Полића оставила је трага на целу Катедру.

Драгомир Виторовић изабран је за дописног члана Српске академије наука и уметности на изборној Скупштини одржаној 7. маја 1981. године, а за редовног члана изабран је 25. априла 1991. године. Академици Михаило Ј. Михаиловић, Милутин Стефановић и Александар Деспић, у завршном



Слика 3. Класификација различитих керогена на основу резултата елементалне анализе (ван Кревелен-ов дијаграм) и на основу квалитативног и квантитативног састава њихових анализираних оксидационих производа, тернерни дијаграм (Снежана Бајц, *Докторска теза*, ментор Драгомир Виторовић, Хемијски факултет, Универзитет у Београду, Београд, 1997)

делу предлога да се професор Драгомир Виторовић изабере за редовног члана САНУ, овако су написали: „Активност професора Драгомира Виторовића како до избора тако и после избора за дописног члана била је свестрана и плодна. У области органске геохемије он је дао важне прилоге и оригиналне доприносе науци, који су запажени и цитирани у научној јавности у свету. Он је стекао углед оригиналног и креативног истраживача како у земљи тако и у иностранству, те је добијао и признања за овај рад. Од пионирског рада у области органске геохемије код нас, организовао је групу која се афирмисала и ван наше земље. Бави се и другим областима хемије, не запостављајући проблеме од интереса за привреду. Од избора за дописног члана објавио је 73 и саопштио 84 научна рада. У свом запаженом наставничком и педагошком раду се стално залагао за унапређење наставе и научно-истраживачког рада. Извео је велики број дипломираних хемичара, специјалиста, магистара и доктора наука. Учествовао је у решавању актуелних универзитетских проблема. Биран је у највиша стручна тела и комисије како у земљи тако и у свету. Био је активан у раду у Академији. Најзад, поред научног и наставничког рада и рада у САНУ, активно учествује и у другим друштвеним делатностима и раду научно-стручних друштава”.

Избор у САНУ као да је професору дао додатну мотивацију. До последњих дана свог живота, до јула месеца 2015. године, иако пензионер, интензивно се бавио научним радом и одговарао бројним академским обавезама на Факултету, у Српском хемијском друштву, Институту за хемију технологију и металургију (ИХТМ-у) и у САНУ.

Професор Виторовић све време свог научног и наставног рада имао је врло плодну сарадњу са реномираним међународним универзитетима и институцима. По личној иницијативи, један од првих његових одлазака у иностранство био је захваљујући стипендији ILO (International Labor Organization), међународне организације рада, коју је добио 1957. године на четири месеца у Шведској. Усавршавање је било

у предузећу Svenska Skifferolje, Kvarntorp, у области индустријске прераде битуминозних шкриљаца.

Национални савет за истраживање Канаде (National Research Council of Canada) расписивао је сваке године конкурс за стотину стипендија за постдокторске студије. Драгомир Виторовић се јавио, добио стипендију и тамо почео своје постдокторско усавршавање (1961-1962), бавећи се проучавањем структуре органске супстанце старих седимената и битумена.

У току лета 1968. године, на позив професора Бимана (K. Viemann), радио је три месеца као научни сарадник Масачусетског института за технологију (МИТ) у Кембриџу крај Бостона, на проучавању структуре керогена (Слика 4). То је био необично драгоцен период рада. Биман је био један од водећих научника у области масене спектрометрије, а сам институт један од водећих у свету.

У неколико махова био је на студијским боравцима у иностранству у: Чехословачкој, Немачкој Демократској Републици, Великој Британији 1971. и 1979. (органско-геохемијска проспекција лежишта нафте), САД 1980. (каталитичка хидрогенизациона ликвифација угљева). Касније је често боравио у иностранству, јер, како је његов углед у науци растао, све чешће су се јављале могућности за усавршавање или позиви страних универзитета и лабораторија.

Као професор Индустријске хемије и као шеф Катедре за примењену хемију имао је бројне контакте са домаћим хемијским фабрикама. Организовао је низ домаћих и међународних научних конференција. Посебно ће остати у сећању Шести европски симпозијум органске хемије (ESOC-6, Београд, 1989).

Библиографију академика Виторовића чини велики број радова у водећим светским часописима, у домаћим часописима, међународним и домаћим научним конференцијама, прегледни радови, поглавља у књигама, као и бројни уџбеници. Најпознатији међу њима је *Хемијска технологија за стиуденије природно-математичкој факултету*, штампан у периоду од 1973. до 1990. године у пет издања.



**Слика 4.** Професор Виторовић у лабораторији (Department of chemistry, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, USA, 1968)

Драгомир Виторовић је добио неколико награда за научни рад и више разних признања. Вредно је издвојити Октобарску награду Београда 1972. године, Седмојулску награду, као признање за животно дело 1988. године и медаљу Српског хемијског друштва за трајан и изванредан допринос науци 1992. године.

За породицу професора Виторовића може да се каже да је страдалачка. Комунисти су му убили оца, а млађи брат је морао да емигрира у Италију, а одатле у Канаду. Након тога, само је једном посетио Србију. Као млад човек Д. Виторовић се није бавио политиком. Али, почетком деведесетих, када су почеле да се организују опозиционе странке, он се ванстраначки, чега се доследно држао, активно укључио у пружање отпора режиму са жељом да се смени комунистичка власт.

Године 1992. заједно са још девет академика, Младеном Србиновићем, Бранком Поповићем, Мићом Поповићем, Матијом Бећковићем, Слободаном Селенићем, Предрагом Палавестром, Љубомиром Симовићем, Иваном Антићем и Мирославом Гашићем, учествовао је у оснивању опозиционе грађанске коалиције Депос, у којој је деловао у оквиру ванстраначке групе. Учествовао је у сазивању Видовданског сабора пред Савезном скупштином у Београду, који је трајао осам дана и на коме је око 100.000 људи без прекида протествовало против Слободана Милошевића тражећи његову оставку и владу националног спаса.

Деведесетих година је редовно учествовао у протестним скуповима и шетњама у Београду. Са члановима САНУ и са најугледнијим српским интелектуалцима потписао је велики број апела, изјава, отворених писама. Придружујући се жељи да се демантује наводна подршка српских академика политици Слободана Милошевића, што се често могло чути у свету, Драгомир Виторовић потписује: „Апел осамнаесторице чланова САНУ против рата” (1991), „Апел 65 академика за оставку Слободана Милошевића због ратне политике која води у катастрофу” (1992), „Мишљење 32 академика о химни и грбу” (1992), „Изјаву 36 чланова САНУ против самовоље власти, грубих притисака у јавности, насиља, несигурности и сејања страха ” (1993) и „Апел 58 интелектуалаца за формирање коалиције свих опозиционих снага” (1996). Са друге стране, са 30 академика подржава студентске и грађанске протесте против изборних манипулација и фалсификата (1996), у групи од 16 академика иступа на скуповима опозиционе коалиције „Заједно” и даје подршку грађанима („Поштовати вољу народа”, 1996), заједно са 10 академика учествује у студентским уличним демонстрацијама (1996), са 52 академика стаје на страну грађанског протеста и студентских демонстрација против изборне крађе у Србији („Са улица одмах повући полицију”, 1997), а на 51. дан грађанског протеста са седам академика наступа испред студената пред кордоном полиције у Васиној улици (1997). Најзад, придружује се групи од 57 академика који поново захтевају смену власти и одступање Слободана Милошевића (1999), а са девет академика учествује на скупу српске демократске опозиције у Атини (2000).

Јуна 1992. године Д. Виторовић је именован за члана Крунског савета. Крунски савет и Крунска веће, у које су ушли угледни Срби, залагали су се да престолонаследник Александар Карађорђевић, као легитимни наследник престола и круне династије Карађорђевић, постане српски краљ.

Био је очајан због повратка конзервативних политичких струја 2012. године. Али, критиковао је и своје колеге у САНУ што су остајали неми на политичка недела и урушавање демократије и парламентаризма у Србији. Није се либио да каже да су високи академски додаци српским академицима успавали Академију. Док је он као секретар водио Одељење хемијских и биолошких наука САНУ, ситуација је била потпуно другачија.

У свим политичким активностима увек је добијао велику помоћ и подршку своје супруге Олге (Слика 5). Олга Виторовић је била редовни професор на Технолошко-металуршком факултету Универзитета у Београду. Провели су у срећном браку 56 година.

Много тога још би могло да се каже о професору Виторовићу. Његова радна биографија би по обиму могла да покрије радне учинке већег броја универзитетских професора. Међу активностима су и многе хумане акције. Између осталог, поводом прославе

150 година од оснивања школе у својој Белој Реци, организовао је, и сопственим средствима помогао обнављање школе, школског игралишта и прилазног пута селу. Било је то током 2004. и 2005. године.



Слика 5. Виторовићи са престолонаследником Александром и принцемом Катаринином

На крају је имао воље и снаге да напише четири аутобиографске књиге (Слика 6). У њима је сажео оно најважније из свог живота. Тако је на најбољи начин заокружио своје активности и свој, више него плодан, живот.

На велику жалост, данас више не постоје професори какав је био Драгомир Виторовић. Важно је да га се сећамо, да о њему размишљамо, да о њему говоримо, да о њему пишемо. Постоје два разлога за то. Први, професор је то заслужио, а други је нада да ће се чувањем од заборавља његовог дела, створити амбијент да се вредности које је он баштинио поново живе.

У овом тексту коришћени су подаци из књиге која је написана и објављена од групе аутора, а поводом осамдесетог рођендана академика Драгомира Виторовића: *Драгомир Виторовић, 80 година живота и рада (2006)*, уредници Живорад Чековић и Бранимир Јованчићевић, *Универзитет у Београду, Хемијски факултет, Београд, сир. 176.*



Слика 6. Књиге у којима је професор Виторовић сажео најважније из свог живота

Abstract

## THE CENTURY OF BIRTH OF ACADEMICIAN DRAGOMIR VITOROVIC

Branimir JOVANČIĆEVIĆ, University of Belgrade – Faculty of Chemistry

This year commemorates the 100th anniversary of the birth of Academician Dragomir Vitorović (1926–2015). The text presents the basic information from his professional, social, and personal life.

*Keywords:* Dragomir Vitorović, organic geochemistry, applied chemistry, environmental chemistry, academician.



# ЧЛАНЦИ



Иван ГУТМАН

Универзитет у Крагујевцу, Природно-математички факултет

Е-пошта: gutman@kg.ac.rs

## ВИТРИОЛ

### ИЗВОД

У данашње време, у јавности се много говори о сумпорној киселини (нарочито о њеној употреби код рударења литијума). Разговарајући с бројним колегама, од којих су многи школовани хемичари, приметио сам да мало ко од њих зна шта значи „витриол” и какве везе има са сумпорном киселином. У овом чланку разјаснићемо каквих све витриола има и сазнати нешто о историји сумпорне киселине.

*Кључне речи:* виштриол, плави виштриол, зелени виштриол, виштриолско уље, сумпорна киселина

### КРИСТАЛНИ ВИТРИОЛИ

Од најстаријих времена позната су два сулфата метала: гвожђе(II)-сулфат и бакар(II)-сулфат. Оба настају дејством воде и ваздуха на одговарајуће сулфидне руде. Оба се издвајају из воденог раствора градећи лепе, сјајне и велике кристале. Њихове хемијске формуле су  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  и  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ . Први је зелене, а други плаве боје. Код нас се разни кристални сулфати називају „галицама”. Тако је  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  зелена галица,  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  је плава галица, док је  $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  бела галица. О галицама и њиховој употреби може се наћи у чланку (Marković & Gutman, 1991).

„Стакло” и „стакласт” се на латинском каже „*vitrum*” односно „*vitreolus*”. Због тога се у алхемичарским текстовима, писаним на латинском језику, поменути сулфати називају „*vitriolum*” што на српском даје „витриол”.

Разликујемо следеће витриоле (Karpenko & Norris, 2002):

- **зелени витриол** је гвожђе(II)-сулфат хептахидрат,  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ;
- **плави витриол** (или **римски витриол**) је бакар(II)-сулфат пентахидрат,  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ;
- **бели витриол** је цинк(II)-сулфат хептахидрат,  $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ;
- **црвени витриол** је кобалт(II)-сулфат хептахидрат,  $\text{CoSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ;

- **никлов витриол** је никал(II)-сулфат хептахидрат,  $\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ , зелене боје;

- **жути витриол** (или **Марсов витриол**) је хидратисани гвожђе(III)-сулфат,  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ , при чему је број молекула кристалне воде (x) променљив и зависи од начина добијања. Понекад се **жутим витриолом** назива и жива(II)-сулфат,  $\text{HgSO}_4$ , иако је то безбојна (бела) супстанца;

- **црни витриол** су хемијски недефинисани сулфати различитих метала, променљивог састава, формуле,  $[\text{Cu}, \text{Mg}, \text{Fe}, \text{Mn}, \text{Co}, \text{Ni}]\text{SO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ .

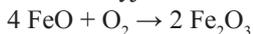
Разне врсте витриола биле су познате и употребљаване још у време Сумерске цивилизације (пре око 6000 година), а касније у старом Египту и античком Риму. Што се примена тиче, најважнији су зелени и плави витриол. Зелени витриол (гвожђе(II)-сулфат хептахидрат) се осим у хемијској индустрији, користи за штављење коже, у пољопривреди као додаток вештачким ђубривима, при пречишћавању пијаће воде, а додаје се и у прашак за печење хлеба. Плави витриол (бакар(II)-сулфат пентахидрат, плави камен) се као фунгицид користи у пољопривреди, а такође у обради коже, за уништавање алги у пијаћој води, у бојењу тканина, електрохемијској обради метала, козметици, те за бројне хемијске сврхе (Mellor, 1973).

### ОТКРИЋЕ И РАНА ИСТОРИЈА СУМПОРНЕ КИСЕЛИНЕ

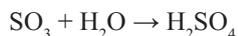
Познато је да је један од стандардних алхемичких поступака био излагање неке супстанце високој температури, и по могућству дестиловање и кондензовање насталих испарења. Алхемичари су то чинили са сваком супстанцом која им је била на располагању (Grdenić, 2003). Зато није никакво изненађење да су алхемичари у својим ретортама жарили и витриоле, посебно зелени и плави. У случају зеленог витриола, хемијски процеси који се том приликом одигравају (на високој температури) су следећи:



Услед присуства кисеоника из ваздуха, гвожђе(II)-оксид се оксидује:



На хладнијем крају реторте настаје сумпорна киселина:



Детаљи ових хемијских реакција могу се наћи у чланку (Mousavi, 2012). Аналогно се дешава и у случају других витриола. Алхемичари су то што су добијали дестилацијом витриола назвали „витриолско уље” (oleum vitriolum).

Један од највише практикованих алхемичких поступака био је металуршког карактера: добијање метала из његове руде. Том приликом алхемичари су често у своје реторте додавали и неки витриол. Због тога, данас више није могуће утврдити ко је први добио сумпорну киселину, то јест, витриолско уље. Већина и није била свесна шта су стварно добили. Било како било, откриће сумпорне киселине приписује се великом (можда највећем) исламском алхемичару Џабир ибн-Хајану (Musa Jabir ibn Наууан, 721-815), у Европи познатим под именов Гебер, Слика 1. Погрешно је Џабир називати арапским (ал) хемичарем, јер он је пореклом из Персије (данашњи Иран) и све време је деловао на том подручју (Gutman, 2005).



**Слика 1.** Џабир ибн Хајан (721-815). Открио је сумпорну киселину (витриолско уље), у 8. веку. Помоћу сумпорне киселине први је добио хлороводоничну и азотну киселину.

<https://islamic-study.org/golden-age/al-jabr-ibn-hayyan-1/>

Џабир је до свог открића дошао жарећи зелени витриол. Помоћу тако насталог витриолског уља успео је да добије хлороводоничну и азотну киселину, први пут у историји хемије. Витриолско уље је растварало све тада познате метале, осим злата, што је било од епохалног значаја за тадашњу алхемију. Џабир је разумео какву моћну хемикалију има на располагању, и о томе је оставио писани траг.



**Слика 2.** Јохан Глаубер (1604-1670), немачко-холандски хемичар. Доказао је да сумпорна киселина (витриолско уље) садржи сумпор, девет векова после Џабир. Открио је натријум-сулфат, који је по њему назван Глауберова со. Обогаћено се продајући ову со (као лек).

[https://pantheon.world/profile/person/Johann\\_Rudolf\\_Glauber](https://pantheon.world/profile/person/Johann_Rudolf_Glauber)

Чињеница да у витриолском уљу има сумпора свхаћена је тек вековима касније. То се могло наслутити из неких експеримената изведених у 16. веку, када се показало да мале количине сумпорне киселине настају сагоревањем сумпора у влажном ваздуху. Међутим, тек је Јохан Глаубер (Johann Rudolf Glauber, 1604-1670), Слика 2, добио сумпорну киселину сагоревањем сумпора у присуству шалитре ( $\text{KNO}_3$ ) и водене паре (Grdenić, 2001). Индустриска производња сумпорне киселине почела је у Енглеској половином 18. века (Grdenić, 2001).

## О СИПАЊУ ВИТРИОЛА У ОЧИ

Из претходног текста знамо да је витриолско уље концентрована сумпорна киселина. Код нас се уместо термина витриолско уље одомаћио краћи назив - витриол.

У нашем народу постоји израз „*сипаји* некоме *виџриол* у очи” или „*баџији* некоме *виџриол* у очи”. Његово значење је најближе следећем „учинити некоме нешто јако нажао”, углавном из освете. Израз

потиче из (српског) обичаја из претпрошлог века да се на тај начин девојка свети свом неверном момку, или жена свом неверном мужу. На нашу велику срећу, тај обичај се данас, углавном, не практикује, иако је, не тако давно, био један такав случај (са хлороводоничном киселином уместо сумпорне).

Писца ових редова занимало је откуда је концентрована сумпорна киселина била доступна грађанкама Србије у 19. веку. Оне су витриол могле да купе у апотеци. Питање је, зашто би апотеке уопште држале ту опсану супстанцу, то јест, коме је у то време била потребна концентрована сумпорна киселина. Једино решење које аутор може да понуди је да су сумпорну киселину употребљавале кујниције, да би уклањали корозију са површине метала. Ако неко има боље објашњење, радо ћемо га прихватити.

Abstract

## VITRIOL

Ivan GUTMAN, University of Kragujevac, Faculty of Science

In this note, we clarify the less familiar meaning of „vitriol” for naming various metal sulfates, as well as

„oil of vitriol” for sulfuric acid. Some data on the early history of sulfuric acid are also presented.

*Keywords:* vitriol, green vitriol, blue vitriol, sulfuric acid, oil of vitriol

## ЛИТЕРАТУРА

- Grdenić, D. (2001). *Povijest kemije*. Novi Liber, Zagreb.
- Grdenić, D. (2003). *Alkemija*. Jesenski & Turk, Zagreb.
- Gutman, I. (2005). *Izabrana poglavlja iz istorije hemije*. PMF Kragujevac, Kragujevac.
- Karpenko, V., & Norris, J. A. (2002). Vitriol in the history of chemistry. *Chemické Listy*, 96, 997-1005. <http://www.chemicke-listy.cz/ojs3/index.php/chemicke-listy/issue/view/178>
- Marković, D. M., & Gutman, I. (1991). Hemija u srednjevkovnoj Srbiji: Taninska mastila, *Hemijski pregled*, 32, 141-144.
- Mellor, J. W. (1973). *Meliorova moderna neorganska hemija*. Naučna knjiga, Beograd.
- Mousavi, A. (2012). „Geber’s method” and Greener’ synthesis of sulfuric acid. *Journal of Material and Environmental Science*, 3, 391-394. [https://www.jmaterenviromsci.com/Document/vol3/vol3\\_N2/37](https://www.jmaterenviromsci.com/Document/vol3/vol3_N2/37)
- <https://en.wikipedia.org/wiki/Vitriol>



Марија КОВАЧЕВИЋ, Ана ЛАЗИЋ, Марина РАДЕНКОВИЋ

Институт за нуклеарне науке „Винча” - Институт од националног значаја за Републику Србију, Универзитета у Београду

Е-пошта: [marija.kovacevic@vin.bg.ac.rs](mailto:marija.kovacevic@vin.bg.ac.rs), [ana.lazic@vin.bg.ac.rs](mailto:ana.lazic@vin.bg.ac.rs), [marinar@vin.bg.ac.rs](mailto:marinar@vin.bg.ac.rs)

## СИМУЛАЦИОНА ТОКСИКОЛОШКА АНАЛИЗА МЕЗОТРИОНА, МАЛАТИОНА И ФЕНИТРОТИОНА И ЊИХОВИХ ДЕГРАДАЦИОНИХ ПРОИЗВОДА

### ИЗВОД

У овом раду извршена је токсиколошка анализа мезотриона, малатиона, фенитротриона и њихових главних деградационих продуката коришћењем пет онлајн алата за предикцију токсичности (*EPA CompTox Predictions*, *ProTox-II*, *admetSAR 3.0*, *pkCSM* и *ADMETlab 3.0*). За свако једињење унета је структурна формула или *SMILES* нотација, након чега су процењени параметри укључујући токсичност према пчелама и дивљим паткама,  $LC_{50}$  (летална концентрација 50 % - енг. *Lethal Concentration 50 %*) за рибу дебелоглаву гавицу, орални  $LD_{50}$  (летална доза 50 % - енг. *Lethal Dose 50 %*) на пацову, анализирана је токсичност по органе и Ејмсов тест мутагености. Резултати показују да деградациони продукти мезотриона генерално имају блажи токсиколошки профил у односу на полазно једињење, док за малатион доминира мешовит образац, први

деградациони производ је токсичанији, а наредни деривати су мање токсични. Највиши ризик је уочен код фенитротриона и нарочито његовог деривата F-P1, који показује повишену токсичност према бројним параметрима. Показано је да разградња пестицида не гарантује смањење токсичности и да одређени деградациони производи могу представљати додатни ризик, што оправдава њихово будуће праћење и експерименталну потврду.

*Кључне речи:* пестициди, веб-алати, процена токсичности

### УВОД

Пестициди, укључујући хербициде и инсектициде, представљају једну од најчешће коришћених група хемијских супстанци у савременој пољопривреди, али и у урбаним срединама и домаћинству. Њихова примена омогућава ефикасну контролу корова и ште-

точина, што је од посебног значаја услед непрестаног пораста глобалне популације и потребе за интензивнијом производњом хране (Xing et al., 2025). Ипак, само мали проценат примењених хербицида и инсектицида бива апсорбован од стране биљака, док значајна количина доспева у животну средину путем аеросолног nanoшења, ерозије, површинског отицања или неадекватног одлагања амбалаже. Тако доспели пестициди загађују земљиште, подземне и површинске воде, ваздух и биоту, што може имати озбиљне еколошке и здравствене последице (Pergal et al., 2020; Dar & Kaushik, 2023; Xing et al., 2025).

Органофосфорни пестициди представљају једну од најраспрострањенијих и најчешће коришћених група пестицида на глобалном нивоу. Иако се разликују по хемијској структури, већина ових пестицида делује као снажан инхибитор холинестеразе, узрокујући изражену неуротоксичност која може довести до озбиљних поремећаја нервног система код људи и животиња. Због све шире употребе, остаци органофосфорних пестицида су идентификовани у земљишту, води, биљкама и другим еколошким медијумима, што представља значајан ризик за здравље људи, квалитет хране и функционисање екосистема (Pergal et al., 2020; Dar & Kaushik, 2023).

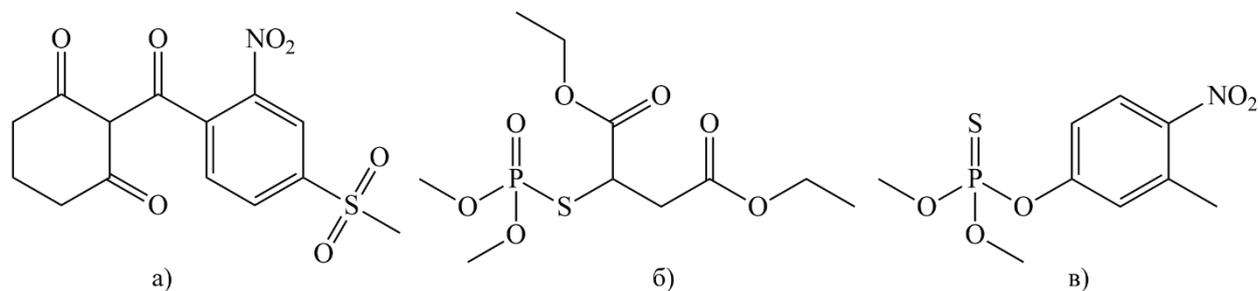
Слични изазови прате и употребу савремених хербицида, који се, иако ефикасни, често одликују високом растворљивошћу, мобилношћу и потенцијалном постојаношћу у животnoj средини. Важан представник ове групе је мезотрион, док су међу инсектицидима органофосфорних пестицида нарочито проблематични малатион и фенитротион, због своје токсичности, биохемијских ефеката и учесталог присуства у животnoj средини.

Мезотрион (2-[(4-метилсулфонил)-2-нитробензоил]циклохексан-1,3-дион, Слика 1а) је селективни пре- и пост-никли хербицид из класе трикетона, намењен сузбијању широколисних и појединих травних корова, пре свега у производњи кукуруза (Šojić et al., 2014; Le Person et al., 2016; Sojić-Merkulov et al., 2017). Развијен је у компанији „Syngenta Crop Protection” и пласиран под трговачким именом „Callisto®” (Šojić et al., 2014; Le Person et al., 2016; Sojić-Merkulov et al., 2017). Механизам деловања мезотриона заснива се на инхибицији ензима *p*-хидрокси-фенилпируват диоксигеназе, што доводи до поремећаја биосинтезе пигмената и до постепеног одумирања циљних коровских врста (Le Person et al.,

2016). Иако се сматра ефикасним, мезотрион показује високу еколошку мобилност и релативно дуг период полуживота (енг. *Degradation Time* 50 %,  $DT_{50}$ ), који у зависности од типа земљишта може да варира од 7,9 до 113 дана (Šojić et al., 2014; Maia et al., 2025). Према подацима Европске комисије, у воденим срединама под утицајем светлости  $DT_{50}$  достиже и 90 дана, што указује на високу стабилност (Shen et al., 2025). Истраживања су показала да мезотрион има негативне ефекте и на нециљне организме. Пианцини и сарадници (Piancini et al., 2015) су утврдили да изазива оштећења ДНК и јак оксидативни стрес код риба чак и при ниским концентрацијама ( $7,30 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) (Chen et al., 2015). Слични токсиколошки ефекти уочени су и код глиста, што може нарушити виталне еколошке процесе у земљишту (Yang et al., 2025). Иако је мезотрион дуго у употреби, његови путеви фотолизе, фотокаталитичке разградње, као и карактеризација деградационих продуката и интермеђијера, још увек нису довољно истражени. Литература указује на значајан недостатак систематичних проучавања, посебно у домену напредних оксидационих процеса и фотокаталитичке деградације (Chen et al., 2015; Shen et al., 2025; Yang et al., 2025).

Малатион (диетил-2-(диметоксифосфинотиоилсу-лфанил)бутандиоат, Слика 1б) представља један од најраспрострањенијих органофосфорних инсектицида, широко примењиван у пољопривреди, сточарству и јавном здрављу, укључујући контролу комараца у урбаним срединама. Због интензивне употребе, његови остаци су пронађени у земљишту, водама, биљним производима, па чак и у мајчином млеку, што указује на висок степен изложености становништва (Dar & Kaushik, 2023). Малатион је класификован као карциноген и снажан неуротоксин. Показано је да утиче на митозу ћелија и изазива цитогене ефекте, укључујући оштећења ДНК, чак и при ниским концентрацијама. Због високе растворљивости, традиционалне методе уклањања попут филтрације и коагулације показују ограничену ефикасност, што указује на потребу за развојем нових, ефикаснијих технологија за његову елиминацију (Dar & Kaushik, 2023).

Поред малатиона, фенитротион (О,О-диметил-О-(3-метил-4-нитрофенил) фосфоротиоат, Слика 1в) се такође убраја у често коришћене органофосфорне инсектициде, који се широко примењују у пољопривреди и јавном здрављу. Иако се релативно



Слика 1. Структурне формуле: а) мезотриона, б) малатиона и в) фенитротиона

брзо разлаже у природним условима, његови остаци су често детектовани у земљишту, води и седиментима. Полураспад у води обично је краћи од једног дана, док у седиментима траје знатно дуже (Uygun et al., 2007; Aly et al., 2021). Понашање фенитротриона зависи од услова средине: под анаеробним условима доминира редукција нитро-групе, док је под аеробним условима хидролиза главни пут разградње. Упркос ограничењима у неким државама, фенитротрион се и даље широко користи, што доводи до загађења водених ресурса и ризика по здравље људи и екосистеме. Показано је да бројни органофосфорни инсектициди, укључујући фенитротрион, могу бити повезани са генотоксичношћу, ендокриним поремећајима, карциногенезом и тератогеним ефектима, што указује на неопходност строге контроле и развоја ефикасних метода ремедијације (Kalsoom et al., 2021).

Циљ овог рада јесте да се процени токсичност мезотриона, малатиона, фенитротриона и њихових деградационих производа уз помоћ пет различитих веб-алата за предикцију токсичности, како би се добила свеобухватнија слика о њиховом потенцијалном ризику по животну средину.

## МЕТОДОЛОГИЈА

У овом истраживању примењено је пет онлајн алата за предикцију токсичности, са циљем да се процени потенцијални токсиколошки профил мезотриона, малатиона, фенитротриона и њихових главних деградационих производа. За анализу су коришћени следећи веб-алати: *EPA CompTox Chemicals Dashboard v2.6.0* (Environmental Protection Agency, 2024), *ProTox-II 3.0 (Prediction Of Toxicity Of Chemicals, 2024)*, *admetSAR 3.0 (ADMET, 2023)*, *pkCSM 2.1 (Pharmacokinetic properties, 2015)* и *ADMETlab 3.0 (ADMETlab 3.0, 2024)*.

Уносом структурних формула или SMILES нотације (поједностављена молекулска спецификација улазних линијских података, енг. *simplified molecular input line entry specification*) за сва испитивана једињења извршена је процена више токсиколошких параметара. Анализирана је токсичност по пчеле, дивље патке, LC<sub>50</sub> (летална концентрација 50 % - енг. *Lethal Concentration 50 %*) за 96-часовни тест на риби дебелоглава гавчица и LD<sub>50</sub> (летална доза 50 % - енг. *Lethal Dose 50 %*) орални тест на пацову. Поред тога, извршена је и потенцијална токсичност по органе, Ејмсов (*Ames*) тест мутагености и општа класификација токсичности сваког једињења.

*EPA CompTox Predictions* је коришћен за процену LC<sub>50</sub> и LD<sub>50</sub> вредности 96-часовног теста на дебелоглавој гавчици, као и на оралном тесту на пацову. *ProTox-3.0* примењен је за класификацију токсичности и предвиђање токсичних ефеката по органе. Платформа *admetSAR 3.0* је коришћена за процену токсичности по пчеле и патке, као и за токсичност по органе. Алат

*pkCSM* употребљен је за процену токсичности на оралном тесту на пацову и по органе, док је *ADMETlab 3.0* примењен за детаљну анализу токсичности по органе. Мутагеност је процењена применом свих пет веб-алата. Комбиновањем више алата добијена је поузданија и проширена процена токсиколошког потенцијала испитиваних супстанци, укључујући и деградационе производе настале приликом њихове разградње.

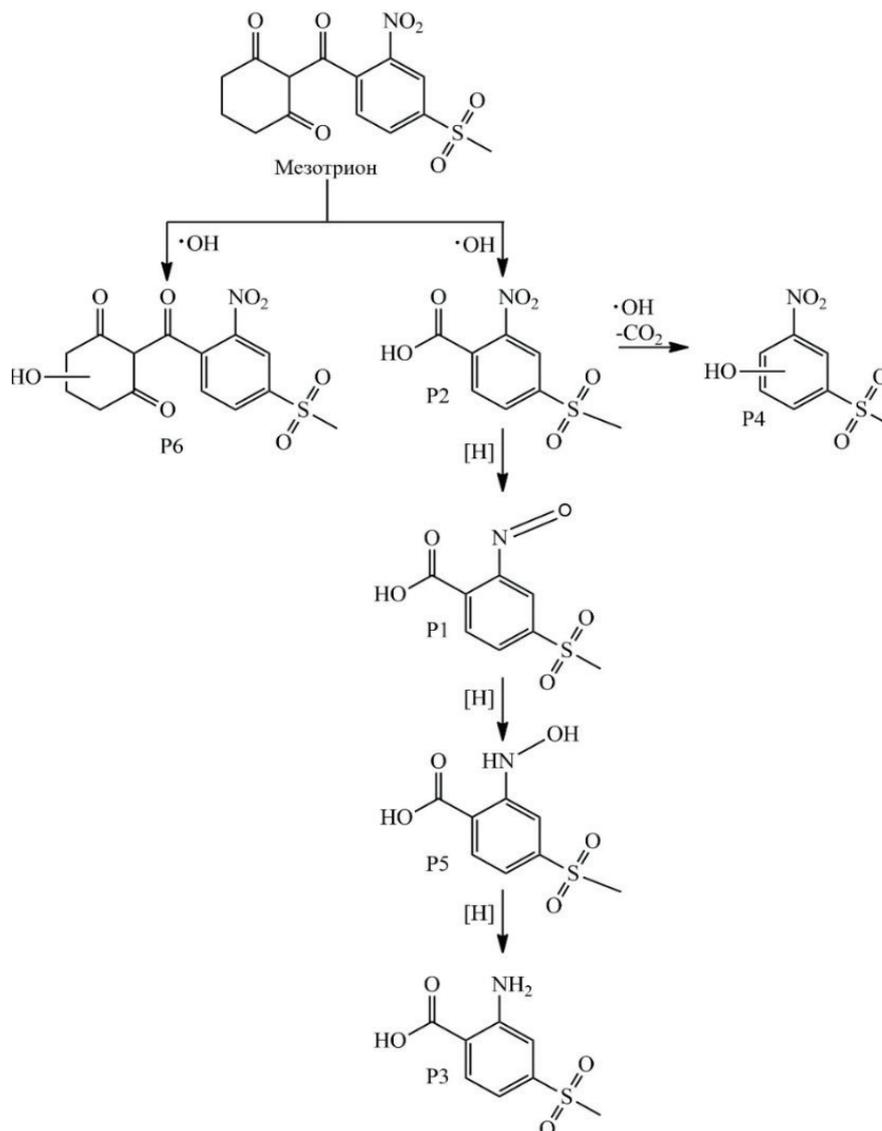
## РЕЗУЛТАТИ

Полазећи од механизма деградације мезотриона приказаних на Слици 2, а у складу са шемама које су предложили Шојић и сарадници (Šojić et al., 2014), спроведена је предиктивна процена токсичности свих идентификованих деградационих продуката (P1-P6). Добијени резултати представљени су у Табели 1.

Добијени резултати указују да мезотрион и сви његови деградациони продукти (P1-P6) показују ниску токсичност према пчелама и дивљим паткама. У погледу токсичности ка воденим организмима, уочава се јасан тренд да деградациони продукти мезотриона имају значајно више вредности LC<sub>50</sub> у односу на полазно једињење. Највеће LC<sub>50</sub> вредности забележене су код једињења P3 и P4, што их сврстава међу најмање токсичне у воденом систему. Насупрот томе, мезотрион показује знатно ниже LC<sub>50</sub> вредности, што указује да је он сам токсичнији за рибе у односу на своје деградационе продукте. Орална токсичност на пацову показује умерене разлике међу испитиваним једињењима. Мезотрион, P1 и P5 имају највише вредности, што указује на потенцијално већу токсичност при оралном уносу, док су P3 и P4 међу најмање токсичним у овом аспекту.

Анализа токсичности мезотриона и његових деградационих производа показала је штетан утицај по велики број органа, при чему се као најчешћи токсиколошки ефекти издвајају генотоксичност, нефротоксичност, хепатотоксичност, респираторна токсичност, као и акутна дермална токсичност. Према резултатима Ејмсовог теста мезотрион, P3 и P6 производи показују позитиван мутагени одговор. Са друге стране, класификација токсичности показује да деградациони производи P1, P2 и P4 припадају групи V, односно, показују најмању токсичност, док се производ P5 издваја као најтоксичнији деградациони продукт сврстан у III класу токсичности, што указује на значајно повећан токсиколошки ризик у односу на остала испитивана једињења.

На основу резултата можемо закључити да поједини деградациони производи (нарочито P4) показују блажи токсиколошки профил у односу на мезотрион, што потврђује да би у одређеним условима деградација могла довести до смањења укупног токсичног ефекта по животну средину.



Слика 2. Механизам деградације мезотриона

У Табели 2 су приказани резултати токсиколошке анализе за два инсектицида, малатиона и његових деградационих производа (М-Р1-М-Р4, Слика 3а) и фенитротиона и његових деградационих једињења (F-Р1-F-Р3, Слика 3б) према механизмима који су предложили Пергал и сарадници (Pergal et al., 2020).

Токсиколошка процена малатиона, фенитротиона и њихових деривата указује на јасне разлике у степену ризика које полазна једињења и њихови производи разградње могу представљати за различите биолошке системе. У оквиру групе малатиона, полазно једињење испољава умерен токсиколошки профил, са релативно повишеним показатељима токсичности по пчеле (43 %) и дивље патке (16,7 %), као и присутним бројним токсичним ефектима по органе. Деградациони производ М-Р1 показује профил токсичности најсличнији малатиону, што је уочљиво кроз умерене вредности  $LC_{50}$  и највећи број забележених токсичности по органе. Насупрот томе, деривати М-Р2, М-Р3 и М-Р4 карактеришу се значајно нижом токсичношћу, што је потврђено високим  $LC_{50}$

вредностима и класификацијом у ниже токсиколошке класе. Најмању токсичност испољава М-Р2, чији минималан број токсиколошких ефеката указује да разградња малатиона у одређеним случајевима може довести до значајног смањења ризика.

У групи фенитротиона уочава се другачији токсиколошки образац. Полазно једињење испољава високу токсичност по пчеле (66,1 %) и умерену токсичност по дивље патке (42,7 %), уз присутне хепатотоксичне, нефротоксичне и респираторне ефекте. Међутим, дериват F-Р1 показује још израженији токсиколошки профил у односу на фенитротион, са највишим процентима токсичности за обе циљне групе организама (80,4 % пчеле и 60,2 % дивље патке), најнижом вредношћу токсичности по рибу, дебелоглаву гавчицу и најширим спектром негативних утицаја по органе. Ово указује да разградња фенитротиона може резултовати појавом токсиколошки критичнијих производа у животној средини. Насупрот томе, F-Р2 показује најслабији токсиколошки ефекат у оквиру групе, а уједно је и

Табела 1. Процена токсичности за мезотрион и његове деградационе производе

Једињење	Токсичност по пчеле <sup>а</sup>	Токсичност по дивље патке <sup>а</sup>	Дебелоглава гавчица (96 часова, LC <sub>50</sub> ) <sup>а</sup>		Орални тест на пацову LD <sub>50</sub> -Log10 (mol·kg <sup>-1</sup> )	Токсичност по органе	Ејмсов тест мутагености	Класа токсичности <sup>б</sup>
			-Log10 (mol·L <sup>-1</sup> )	mg·L <sup>-1</sup>				
Мезотрион	Ниска (4,5 %)	Ниска (2,5 %)	5,449	1,207	2,226 <sup>г</sup>	Респираторна <sup>б</sup> , Нефротоксичност <sup>в</sup> , Акутна дермална <sup>в</sup> , Репродуктивна <sup>в</sup> , Хепатотоксичност <sup>в</sup> , Генотоксичност <sup>в</sup> , Хематотоксичност <sup>в</sup>	Позитиван <sup>а,в,г</sup>	IV
P1	Ниска (2,7 %)	Ниска (2,1 %)	н.д.	н.д.	2,362 <sup>г</sup>	Клиничка токсичност <sup>б</sup> , Хепатотоксичност <sup>в,д</sup> , Нефротоксичност <sup>в</sup> , Респираторна <sup>в</sup> , Акутна дермална <sup>в</sup> , Генотоксичност <sup>в</sup> , Хематотоксичност <sup>в</sup>	Негативан <sup>а,в,г</sup>	V
P2	Ниска (4,4 %)	Ниска (3,6 %)	3,834	35,917	1,809 <sup>а</sup>	Хепатотоксичност <sup>б,в,д</sup> , Нефротоксичност <sup>в</sup> , Акутна дермална <sup>в</sup> , Генотоксичност <sup>в</sup>	Негативан <sup>а,в,г</sup>	V
P3	Ниска (3,6 %)	Ниска (2,7 %)	3,183	141,177	1,310 <sup>а</sup>	Клиничка токсичност <sup>б</sup> , Хепатотоксичност <sup>в</sup> , Нефротоксичност <sup>в</sup> , Генотоксичност <sup>в</sup>	Негативан <sup>а</sup> Позитиван <sup>б,в,г</sup>	IV
P4	Ниска (6,1 %)	Ниска (6,4 %)	3,666	46,878	1,589 <sup>а</sup>	Хепатотоксичност <sup>б,в</sup> , Екотоксичност <sup>б</sup> , Акутна дермална <sup>в</sup> , Генотоксичност <sup>в</sup>	Позитиван <sup>г</sup> Негативан <sup>а,б,в,д</sup>	V
P5	Ниска (4,2 %)	Ниска (2,2 %)	н.д.	н.д.	2,262 <sup>г</sup>	Клиничка токсичност <sup>б</sup> , Респираторна <sup>в</sup> , Нефротоксичност <sup>в</sup> , Акутна дермална <sup>в</sup> , Хепатотоксичност <sup>в</sup> , Хематотоксичност <sup>в</sup> , Генотоксичност <sup>в</sup>	Позитиван <sup>а</sup> Негативан <sup>а,б,в,г</sup>	III
P6	Ниска (5,5 %)	Ниска (2,8 %)	н.д.	н.д.	1,907 <sup>а</sup>	Респираторна <sup>б,в,д</sup> , Имуно токсичност <sup>б</sup> , Хепатотоксичност <sup>в</sup> , Нефротоксичност <sup>в</sup> , Акутна дермална <sup>в</sup> , Хематотоксичност <sup>в</sup> , Генотоксичност <sup>в</sup>	Позитиван <sup>б,д</sup>	IV

а - EPA CompTox Chemicals Dashboard – Predictions, б - ProTox-II, в - admetSAR3.0, г - pkCSM, д - ADMETlab3.0, н.д. - нису доступни подаци

исти деградациони производ као код малатиона (M-P3). F-P3 има умерен токсиколошки профил, али се издваја позитивним резултатом на Ејмсовом тесту, што указује на потенцијалну мутагеност и могући додатни ризик.

Анализа мезотриона, малатиона и фенитротриона, као и њихових деривата, показује да разградња ових пестицида не прати јединствен токсиколошки образац и да је токсични потенцијал деградационих продуката снажно условљен структурним својствима полазне супстанце.

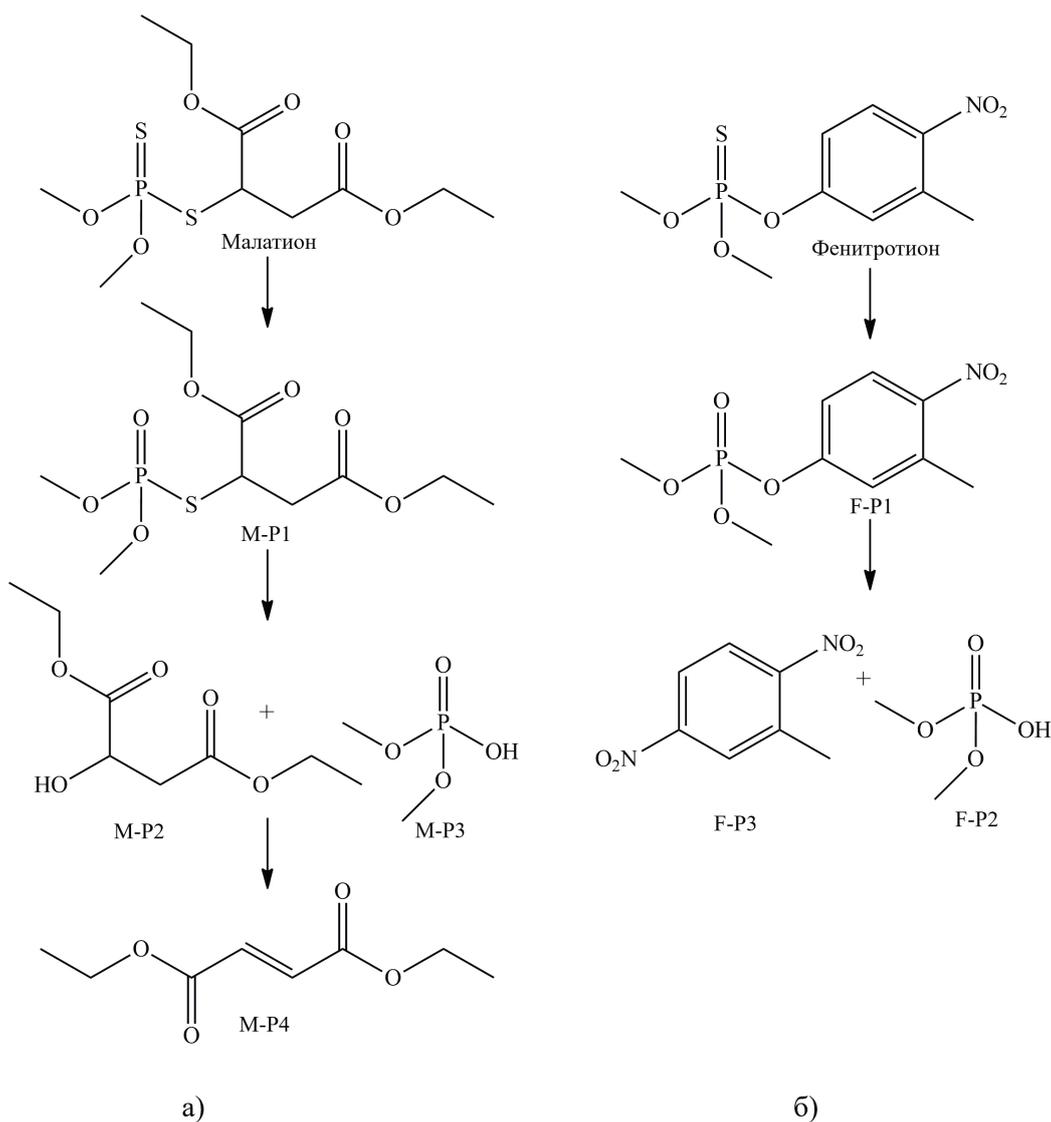
Резултати анализе мезотриона показују да већина деривата испољава смањен токсиколошки профил у односу на полазну супстанцу, што је посебно уочљиво кроз више LC<sub>50</sub> вредности и нижу учесталост токсичности по органе. Ови резултати указују да процеси разградње мезотриона у животној средини углавном воде ка формирању мање токсичних производа.

Код малатиона се уочава мешовит образац: док деградациони производ M-P1 показује токсиколошка својства приближна полазној супстанци, производи деградације M-P2, M-P3 и M-P4 испољавају значајно ниже вредности токсичности. Према предложеном механизму, добијени резултати указују да се током разградње малатиона прво јавља токсичнији дериват,

који се даље разлаже на деривате који представљају значајно мањи токсиколошки ризик.

За разлику од претходна два пестицида, фенитротрион показује најизраженији токсиколошки ризик, како у погледу полазне супстанце, тако и његових деривата. Најзначајнији налаз у овој групи представља дериват F-P1, који показује више нивое токсичности од фенитротриона у готово свим испитиваним категоријама. Иако F-P2 испољава најнижи токсиколошки потенцијал међу испитиваним оргонофосфорним деградационим производима, генерални тренд код фенитротриона упућује на повећање ризика током разградње, што га сврстава у токсиколошки најкритичнију супстанцу у оквиру анализираног скупа.

Ова студија показује да симулационе предикције могу пружити брз и користан преглед токсиколошког потенцијала пестицида и њихових деградационих продуката. Међутим, важно је напоменути да модели предикције не могу у потпуности заменити експерименталну токсиколошку анализу, већ пружају оријентационе вредности и трендове који зависе од структуре модела и доступних референтних података.



Слика 3. Механизам деградације: а) малатиона и б) фенитротиона

## ЗАКЉУЧАК

Комбиновањем више различитих веб-алата добијен је свеобухватан увид у потенцијалне ризике, што омогућава брзо препознавање једињења која заслужују додатну пажњу. Приступ је омогућио упоређивање токсиколошких параметара између полазних једињења и њихових деградационих производа, као и уочавање образаца који указују на смањење или повећање ризика током разградње. Оваква анализа представља вредан корак у оптимизацији мониторинга, усмеравању будућих истраживања и бољем разумевању понашања пестицида у животној средини.

Мезотрион се у предикцијама истиче као супстанца чији деградациони производи углавном имају блажи токсични профил, док за малатион и фенитротион постоје значајне структуралне варијације које утичу на њихов токсиколошки ризик. Први деградациони производ малатиона показује токсичнија својства од полазног једињења, док се

даљом деградацијом токсичност снижава. Сличан тренд је уочен и код фенитротиона. Дериват F-P1 показује најизраженију токсичност, након чега вредности опадају код наредних деградационих продуката, али и даље остају токсиколошки ризици по животну средину. На основу добијених резултата може се закључити да деградација пестицида не гарантује смањење еколошког ризика - одређени продукти разградње могу бити подједнако или више штетни, те заслужују пажњу у регулаторним и ремедијационим стратегијама.

Резултати овог истраживања пружају информативну вредност и потенцијал за убрзање токсиколошких процена. Ипак, неопходно је њихове предикције потврдити циљаним експерименталним анализама. Повезивање прорачунских модела са лабораторијским испитивањима омогућиће прецизнију процену ризика, валидацију симулационих резултата и поузданије закључке о еколошком утицају проучаваних једињења.

**Табела 2.** Процена токсичности за малатион и фенитротион и њихових деградационих производа

Једињење	Токсичност по пчеле <sup>а</sup>	Токсичност по дивље патке <sup>б</sup>	Дебелоглава гавчица (96 часова, LC <sub>50</sub> ) <sup>а</sup>		Орални тест на пацову LD <sub>50</sub> -Log10 (mol·kg <sup>-1</sup> ) <sup>а</sup>	Токсичност по органе	Ејмсов тест мутагености	Класа токсичности <sup>б</sup>
			-Log10 (mol·L <sup>-1</sup> )	mg·L <sup>-1</sup>				
Малатион	Средња (43 %)	Ниска (16,7 %)	4,422	12,504	3,057	Респираторна токсичност <sup>б,г</sup> , Хепатотоксичност <sup>б</sup> , Екотоксичност <sup>б</sup> , Нефротоксичност <sup>б</sup> , Акутна дермална <sup>б</sup>	Негативан <sup>а,б,в,г,д</sup>	III
М-Р1	Средња (45,5 %)	Ниска (13,4 %)	4,347	14,151	3,299	Нефротоксичност <sup>б</sup> , Екотоксичност <sup>б</sup> , Хепатотоксичност <sup>б</sup> , Акутна дермална <sup>б</sup> , Респираторна <sup>а</sup> , Генотоксичност <sup>а</sup>	Негативан <sup>а,б,в,г,д</sup>	III
М-Р2	Ниска (3,4 %)	Ниска (2,7 %)	3,110	147,711	1,372	Нефротоксичност <sup>б,в</sup> , Хепатотоксичност <sup>б</sup>	Негативан <sup>а,б,в,г,д</sup>	VI
М-Р3	Ниска (19,1 %)	Ниска (8,7 %)	3,845	18,013	1,782	Нефротоксичност <sup>б</sup> , Акутна дермална <sup>б</sup>	Негативан <sup>а,б,в,г,д</sup>	VI
М-Р4	Ниска (8,3 %)	Ниска (3,8 %)	3,981	17,990	1,731	Нефротоксичност <sup>б,в</sup> , Хепатотоксичност <sup>б</sup>	Негативан <sup>а,б,в,г,д</sup>	IV
Фенитротион	Висока (66,1 %)	Средња (42,7 %)	4,809	4,304	3,045	Екотоксичност <sup>б</sup> , Кардиотоксичност <sup>б</sup> , Хепатотоксичност <sup>б,в,г</sup> , Нефротоксичност <sup>б</sup> , Акутна дермална <sup>б</sup> , Респираторна <sup>а</sup> , Генотоксичност <sup>а</sup>	Негативан <sup>б</sup> Позитиван <sup>а,б,в,г,д</sup>	III
Ф-Р1	Висока (80,4 %)	Висока (60,2 %)	5,012	2,543	4,037	Екотоксичност <sup>б</sup> , Хепатотоксичност <sup>б,в,г</sup> , Нефротоксичност <sup>а</sup> , Акутна дермална <sup>а</sup> , Респираторна <sup>а</sup> , Генотоксичност <sup>а</sup>	Негативан <sup>б</sup> Позитиван <sup>а,б,в,г,д</sup>	IV
Ф-Р2	Ниска (19,1 %)	Ниска (8,7 %)	3,845	18,013	1,782	Нефротоксичност <sup>б</sup> , Акутна дермална <sup>б</sup>	Негативан <sup>а,б,в,г,д</sup>	VI
Ф-Р3	Ниска (23,3 %)	Ниска (23,3 %)	3,912	22,306	2,926	Екотоксичност <sup>б</sup> , Хепатотоксичност <sup>б,в,г</sup> , Нефротоксичност <sup>б</sup> , Акутна дермална <sup>б</sup> , Респираторна <sup>а</sup> , Генотоксичност <sup>б</sup>	Позитиван <sup>а,б,в,г,д</sup>	III

**а** - EPA CompTox Chemicals Dashboard – Predictions, **б** - ProTox-II, **в** - admetSAR3.0, **г** - pkCSM, **д** - ADMETlab3.0

Abstract

## SIMULATION TOXICOLOGICAL ANALYSIS OF MESOTRIONE, MALATHION, AND FENITROTHION AND THEIR DEGRADATION PRODUCTS

**Marija KOVAČEVIĆ, Ana LAZIĆ, Marina RADENKOVIĆ,** Vinča Institute of Nuclear Sciences – Institute of National Importance for the Republic of Serbia

In this study, a toxicological analysis of mesotrione, malathion, fenitrothion, and their main degradation products was performed using five online toxicity prediction tools (EPA CompTox Predictions, ProTox-II, admetSAR 3.0, pkCSM, and ADMETlab 3.0). For each compound, the structural formula or SMILES notation was entered, after which parameters including toxicity to bees and

wild ducks, LC<sub>50</sub> (Lethal Concentration 50 %) for fathead minnow fish, oral LD<sub>50</sub> (Lethal Dose 50 %) in rats, organ toxicity, and Ames mutagenicity test were assessed. The results indicate that the degradation products of mesotrione generally exhibit a milder toxicological profile compared to the parent compound, while malathion shows a mixed pattern, with the first degradation product being more toxic and the subsequent derivatives less toxic. The highest risk was observed for fenitrothion, particularly its derivative F-P1, which exhibits elevated toxicity across multiple parameters. It was demonstrated that pesticide degradation does not necessarily guarantee a reduction in toxicity and that certain metabolites may pose an additional risk, which justifies their future monitoring and experimental verification.

*Keywords: pesticides, web tools, toxicity assessment*

## ЛИТЕРАТУРА

- ADMET. (2023, June). *ADMET (Absorption, distribution, metabolism, excretion, and toxicity) SAR 3.0*. 2023. <https://lmmd.ecust.edu.cn/admet-sar3/predict.php>
- ADMETlab 3.0. (2024, January). *The absorption, distribution, metabolism, excretion, and toxicity (ADMET)*. <https://admetlab3.scbdd.com/>
- Aly, M. I., Fouad, M. R., Abou-Elnasr, H. S. & El-Aswad, A. F. (2021). Comparison of Dissipation Kinetics and Residual Behaviour for Fenitrothion Insecticide and Thiobencarb Herbicide in Clay Soil. *Alexandria Journal of Agricultural Sciences*, 66 (1), 1–11. <https://doi.org/10.21608/alexja.2021.174541>
- Chen, T., Zhang, Y., Yan, J., Ding, C., Yin, C., & Liu, H. (2015). Heterogeneous photodegradation of mesotrione in nano  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ /oxalate system under UV light irradiation. *RSC Advances*, 5 (17), 12638–12643. <https://doi.org/10.1039/C4RA11871E>
- Dar, M. A., & Kaushik, G. (2023). Biodegradation of Malathion in Amended Soil by Indigenous Novel Bacterial Consortia and Analysis of Degradation Pathway. *Soil Systems*, 7 (4), 81. <https://doi.org/10.3390/soilsystems7040081>
- Environmental Protection Agency. (2024, October 29). *EPA CompTox Chemicals Dashboard – Predictions*. <https://comptox.epa.gov/dashboard/predictions>
- Kalsoom, R., Sial, N., & Maqbool, F. (2021). Impact of Pesticide (Fenitrothion) on Aquatic and Terrestrial Animals: A Review. *Journal of Global Innovations in Agriculture Sciences*, 127–138. <https://doi.org/10.22194/JGIAS/9.947>
- Le Person, A., Siampiringue, M., Sarakha, M., Moncomble, A., & Cornard, J.-P. (2016). The photo-degradation of mesotrione, a triketone herbicide, in the presence of  $\text{Cu}^{\text{II}}$  ions. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 315, 76–86. <https://doi.org/10.1016/j.jphotochem.2015.09.010>
- Maia, L. O. R., Armstrong, S. D., Kladvik, E. J., Young, B. G., & Johnson, W. G. (2025). Influence of cover crop use on soil microbial activity and fate of sulfentrazone, S-metolachlor, cloransulam-methyl, atrazine, and mesotrione. *Weed Science*, 73 (1), e42. <https://doi.org/10.1017/wsc.2025.13>
- Pergal, M. V., Kodranov, I. D., Pergal, M. M., Gašić, U., Stanković, D. M., Petković, B. B., & Manojlović, D. D. (2020). Degradation Products, Mineralization, and Toxicity Assessment of Pesticides Malathion and Fenitrothion. *Water, Air, & Soil Pollution*, 231 (8), 433. <https://doi.org/10.1007/s11270-020-04800-x>
- Pharmacokinetic properties. (2015). *pkCSM*. <https://biosig.lab.uq.edu.au/pkcsm/prediction>
- Piancini, L. D. S., Guiloski, I. C., de Assis, H. C. S., & Cestari, M. M. (2015). Mesotrione herbicide promotes biochemical changes and DNA damage in two fish species. *Toxicology Reports*, 2, 1157–1163. <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2015.08.007>
- Prediction Of Toxicity Of Chemicals. (2024, May). *ProTox 3.0 - Prediction Of Toxicity Of Chemicals*. <https://tox.charite.de/protox3/index.php?site=home>
- Shen, X., Liu, Y., & Yan, B. (2025). Constructing a three-in-one light-responsive covalent organic framework with enhanced performance through post-synthetic modification: Versatile fluorescence sensing, colorimetric detection, and adsorption of mesotrione. *Chemical Engineering Journal*, 523, 168362. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2025.168362>
- Šojić, D. V., Orčić, D. Z., Četojević-Simin, D. D., Despotović, V. N., & Abramović, B. F. (2014). Kinetics and the mechanism of the photocatalytic degradation of mesotrione in aqueous suspension and toxicity of its degradation mixtures. *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical*, 392, 67–75. <https://doi.org/10.1016/j.molcata.2014.04.033>
- Sojic-Merkulov, D., Lazarevic, M., Despotovic, V., Banic, N., Fincur, N., Maletic, S., & Abramovic, B. (2017). The effect of inorganic anions and organic matter on mesotrione (Callisto®) removal from environmental waters. *Journal of the Serbian Chemical Society*, 82 (3), 343–355. <https://doi.org/10.2298/JSC160826007S>
- Uygun, U., Özkara, R., Özbey, A., & Koksel, H. (2007). Residue levels of malathion and fenitrothion and their metabolites in postharvest treated barley during storage and malting. *Food Chemistry*, 100 (3), 1165–1169. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.10.063>
- Xing, Z., Fu, Q., Ren, H.-Y., Wang, L., & Kong, F. (2025). Degradation of mesotrione in bioelectrochemical system: Performance, mechanisms, and microbial communities. *Chemical Engineering Journal*, 519, 165301. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2025.165301>
- Yang, H., Yang, J., Sun, L., Mi, Y., Yan, H., Zou, X., Wang, C., Zang, H., Cheng, Y., & Li, C. (2025). The alteration in adsorption mechanism and associated bioaccessibility of mesotrione on virgin and aged biodegradable mulch film-derived microplastics. *Chemical Engineering Journal*, 515, 163821. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2025.163821>





Стеван ЈОКИЋ, Љиљана ЈОКИЋ

Пројекат Рука у тесту

Е-пошта: rukautestu01@gmail.com

## КВАНТНЕ ТЕХНОЛОГИЈЕ У ОБРАЗОВАЊУ

### ИЗВОД

Појава Квантне технологије покренула је бројне дискусије о могућим променама у разним областима људских активности. У овом прилогу приказујемо нека научна достигнућа, валоризована Нобеловим наградама, која су допринела развоју Квантних технологија и њиховој примени у различитим областима живота укључујући и образовање. Посебно истичемо незаобилазну улогу STEM приступа и сарадње наставника природних наука, математике и информатике у припреми ученика за будућа STEM занимања.

*Кључне речи: квантне технологије, образовање, информатика, природне науке, STEM*

### УВОД

Црно-бела фотографија једног јона, реализована 1979. године, могла би се сматрати и почетком квантних технологија. Део [Нобелове награде за физику 1989](#), [1] добили су Hans G. Dehmelt и Wolfgang Paul за „развој технике јонских џрајова”. Ставили смо се, као аутори овог прилога, у позицију ђака и професора заинтересованих за савремена научно технолошка достигнућа, попут *квантних технологија*, која се врло мало, или уопште, не помињу у оквиру формалног програма у гимназијама и средњим стручним школама, иако су их најпознатије светске лабораторије ставиле у жижу својих научних подухвата. Користили смо углавном могућности које данас свима пружају дигитални уређаји, попут паметног телефона и компјутера, у тражењу неких одговора на интернету, ChatGPT, аутоматско превођење текстова на српски језик. Навешћемо дефиниције основних појмова у вези истраживања у области квантних технологија, а затим нека научна достигнућа и уређаје креиране у оквиру квантних технологија које би требало, на информативном нивоу, ђацима да приближе професори хемије, физике, биологије, информатике, уколико као друштво желимо да младе усмеримо и оспособимо за STEM занимања.

### ПРВА КВАНТНА РЕВОЛУЦИЈА

Развој квантне физике током прве половине 20. века је утицао на нашу концепцију света, омогућио је објашњење својстава материје, светлости и њихових

интеракција. Свакодневно, ученици и професори, у школи и ван ње, окружени су уређајима који се приписују *првој квантној технолошкој револуцији*, попут мобилних телефона, компјутера, конзола за игру, телевизора, GPS, робота, нуклеране магнетне резонанце у медицини,... оптичких каблова који преносе *класичне информације* (пренос хиљада фотона у оптичком каблу), које се примају, обрађују, меморишу и шаљу другима.

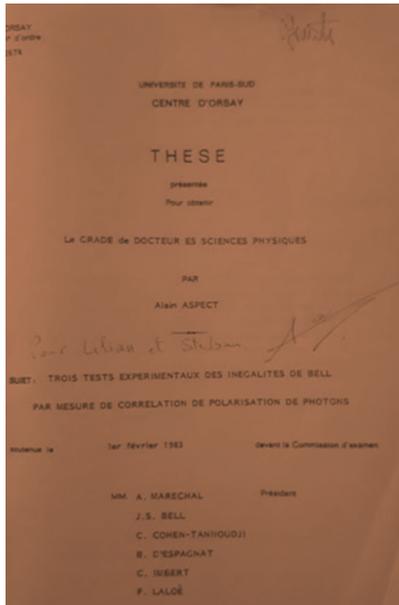
Нобеловац William D. Phillips наглашава да су доприноси прве квантне револуције реализовани и поред нерешавања следећих појмова квантне физике:

- *кохерентна суперпозиција*, према којој се неки објект може истовремено наћи на два места, што је супротно концепцији класичне физике;
- *квантна исцрпљивост*, према којој је судбина неког квантног објекта потпуно неизвесна и нераздвојно повезана са судбином неког другог аналогног објекта, иако не постоји нека могућност њиховог међусобног деловања.

### ДРУГА КВАНТНА РЕВОЛУЦИЈА

Решавање поменутих проблема у вези са суперпозицијом и испреплетаношћу валоризовано је [Нобеловом наградом за физику 2022](#) [2] која је додељена Alain Aspect, John F. Clauser и Anton Zeilinger за „*експерименте са исцрпљиваним фотонима, утврђивање нарушавања Белових неједнакости и пионирски рад у квантној информатици*”. Била нам је велика част да нам Alain Aspect напише посвету на примерку његове, сада историјске, докторске тезе<sup>1</sup> (Слика 1), чији резултати се сматрају почетком [Друге квантне револуције](#) [3], која је, решавањем проблема суперпозиције и испреплетаности показала да се поред нивоа *класичне и квантне физике* појављује и *постквантни* ниво. Овај ниво карактерише и нека врста еманципације науке јер се научна остварења у истој лабораторији сада користе и за технолошке реализације. Физика, и наука уопште, више се не ограничавају на

<sup>1</sup> Докторску тезу Alain Aspect тражио сам и добио из Француске 90-тих година прошлог века. Маја 2025. године имали смо част да се сретнемо са господином Ален Аспеом у Француском институту у Паризу на прослави [30 година пројекта La main à la pâte](#) [4] на коју смо позвани као дугогодишњи сарадници овог пројекта, код нас „Рука у тесту”. Дао нам је са задовољством посвету на примерку тезе, коју је одушевљено показао аудиторјуму. Била нам је велика част да се „[Под куполом Француског Института](#)” [5] обратимо цењеном скупу.



**Слика 1.** Посвета нобеловца Alain Aspect на нашем примерку његове докторске тезе (лево). У жирију су, између осталих, били и нобеловац Claude Cohen-Tannoudji, теоретичар John Bell, креатор Белове неједначине, филозоф-физичар Bernard d'Espagnat. Десно је приказ кључних резултата тезе.

**-НАПРАВИО ИЗВОР КОЈИ  
ЕМИТУЈЕ ЈЕДАН ПО ЈЕДАН  
ФОТОН;**

**-ИЗОЛОВАО ЕМИСИЈУ ИЗ ЈЕДНОГ  
АТОМА, ИЗОЛОВАНОГ У ВРЕМЕНУ  
АЛИ НЕ И У ПРОСТОРУ;**

**-ОПСЕРВИРАО НЕКЛАСИЧНУ  
СВЕТЛОСТ (1-ФОТОН);**

**-ПОТВРДИО  
САМОИНТЕРФЕРЕНЦИЈУ ФОТОНА**

мисију разумевања и моделизовања постојећег универзума него настоје да креирани феномен примене.

## ШТА СУ ТО КВАНТНЕ ТЕХНОЛОГИЈЕ?

Развој фундаменталних научних и технолошких остварења данас се најчешће одвија истовремено. *Квантним инжењерством 2.0* се систематским и итеративним процесима, користећи научна открића *групе квантне револуције*, дизајнирају објекти и системи с циљем да се реше неки проблеми. *Квантна технологија* је нова област наука и инжењерства, која обухвата технологије које се развијају на основама квантне механике, посебно квантне испреплетаности (entanglement), квантне суперпозиције и квантног тунелирања. Научници и истраживачи их користе при стварању система, процеса и артефакта да би реализовали неке своје потребе и жеље.

У неформалном и информалном образовању ђаци и њихови професори могу да се суоче с појмовима попут: *квантна информација* (преноси је једна једина честица), *квантно сјрезање*, *квантни бит-**QUBIT*** (омогућује *квантну криптиграфију* [6]), *квантне тачке* (извори квантне светлости, односно емисије једне честице), *ласерски светлосни импулси реда пикосекунда* (омогућују праћење електрона у атому).

На пример, у оквиру [ЕУ програма развоја квантних технологија](#) издвајају се четири основна правца [7, стр 16]:

- *комуникације* (квантна криптографија, генерисање и детекција једног јединог фотона);
- *метрологија/сензори* (атомски квантни часовник, квантни сензори са спектром примене од мерења електричног и магнетног поља хелије до инерцијалних навигационих система и геонауке);

- *прорачуни* (еволуцију неког квантног система није могуће симулирати помоћу класичног компјутера, већ је за то потребан квантни компјутер);

- симулације неког квантног система помоћу уређаја познатог као универзални квантни симулатор, који се подвргава законима квантне механике.

Другом квантном технолошком револуцијом до 2035. године очекује се креација:

- *Квантних комуникационих линкова*, како земаљских тако и сателитских, који већ почињу да се примењују. Циљ је ултрабезбедан пренос информација као одговор на претњу да је помоћу квантних рачунара и алгоритама могуће угрозити класичне технике шифрирања. Квантна комуникација ће бити могућа када се оствари повезивање градивних блокова за генерисање, пренос, складиштење и синхронизацију квантних информација између удаљених локација.

- *Квантној индустрији*. Потребно је открити како *испреплетаност* доводи до нове криптографије и других примена у области телекомуникација.

- *Квантних симулатора*. Код квантног компјутера QUBIT-и су изложени различитим манипулацијама (портови, испреплетаност...) пре него што се реализује мерење. Код квантног симулатора они су препуштени слободној еволуцији према квантним законима. На пример, за молекула  $H_2O$  потребно је решити 36 једначина, а на квантном нивоу је за манипулацију овог стања са 36 честица потребно  $2^{36}$  могућих стања. Замислимо ситуацију са молекулом глукозе!

- *Квантни сензори* отварају широк спектар примена, од високоперформансне опреме за микроелектронику или науке о животу (мерење електричних и магнетних поља које емитује хелија), инерцијалне навигације, наука о Земљи (мерење магнетног поља, гравитационог поља или чак гравитационог потенцијала).
- *Квантни комјутер*, на чијој реализацији је ангажовано више светски познатих лабораторија.
- И ту није крај....

## ШТА БИ ШКОЛЕ И АКАДЕМСКА ЗАЈЕДНИЦА МОГЛЕ ДА УРАДЕ?

Разумевање квантно-технолошких остварења подразумева упознавање ученика са основним појмовима рачунарства високих перформанси, вештачке интелигенције, квантних технологија..., а то захтева да се у програмима формалног образовања, пре свега, превазиђе *дисциплинарни приступ* (хемија, физика, биологија математика, информатика). Потребно је да се укључи више садржаја из угла *мултидисциплинарног приступа* који подразумева употребу знања/разумевања више од једне дисциплине (на пример, физика и хемија, биологија и хемија, математика и рачунарство); *интердисциплинарног приступа*: употреба метода једне дисциплине унутар друге (биохемија, астрофизика) и *трансдисциплинарног приступа*: фокусирање на појаве попут загађења или климатских промена, које су унутар и изван дисциплинарног приступа, уз могућност развоја нових перспектива (Слика 2).

Приступ познат као STEM подразумева примену истраживачког приступа у подучавању наука, односно поред садржаја и информисаности, лако доступних свима, више пажње се посвећује контексту. На пример, Доплеров ефект није довољно само научити него га је потребно применити у контексту ласерског хлађења атома и низу других истраживања.



Слика 2. Шематски приказ различитих истраживачких приступа

## ИНТЕРАКЦИЈА ЛАСЕРСКЕ СВЕЛОСТИ НА АТОМСКОМ НИВОУ

Применом ласера остварен је највећи број квантно-технолошких истраживања. Наставници хемије и физике могу врло лако да објасне ученицима интеракцију ласерске светлости на атомском нивоу на основу информација које ученици већ имају о моделима атома у оквиру формалног образовања (Слика 3). У односу на то како је код нас приказано у уџбеницима физике и хемије, овде је шематски приказ детаљнији, а новина је у кораку 4 где се истичу боје светлости настале емисијом при повратку електрона у основно стање. Боје светлости су зависне од таласне дужине, односно од величине емитоване честице (највећа је код црвене светлости).

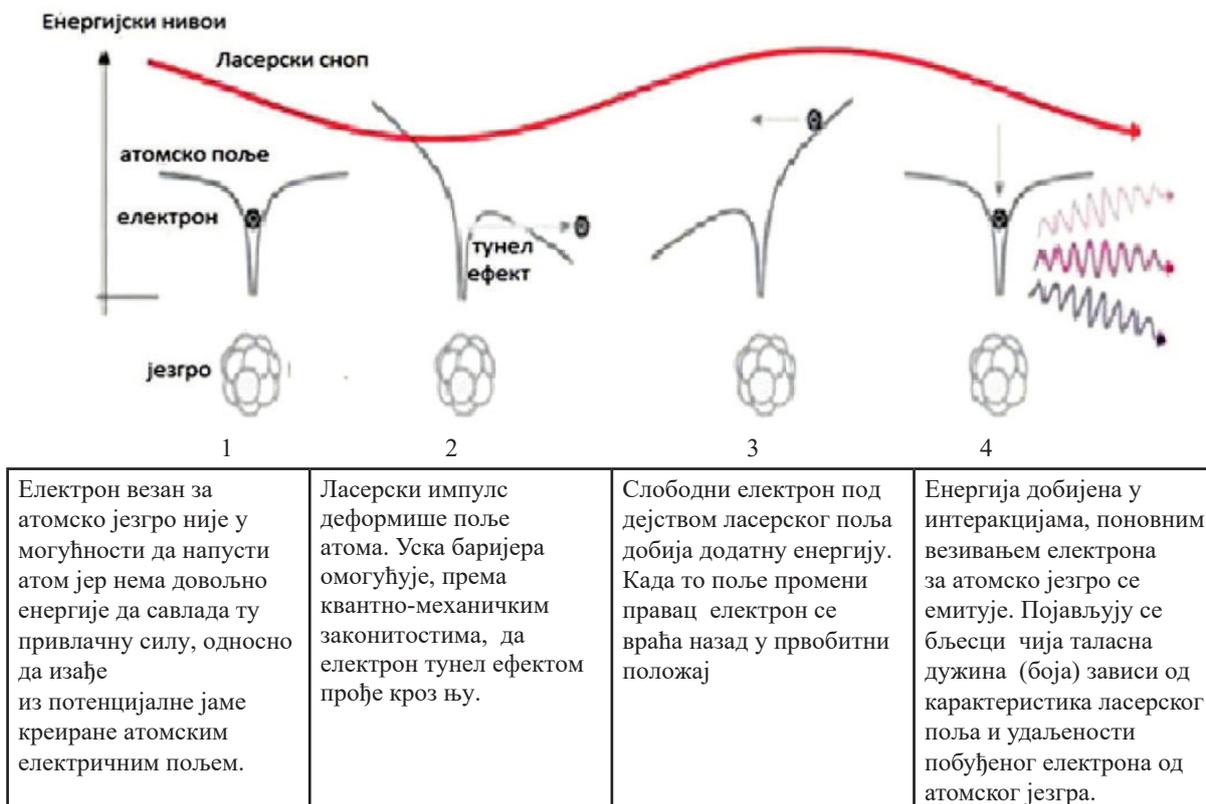
## ЛАСЕРСКО ХЛАЂЕЊЕ АТОМА

Приказаћемо шематски интеракције ласерске светлости у процесу ласерског хлађења атома применом Доплеровог ефекта. Познато је да се атоми крећу брзином од око  $300 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  па им је потребно смањити брзину, односно охладити их, да би се могло манипулисати са њима. Процес хлађења атома приказан је на Слици 4.

Хлађење се постиже на следећи начин: атом се креће брзином  $v$  ка ласерском зраку и услед Доплеровог ефекта бива: 1. побуђен апсорпцијом фотона плаве ласерске светлости; 2. тај фотон му предаје свој импулс који је у смеру ласерског зрака (дакле, атом се успорава); 3. сам атом затим подлеже узмаку који га помера у супротном смеру (закон одржања импулса) - успорава га; 4. деексцитација тако побуђеног атома се остварује емисијом фотона; 5. атом сад поново подлеже узмаку али у неком другом смеру; 6. усредњавањем на велики броја атома који су учествовали у реакцији долази до поништавања различитих узмака и преостаје само узмак који је последица интеракције са ласерским зраком. Значи, брзина атома се смањила јер овим интеракцијама на њега делује резултујућа сила која је супротна од његовог смера кретања и већа је за десетак хиљада пута од гравитационе силе. За овај истраживачки успех додељена је [Нобелова награда за физику 1997. године](#) Steven Chu, Claude Cohen-Tannoudji и William D. Phillips „за развој метода хлађења и хвањања атома ласерском светлости” [8].

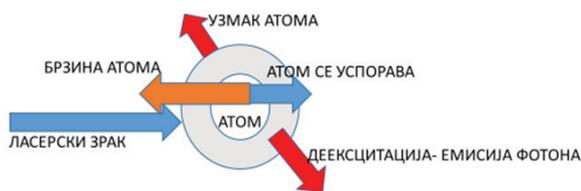
## МЕРЕЊЕ И МАНИПУЛАЦИЈА СА ИНДИВИДУАЛНИМ КВАНТНИМ СИСТЕМИМА

Конкретна примена хлађења и манипулације појединим атомима или честицама је валоризована Нобеловом наградом за физику 2012. године, која је додељена [Serge Haroche and David J. Wineland](#) [9],



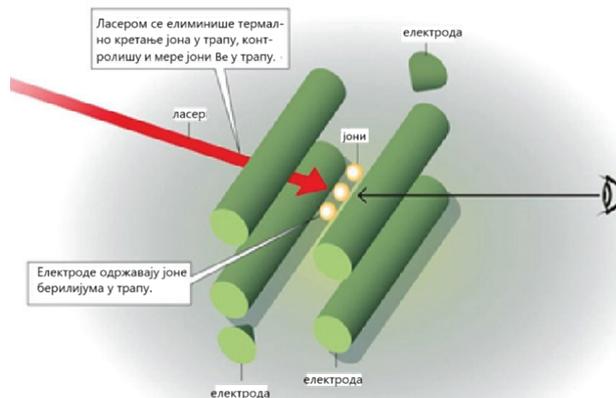
Слика 3. Интеракције ласерске светлости са атомом супстанце у гасовитом стању (одобрено од The Royal Swedish Academy of Sciences and Illustrator Johan Jarnestad)

који су независно „иновирали и развили метод мерења и манипулације индивидуалним честицама не нарушавајући при том њихову квантно-механичку природу”.



Слика 4. Ласерско хлађење атома

David Wineland је успео да јон атома изолује у простору (трапу) у ком делује електрично поље. Експериментисао је у вакууму, и на врло ниској температури, изолујући тако честице од зрачења и топлоте окружења. Користио је ласерске снопове и ласерске пулсаве којим је елиминисао њихово термално кретање (тј. ласерски их је „охладио”) доводећи их тако у најниже енергетско стање, што му је омогућило да изучава квантне феномене јона заробљених у трапу. Ласерским пулсавима је те јоне постављао у стање суперпозиције, односно симултане егзистенције у два различита енергетска стања. Другим речима, поставља јон у стање из ког може с једнаком вероватноћом да пређе у било које од тих стања, и на тај начин је у могућности да изучава квантну суперпозицију енергетских стања, а да не дође до редукције таласног пакета при мерењу (Слика 5).

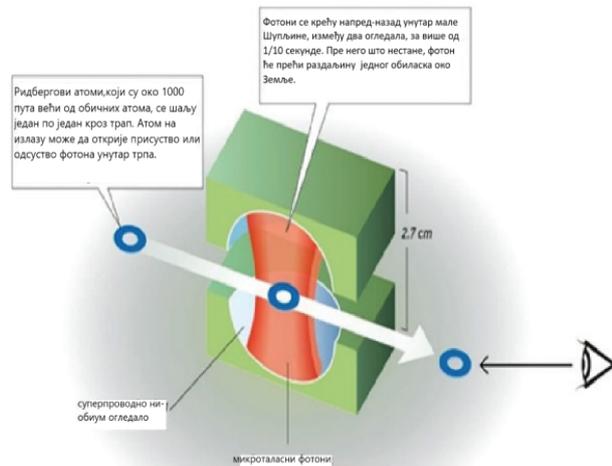


Слика 5. Берилијумови јони се одржавају у трапу електричним пољем. Јони су охлађени ласерским снопом, тј. доведени у најниже енергетско стање, што омогућује изучавање њихових квантних својстава. Ласерским пулсавима јони се доводе у међустање између побуђеног и основног стања (одобрено од The Royal Swedish Academy of Sciences and Illustrator Johan Jarnestad)

Wineland-ова група је прва демонстрирала квантне операције са два квантна бита. Пошто су реализоване контролисане операције с неколико qubit-a, верује се да би оне могле бити реализоване и са већим бројем qubit-a. Проблем конструкције оваквог компјутера је техничке природе, јер је тешко остварити

адекватну изолацију бројних qubit-а од окружења, односно од ефекта декохеренције. Wineland и тим су употребили јоне у трапу за конструкцију часовника који је стотинама пута прецизнији од цезијумовог атомског часовника, који је стандард мерења времена. Цезијумов часовник ради у микроталасном домену, док Wineland-ов јонски часовник користи видљиву светлост па је зато и добио име оптички часовник. Оптички часовник може бити конституисан од једног или два јона у трапу. У случају два јона, један је искоришћен као часовник, а други је искоришћен за читавање времена без деструкције његовог стања. Прецизност овог часовника је већа од  $1/10^{17}$ , што значи да би овај часовник при мерењу времена од Великог праска, око 14 билиона година до данас, каснио само 5 секунди.

Serge Haroche је, користећи мали трап између огледала (Слика 6) од суперпроводног материјала изузетних својстава рефлексије на температурама око апсолутне нуле, могао да прати и мери кретање фотона у временском интервалу од око једне десетине секунде, пре него што буду апсорбовани или изгубљени. У том интервалу фотон може да пређе око 40000 километара, што је приближно еквивалентно обиласку око Земље. Контрола и мерење микроталасних фотона у трапу је реализована помоћу Ридбергових атома (радијус им је око 125 nm што је 1000 пута веће од радијуса типичног атома) који су, пажљиво одабраном брзином, убацивани један по један у трап.

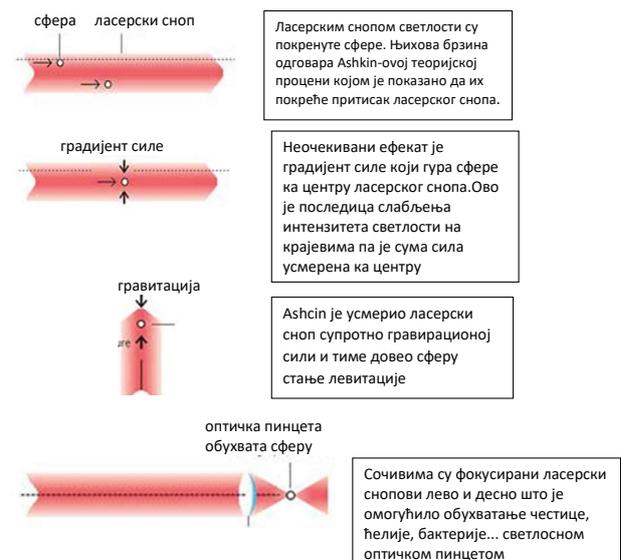


**Слика 6.** Јони Ридберговог атома су доведени у најниже енергетско стање из којег их је могуће поставити у стање суперпозиције. Усмеравани су кроз трап, између два ниобијумска огледала, у коме се, у вакууму и температури приближно апсолутној нули, крећу микроталасни фотони. Ридбергови атоми откривају присуство тих фотона који су подвргнути квантним манипулацијама, а при том не бивају уништени (коришћење слике одобрила The Royal Swedish Academy of Sciences and Illustrator Johan Jarnestad)

Интеракцијом са микроталасним фотонима долази до промене фазе квантног стања атома односно до померања пикова таласа. Фазни померај може да буде измерен кад је атом у трапу, а тиме се открива и присуство или одсуство фотона. Haroche је овим методом успео да реализује мерења на једном фотону, а да га при томе не уништи, а могао је и да броји фотоне, један по један, у реалном времену. Заробљене микроталасне фотоне у трапу је постављао истовремено у стања са супротним фазама, слично као случај штопернице чија игла се симултано креће у смеру и супротно смеру кретања казаљке на сату. Микроталасно поље унутар трапа се испитује с Ридберговим атомима. Резултат је квантни ефекат познат као спрегнутост (entanglement). Спрегнутост је описао и Шредингер сматрајући да две или више квантних честица могу без директног контакта бити у неком односу и утицати на међусобна својства. Спрегнутост микроталасног поља фотона и Ридбергових атома омогућио је Haroche да опише прелазе квантних суперпозиционих стања у стања која су дефинисана у класичној физици.

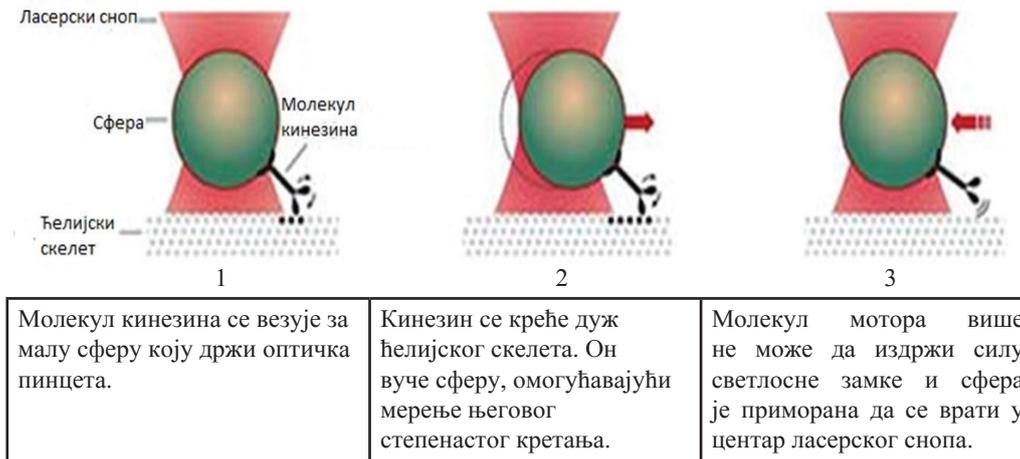
## ASHKIN-ОВ СВЕТЛОСНИ ТРАП ПОЗНАТ И КАО ОПТИЧКА ПИНЦЕТА

Шематски приказ и објашњење принципа рада Ашкиновог светлосног трапа, односно *оптичке пинцете* приказана је на на Слици 7. [Нобелова награда за физику за 2018. годину](#) додељена је „за револуционарна открића у области ласерске физике”. При томе је једна половина додељена Arthur Ashkin-у „за оптичке пинцете и њихову примену у биолошким системима”, а другу половину деле Gérard Mourou и Donna Strickland „за метод генерисања високоинтензивних, ултракрајких оптичких импулса” [10].



**Слика 7.** Оптичка пинцета и левитација атома (одобрила The Royal Swedish Academy of Sciences and Illustrator Johan Jarnestad)

Ашкин је својим оптичким пинцетама отворио читав низ нових примена. Један важан пробој била је могућност истраживања механичких својстава молекулских мотора великих молекула који користе енергију унутар ћелије и конвертују је у кретање. *Кинезин*, моторни протеин, први је детаљно мапиран помоћу оптичких пинцета, и његово постепено кретање дуж микротубула које су део ћелијског скелета (Слика 8).



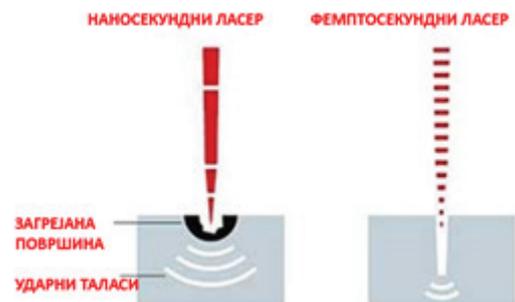
Слика 8. Шематски приказ кретања мотора молекула унутар светлосног трапа с објашњењем за ситуације 1-3 кретања (одобрила: The Royal Swedish Academy of Sciences and Illustrator Johan Jarnestad)

## ГЕНЕРИСАЊЕ ВРЛО КРАТКИХ ЛАСЕРСКИХ ИМПУЛСА И ЊИХОВА ПРИМЕНА

Генерисани кратки импулси (Слика 9) фемтосекундног ласера (десно) узрокују мање оштећења у материјалу него милион пута дужи импулси наносекундног ласера (лево). Једна од нових области истраживања која се појавила последњих година је физика атосекунде. Ласерски импулси краћи од стотинак атосекунди (једна атосекунда је милијардити део милијардитог дела секунде) омогућују откривање понашања електрона. Сваком ученику би требало да буде познато да су електрони одговорни за оптичка и електрична својства супстанце, као и за хемијске везе. Овом техником је могуће видети електроне и контролисати њихова кретања. Зато је додељена [Нобелова награда за физику 2023.](#) године Pierre Agostini, Ferenc Krausz и Anne L’Huillier „за експерименталне методе које генеришу атосекундне импулсе светлости за истраживање динамике електрона у материји” [11]. Различити процеси и њихово време трајања у: електроници, хемијским реакцијама, молекулским вибрацијама, фотосинтези, кретању електрона у атому реализују се у временском интервалу реда микросекунда ( $10^{-6}$ s) до атосекунда ( $10^{-18}$ s), што на најконкретнији начин указује на важност овог открића.

Што су светлосни импулси ласера бржи, то се могу не само посматрати него и снимати бржи

процеси. На пример, атокамером је могуће снимати кретање електрона око атомског језгра. Ултратратки и интензивни ласерски импулси су нашли велику практичну примену у разним областима попут складиштења података, очне хирургије и у производњи медицинских стентова за операције на крвним судовима тела.



Слика 9. Деловање наносекундног и фемтосекундног ласера на материју је нашло примену у медицини и другим областима (одобрила: The Royal Swedish Academy of Sciences and Illustrator Johan Jarnestad)

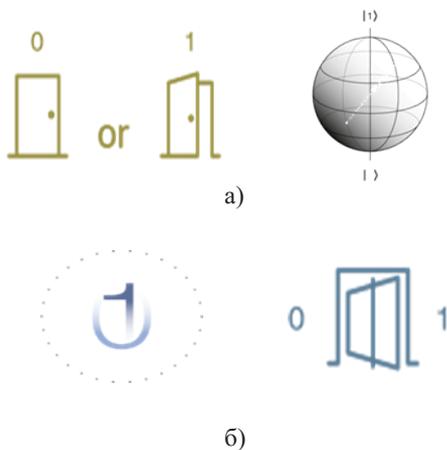
## КВАНТНА ИНФОРМАТИКА-QUBIT?

Већи број светски познатих лабораторија ради на развоју квантног компјутера. Приказаћемо информативно разлику класичне и квантне информатике; неке од резултата у вези креације одговарајућих QUBIT-а: Ридбергов атом и Квантне тачке, а остале ћемо само поменути.

Класичне информације се приказују помоћу класичних битова који постоје у једном од два дефинисана стања: 0 или 1 (Слика 10).

<sup>2</sup> Преузето из [Au-delà du classique: comprendre l'informatique quantique](#) [12] (објашњење на енглеском и француском) као илустрација како се успешна квантно-технолошка spin-off организација PASQAL обраћа садашњим и будућим радницима у овој области.

Ако би класични бит замислили као капију, онда би она била потпуно отворена или потпуно затворена. Дакле, не постоји могућност да буде делимично отворена. Квантна верзија класичног бита је квантни бит (кјубит) који показује својства *суперпозиције* и *испреплетаности*, а њих нема бит у класичној физици.



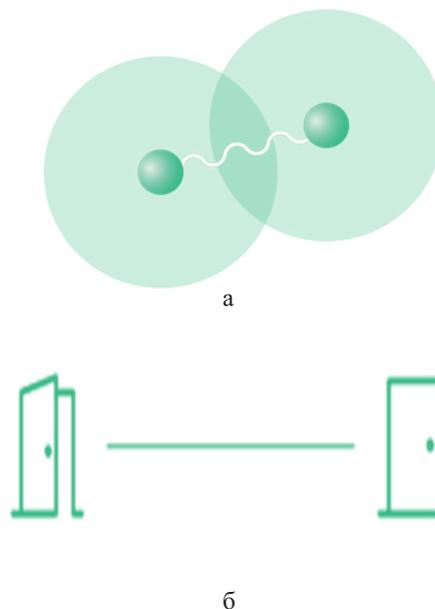
Слика 10. Илустрација: а) класичног бита (0 или 1); б) квантног бита (QUBIT)

За разлику од класичних битова, кјубити могу постојати у квантној суперпозицији која се представља као сложена линеарна комбинација стања. Дакле, уместо да буду само у стањима 0 или 1, они могу да имају низ стања између 0 и 1. Када би кјубит био капија могао би да буде у стањима између затворене и отворене капије, налазио би се у оба стања истовремено све док на њега, односно капију, не делујемо, односно док је не затворимо или отворимо! Одговарајућим дејством ласера могуће је манипулисати енергетским нивоима између основног (0) и побуђеног (1) стања кјубита који тиме опстаје истовремено у та два стања све док се на њега не делује.

Процесом мерења, кјубит из стања суперпозиције прелази у стање 0 или 1, што је у квантној физици познато као „колапс“ стања. Разумевање везе мерења и колапса у квантном рачунарству се користи при дизајнирању ефикасних *квантних алгоритама и техника исправљања грешака*.

Испреплетаност (*entanglement*), Слика 11а, је квантни феномен у коме су два или више кјубита (QUBIT) повезана на такав начин да се стање једног кјубита не може описати независно од осталих, без обзира колика је њихова међусобна удаљеност.

Замислите две квантне капије које су невидљиво повезане. Ако је једна отворена, онда је друга затворена. Дакле, мерење на једном испреплетаном кјубиту откриће истог тренутка информацију о његовим партнерима. Њихове корелације су *нелокалне* и доводе у питање наша схватања о информацији и узрочности, која важе у класичној физици.



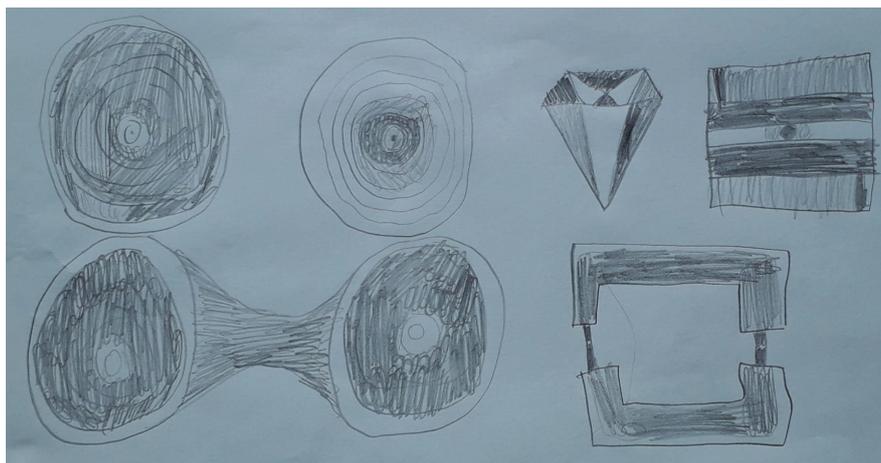
Слика 11. а) Испреплетаност; б) две квантне капије невидљиво повезане

Више светски познатих лабораторија је ангажовано на креирању QUBIT, од којих су неки приказани на Слици 12. Шематски приказ прављења QUBIT можете видети на постерима наше [изложбе радионице „Образовање за одрживи развој“](#) (од 6. до 9. минута) [13].

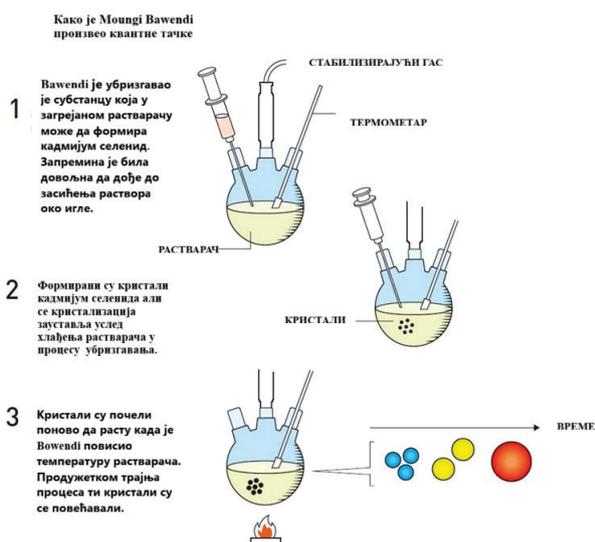
## КВАНТНЕ ТАЧКЕ

[Нобелову награду за хемију за 2023.](#) годину за „*откриће и развој квантних тачака*“ добили су Mounqi G. Bawendi, Louis E. Brus и Aleksey Yekimov [14]. Квантне тачке имају јединствена својства, а већ су примењене код креација QLED телевизијских екрана високе резолуције и LED лампи. Могу и да катализују хемијске реакције, док се светлост коју емитују може користити у хирургији туморских ткива. Истраживачи су успели да креирају прве квантне тачке 80-тих година прошлог века производећи наночестице у неком суду или у колоидном раствору. На пример, Mounqi Bawendi [14] је произвео квантне тачке хемијским поступком приказаним на Слици 13.

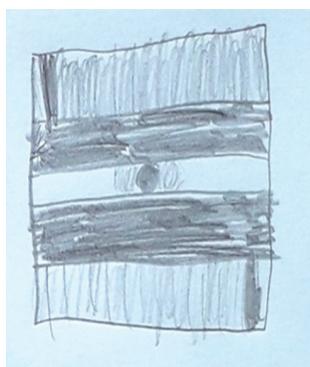
Својства квантних тачака се померавају квантним законима на малим скалама. На пример, с променом њихове величине долази и до промене њихове боје. Квантне тачке се могу направити и у сендвичу полупроводника, што је примењено у креацији QUBIT-а (Слика 14). Неки електрон може бити заробљен у некој квантној тачки. Тај електрон је носилац малог квантног магнета, тј. спина. Манипулацијом неким електромагнетним пољем овај мали квантни магнет може бити оријентисан на горе, на доле или истовремено у оба правца (QUBIT). Електрони могу бити и заробљени између слојева полупроводника. Квантне тачке су величине стотинак нанометара.



Слика 12. QUBIT-и за квантни компјутер (с лева на десно): јон атома; Ридбергов (RYDBERG) атом; NV центри код дијаманта; квантне тачке-вештачки атом; испреплетани фотони; суперпроводно коло



Слика 13. Приказ хемијског поступка којим је Mounji Bawendi произвео квантне тачке (Одобрили: Johan Jarnestad/The Royal Swedish Academy of Sciences)



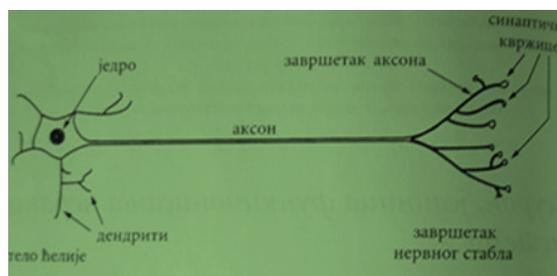
Један од циљева је и креација квантног компјутера. Спин у квантној тачки може бити искоришћен за кодирање квантне информације и манипулисање. Добра стабилизација спинова се остварује хлађењем до неколико степени изнад апсолутне нуле. Манипулацијом спинова из више квантних тачака очекује се могућност реализације нових типова прорачуна „QUBIT” квантног компјутера, има вредности 0 и 1 или обе истовремено (спин на горе или спин на доле).

Слика 14. Квантне тачке - вештачки атом

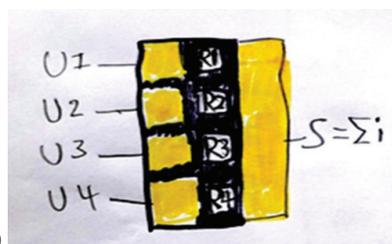
## ПРИМЕРИ НАНОТЕХНОЛОГИЈА УЗ ПРИМЕНУ ВЕШТАЧКЕ ИНТЕЛИГЕНЦИЈЕ КОЈИ СУ ВЕЋ ПОСТАЛИ ДЕО СВАКОДНЕВНЕ ПРИМЕНЕ

### ВЕШТАЧКИ НЕУРОН

Експериментални рад на развоју неуро-компјутера се, између осталог, састојао и у реализацији неуро-миметичког калкулатора коришћењем нанотехнологије за прављење вештачког неурона (Слика 15).



а)



б)

в)  $S(U) = W(\text{тежина}) U(\text{улазни п.}) + B(\text{bias})$  (садржи грешке или је дискриминаторан)

Слика 15. Шематски прикази: а) природног неурона и његових делова; б) синтетичког неурона и в) прорачуна који смо дали као пример. Напомена: Вештачки неурон је приказан у референци [15]. На страни 10 пише: „...за реализацију вештачког неурона коришћене су нанотехнолошке компоненте... тако да су неуронска кола заснована на угљеничној нанотуби која је имала способност да учи...”.

Вештачки неурон овде има четири улазна податка (U1-U4) који се обрађују у унутрашњем делу (R1-R4) и добија се један излазни податак (S) (пример функције једне променљиве!). Дакле, овде се илуструје и пример коришћења нанотехнологија и математике, више детаља у референци [16].

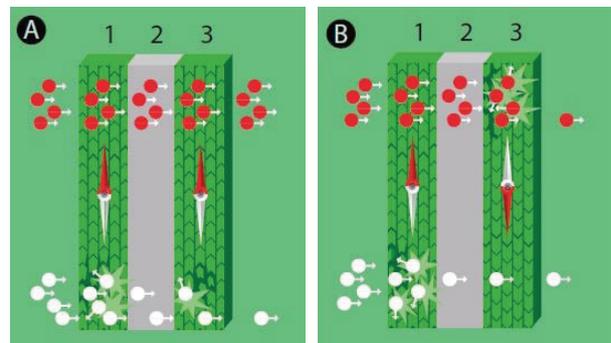
[Нобелова награда за физику 2024. године](#) додељена је John J. Hopfield и Geoffrey E. Hinton за „*допринос развоју машинској учења коришћењем вештачких неуронских мрежа (АНН)*” [17]. Прилог „*Вештачка интелигенција - наука и образовање*” у Хемијском прегледу, број 3-4, из 2023. године садржи, између осталог, основне појмове о вештачкој интелигенцији, великој бази података, вештачким неуронским мрежама, машинском учењу [18-19].

## ПРОТЕИНИ-ВЕШТАЧКА ИНТЕЛИГЕНЦИЈА

[Нобелова награда за хемију за 2024. годину](#) додељена је David Baker „*за рачунарски дизајн протеина*”, и Demis Hassabis и John Jumper „*за предвиђање структуре протеина*” [20]. Користећи вештачку интелигенцију они су предвидели структуру скоро свих познатих протеина. Моделом вештачке интелигенције, као делом AlphaFold2 програма, одређивана је протеинска структура тренирањем на свим познатим секвенцама аминокиселина. Секвенца аминокиселина непознате структуре је унета у AlphaFold2, а затим се у бази података тражи слична секвенца аминокиселина и протеинске структуре. Анализа секвенце **ВИ** моделом упоређује све сличне секвенце аминокиселина, често за различите врсте, и истражује се који део је одржан током еволуције. AlphaFold2 у следећем кораку испитује које би аминокиселине могле међусобно да интерагују у тродимензионалној протеинској структури. Аминокиселине коеволуирају интерагујући. Ако је једна наелектрисана онда друга има супротно наелектрисање, па се међусобно привлаче. Ако је једна замењена хидрофобном аминокиселином и друга ће постати хидрофобна. Итеративним поступком AlphaFold2 побољшава анализу секвенци и дистантних мапа. Податак о другој протеинској структури, ако је пронађена у првом кораку, се такође употребљава. При тражењу неке хипотетичке структуре AlphaFold2 поставља заједно аминокиселине и тестира могуће начине креације хипотетичке протеинске структуре. Ова реализација се одвија посредством анализе коришћењем вештачке интелигенције. После претходна три циклуса AlphaFold2 долази до специфичне структуре. Моделом вештачке интелигенције се прорачунава вероватноћа да различити делови ове структуре одговарају структурама у реалности. Сматра се да је потенцијал ових открића огроман, јер су откривена својства протеина уз помоћ рачунарства и вештачке интелигенције.

## ГИГАНТСКА МАГНЕТООТПОРНОСТ GMR- СПИНТРОНИКА

Нанотехнологије су већ део наше свакодневнице, а да ми тога најчешће нисмо свесни. Конкретан пример је СПИНТРОНИКА која користи и магнетна својства спина електрона за разлику од, свима познате, електронике код које се користе електрична својства електрона. За откриће гигантске магнетоотпорности додељена је [Нобелова награда за физику 2007 године](#) Albert Fert<sup>3</sup> and Peter Grünberg [21]. Примена овог феномена је довела до револуционарних промена у преузимању података са хард диска, развоју нове електронике, примени код различитих магнетних сензора, а сматра се и једном од првих масовнијих примена нанотехнологија. Објашњење феномена је дато на Слици 16 (А, Б). Танак слој немагнетисаног метала постављен је у сендвич између два танка магнетна метала. Ако је смер магнетизације исти у оба магнетна слоја онда електрони с паралелним спином (црвено означени) могу проћи кроз цео систем а да се не сударе. То значи да је укупни отпор система мали. Ако је смер магнетизације супротан у магнетним слојевима, онда ће сви електрони имати анти-паралелне спинове у једном од слојева, па ће доћи до већег броја судара а тиме и до повећања укупне отпорности. Овде се на очигледнији начин показује међусобна интеракција фундаменталних истраживања и квантних технологија. Илустративан је пример нових минијатурних УСБ уређаја са све већим меморијским капацитетом.



**Слика 16.** А) Мали укупни отпор система; Б) Велики отпор система (дозвољено од The Royal Swedish Academy of Sciences)

<sup>3</sup> Имали смо част да, јануара 2008. године, господину Albert Fert- у, у непосредном контакту честитамо добијање Нобелове награде у француском граду Gardanne (последњи затворени рудник у Француској). Скуп је био посвећен инаугурацији Интернационалног научног центра *Campus Georges Charpak Provence Gardanne* (који је основан уместо затвореног рудника) и свечаној додели интернационалне награде за образовање PURKWA за 2007. годину.

## ЗАКЉУЧАК

Овим приказом достигнућа у науци и технологији, која већ постају део свакодневнице, покушали смо да укажемо на неопходност њиховог, барем информативног начина приказивања на средњошколском нивоу. Знање је, као што видимо, свуда присутно и лако доступно ученицима и студентима па би *контекст* требало да има предност у односу на *информације*. Информативно помињање Нобелових награда показује да су научна и технолошка достигнућа реализована применом квантних технологија, вештачке интелигенције, великих база података, машинског учења, прорачуна високих преформанси... Њихову реализацију су остварили истраживачи и сарадници припремљени за STEM занимања. Академска заједница и друштво би, посредством увођења одговарајућих програма на факултетима који образују наставнике наука за рад у школама, али и кроз програме усавршавања за наставнике који нису на Универзитету припремани за овакав начин рада са ученицима, дали допринос формирању друштва знања а тиме и припреми младих људи за STEM занимања.

Да бисмо приближили примену квантних технологија у образовању припремили смо и серију снимака који се налазе на нашем YouTube каналу: <https://www.youtube.com/watch?v=-fU8L1Hc6qU&list=PLATjo38ItpFmOQ4c5I14b3QGTF77iHWj> [22]

Abstract

## QUANTUM TECHNOLOGIES IN EDUCATION

Stevan JOKIĆ, Ljiljana JOKIĆ, Ruka u testu project

With this presentation of achievements in science and technology, which are already becoming part of everyday life, we have attempted to point out the need for at least an informative presentation of these topics at the secondary school level. Knowledge, as we can see, is everywhere and easily accessible to pupils and students, so context should take priority over information. Even a brief reference to the Nobel Prizes demonstrates that many scientific and technological achievements have been realized through the application of quantum technologies, artificial intelligence, large databases, machine learning, and high-performance computing. These achievements were made possible by researchers and collaborators prepared for STEM professions. By introducing appropriate programs at faculties that educate future science teachers, as well as support programs for in-service teachers who were not prepared for this approach during their university education, the academic community and society could contribute to the development of a knowledge society

and thus to the preparation of young people for STEM professions.

*Keywords:* quantum technologies, education, computer science, natural sciences, STEM

## ЛИТЕРАТУРА

1. Nobelova nagrada za fiziku, 1989, <https://www.nobelprize.org/prizes/physics/1989/summary/> (9.8.2025.)
2. Nobelova nagrada za fiziku, 2022, <https://www.nobelprize.org/prizes/physics/2022/summary/> (9.8.2025.)
3. S. Jokić, Lj. Jokić, Druga kvantna revolucija, <https://www.youtube.com/watch?v=aaPUOxmWTNc> (9.8.2025.)
4. 30 godina projekta La main à la pâte, <https://30ans.fondation-lamap.org/> (9.8.2025.)
5. S. Jokić, Lj. Jokić, Pod Kupolom Francuskog Instituta, <https://www.youtube.com/watch?v=-INAs1RHs7A> (9.8.2025.)
6. S. Jokić, Lj. Jokić, Kvantna kriptografija, <https://www.youtube.com/watch?v=jVKbw2w4LtQ> (9.8.2025.)
7. EU Program razvoja kvantnih tehnologija (str. 16-18), <https://www.cea.fr/english/Documents/clefs-cea/clefs-cea-66-quantum-revolutions.pdf> (9.8.2025.)
8. Nobelova nagrada za fiziku, 1997, <https://www.nobelprize.org/prizes/physics/1997/summary/> (9.8.2025.)
9. Nobelova nagrada za fiziku, 2012, <https://www.nobelprize.org/prizes/physics/2012/popular-information/> (9.8.2025.)
10. Nobelova nagrada za fiziku, 2018, <https://www.nobelprize.org/prizes/physics/2018/summary/> (9.8.2025.)
11. Nobelova nagrada za fiziku, 2023, <https://www.nobelprize.org/prizes/physics/2023/summary/> (9.8.2025.)
12. Au-delà du classique : comprendre l'informatique quantique, <https://www.pasqal.com/fr/beyond-classical-understanding-quantum-computing/> (9.8.2025.)
13. Stevan Jokić i Ljiljana Jokić, Izložba radionica – Obrazovanje za održivi razvoj, [https://www.youtube.com/watch?v=EJabM7M2y\\_o](https://www.youtube.com/watch?v=EJabM7M2y_o) (9.8.2025.)
14. Nobelova nagrada za hemiju, 2023, <https://www.nobelprize.org/prizes/chemistry/2023/popular-information/> (9.8.2025.)
15. L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE, CLEFS, No 69, str. 10, 2019 <https://www.cea.fr/multimedia/Documents/publications/clefs-cea/CLEFS-69-PAP.pdf>
16. S. Jokić i Lj. Jokić, 181, Razumem kako rade veštačke neuronske mreže jer koristim znanja iz matematike i informatike, <https://youtu.be/Lt7fxnmsE-4> (9.8.2025.)
17. Nobelova nagrada za fiziku, 2024, <https://www.nobelprize.org/prizes/physics/2024/summary/> (9.8.2025.)
18. Stevan Jokić i Ljiljana Jokić (2023). Veštačka inteligencija – nauka i obrazovanje. Hemijski pregled, 64 (3-4), 60.
19. Stevan Jokić i Ljiljana Jokić, podcast 6 veštačka inteligencija obrazovanje, <https://www.youtube.com/watch?v=mmAiVg7ge1I&t=9s> (9.8.2025.)
20. Nobelova nagrada za hemiju, 2024, <https://www.nobelprize.org/prizes/chemistry/2024/summary/> (9.8.2025.)
21. Nobelova nagrada za fiziku, 2007, <https://www.nobelprize.org/prizes/physics/2007/popular-information/> (9.8.2025.)
22. Квантне технологије, квантно образовање..., <https://www.youtube.com/watch?v=-fU8L1Hc6qU> (21.3.2026.)



Андреј КУКУРУЗАР

Универзитет у Београду, Институт за хемију, технологију и металургију, Институт од националног значаја за Републику Србију

Е-пошта: [andrej@chem.bg.ac.rs](mailto:andrej@chem.bg.ac.rs)

## МЕЂУНАРОДНА ХЕМИЈСКА ОЛИМПИЈАДА. ПРОБЛЕМ: ХИДРИДИ БОРА И ДРУГА БОРОВА ЈЕДИЊЕЊА (IChO 2012)

### ИЗВОД

Међународна хемијска олимпијада (IChO) се сматра најпрестижнијим такмичењем из хемије за ученике средњих школа, али и једном од најозбиљнијих међународних научних олимпијада уопште. У овом чланку биће укратко описана правила и начин извођења самог такмичења, као и његов историјат. Тим из Републике Србије учествује на овом такмичењу сваке године, почев од 2012. године. У овом броју *Хемијској ирепелега* биће представљен први задатак са IChO 2012. године са решењима, као први проблем који су ученици из Србије решавали на овом такмичењу. Задатак се бави хемијом бора.

*Кључне речи:* Међународна хемијска олимпијада, проблемски задаци, настава хемије, средње школе

### УВОД

На основу важећег правилника такмичења „Међународна хемијска олимпијада (The International Chemistry Olympiad, IChO) је такмичење из хемије за ученике средњошколског нивоа са циљем подстицања међународних контаката у хемији. Одржава се са намером да стимулише активности ученика заинтересованих за хемију кроз независно и креативно решавање хемијских проблема. Ова такмичења помажу у подстицању срдачних односа међу младима различитих народности; охрабрују сарадњу и међународно разумевање.”

### КРАТКА ИСТОРИЈА МЕЂУНАРОДНЕ ХЕМИЈСКЕ ОЛИМПИЈАДЕ

Прво такмичење је одржано 1968. године у Чехословачкој. Тада је учествовало 18 ученика-такмичара из само три државе (Чехословачка, Мађарска и Пољска). Од тада се такмичење одржавало сваке године, осим 1971. У почетку су све државе учеснице биле чланице Источног блока, док се 1974. године нису укључиле Шведска и Југославија. Наредних година укључивало се све више западних земаља. У Табели 1. изнети су значајни догађаји и промене у начину одржавања такмичења кроз године.

Да би се нова држава укључила у такмичење, најпре мора бити у улози посматрача две узастопне године. На овогодишњем такмичењу, 58. по реду, очекују се делегације из више од 90 држава.

### КАКО ИЗГЛЕДА ТАКМИЧЕЊЕ?

Свака земља учесница има право да на такмичење пошаље делегацију од највише четири ученика такмичара, највише два ментора, као и до два научна посматрача по избору. Ментори припремају учеснике (према пропозицијама у тарајању од највише две недеље), преводе тестове на језике на којима су такмичари одабрали да раде испите, а након теста спроводе жалбе у име ученика. Приликом доласка у земљу домаћина, ученицима такмичарима се одузимају средства комуникације (телефони, рачунари, паметни уређаји), како би се спречило да до њих стигну испитни задаци који ће тада њиховим менторима бити познати.

Такмичење се састоји од два испита: практичног, који носи 40 поена, и теоријског, вредног 60 поена. Сваки део садржи више задатака (практични обично три до пет, теоријски седам до десет), где сваки задатак има већи број потпитања. Сваки од ова два испита траје по пет сати и одржавају се са једним даном паузе између.

Задаци се састављају у складу са прописаним „силабусом”, обједињеним програмом свих разреда хемије за просечне средње школе развијених земаља. Очекује се да такмичари, осим средњошколског градива, савладају додатна знања из области физичке, неорганске, органске, аналитичке хемије, биохемије, спектроскопије, хемијске кинетике и хемије полимера. Практичне вештине које се могу захтевати на такмичењу обухватају, између осталог, синтезу неорганских и органских супстанци (укључујући мерење масе и запремине, обичну и вакуум дестилацију, обично и вакуум цеђење, кристализацију, екстракцију), квалитативно и квантитативно одређивање неорганских и органских супстанци (доказне реакције, титрације, гравиметрију), коришћење инструмената (*pH*-метар, спектрофотометар) и примену танкослојне хроматографије. Сваке године се одређује и тачан број напредних области из којих се може очекивати градиво које превазилази средњошколско. По ауторовом личном мишљењу, као учесника такмичења и студента

Табела 1. Значајни догађаји у историји Међународне хемијске олимпијаде<sup>1</sup>

<i>IChO</i> по реду	Година	Држава и град домаћин	Прекретнице у одржавању такмичења
1.	1968	Чехословачка, Праг	Три државе учествују, укупно 18 такмичара
-	1971	-	Једина година када такмичење није одржано
4.	1972	СССР, Москва	Уведени припремни задаци
7.	1975	Мађарска, Веспрем	Учествује више од 10 држава; уведено двоструко прегледање (аутори и ментори) и жалбе
8.	1976	Источна Немачка, Хале	Брзи преводи на националне језике
9.	1977	Чехословачка, Братислава	Први пут се уручују медаље на затварању такмичења
12.	1980	Аустрија, Линц	Прво такмичење одржано у земљи на Западу
16.	1984	Западна Немачка, Франкфурт	Енглески постаје једини службени језик (уместо дотадашњег симултаног превођења на четири језика); долази прва делегација ван Европе (САД)
17.	1985	Чехословачка, Братислава	Створена застава <i>IChO</i> и уручена организатору наредног такмичења
19.	1987	Мађарска, Веспрем	Више од 100 учесника; прва азијска делегација (Кина)
20.	1988	Финска, Еспо	Прва делегација са јужне хемисфере (Аустралија)
24.	1992	САД, Питсбург	Рачунари се користе уместо писаћих машина; први пут се <i>IChO</i> одржава ван Европе
25.	1993	Италија, Перуђа	Сребрни јубилеј; уведен је „ <i>Catalyzer</i> “, новине такмичења које излазе сваког дана
27.	1995	Кина, Пекинг	Први пут одржано у Азији
30.	1998	Аустралија, Мелбурн	Први пут одржано на јужној хемисфери
31.	1999	Тајланд, Банкок	Учествује више од 50 држава
32.	2000	Данска, Копенхаген	Више од 200 такмичара
34.	2002	Холандија, Гронинген	Прва афричка делегација (Египат)
35.	2003	Грчка, Атина	Највећи број теоријских задатака икада (35)
48.	2016	Грузија, Тбилиси	Такмичење припремљено за само 6 месеци због изненадне промене домаћина
50.	2018	Чешка и Словачка, Праг и Братислава	Златни јубилеј; први пут две државе домаћини
52.	2020	Турска, Истанбул	Одржано на даљину због пандемије Ковида-19, без практичног дела
53.	2021	Јапан, Осака	Одржано на даљину; преко 300 такмичара
54.	2022	Кина, Тјенђин	Одржано на даљину
57.	2025	УАЕ, Дубаи	Уместо на папирним тестовима, задаци приказани на рачунарима, уз друге иновације у логистици
58.	2026	Узбекистан, Ташкент	Овогодишње такмичење

који је недавно дипломирао, задаци на Међународној хемијској олимпијади подсећају на теже задатке који се раде на предметима прве две године Хемијског факултета Универзитета у Београду.

Учесници се рангирају на основу индивидуалног успеха. Златну медаљу добија 10-12 % најбољих, сребрну наредних 20-22 %, а бронзану следећих 30-32 %. Најуспешнијих 10-11 % учесника који нису освојили медаљу добија похвалу (енг. *honorable mention*). Такмичари који су освојили највећи број поена на практичном или теоријском делу теста добијају посебне

награде, као и они који су имали најбољи укупни пласман (енг. *absolute winners*).

## УЧЕШЋЕ СРБИЈЕ НА *IChO*

Југославија је била земља учесница од 1974. године, па до 1987. Република Србија се укључила као посматрач 2010. године, а први пут је послала делегацију са такмичарима 2012. године. То су били ученици Видак Раичевић (који је освојио бронзану медаљу), Златко Јончев (добио похвалу), Филип Илић

и Милица Лазаревић. Предводили су их професор Душан Сладић са Хемијског факултета Универзитета у Београду и професор Нико Радуловић са Природно-математичког факултета Универзитета у Нишу. Од тада Србија је слала такмичаре сваке године и они су досад освојили укупно две златне, 14 сребрних и 28 бронзаних медаља.

Начин одабира ученика који ће бити део делегације препуштен је државама учесницама. У Србији се организује Српска хемијска олимпијада (СХО), на којој учествују ученици најбоље ранжирани на Републичком такмичењу из хемије које организује Српско хемијско друштво, и то најбољих двоје из категорије другог разреда и најбољих десет из категорије трећег и четвртог разреда. СХО је конципирана по угледу на *IChO*. Најуспешнијих пет учесника СХО похађају двонедељне припреме са менторима, при чему је пети ученик резерва, а првих четворо ће учествовати на међународном такмичењу.

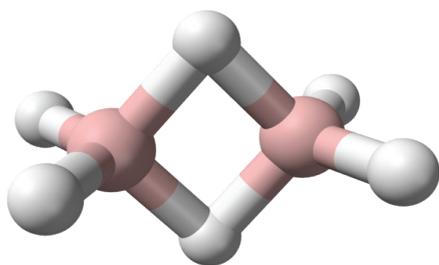
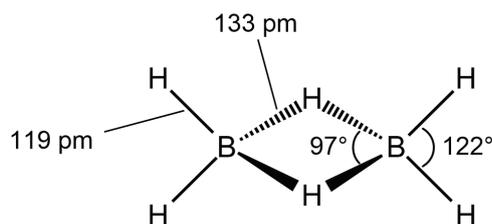
У наставку чланка, биће изложен први задатак са 44. Међународне хемијске олимпијаде одржане 2012. године у Вашингтону, Дистрикту Колумбија, у САД, када су се први пут такмичили учесници из Србије.

*Напомена аутора: На почетку шестог дана су Периодни систем елемената са редним бројевима и релативним атомским масама елемената, вредности физичких константи, као и одређене математичке формуле и једначине физичких закона.*

## ПРОБЛЕМ 1

### а. Хидриди бора и друга борова једињења

Хемију хидрида бора први је развио Алфред Шток (*Alfred Stock*, 1876-1946). Описано је више од 20 неутралних молекулских хидрида бора опште молекулске формуле  $B_xH_y$ . Најједноставнији бор-хидрид је  $B_2H_6$ , диборан.



извор: *Wikimedia Commons*

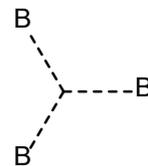
i. Користећи доле наведене податке, одредите молекулске формуле још два члана ове серије хидрида бора, **A** и **B**.

Супстанца	Агрегатно стање (25 °C, 1 bar)	Масени удео бора (%)	Моларна маса (g mol <sup>-1</sup> )
A	Течно	83,1	65,1
B	Чврсто	88,5	122,2

ii. Вилијам Липскам (*William Lipscomb*) је добио Нобелову награду за хемију 1976. године за „проучавање структура хидрида бора које је расветлило проблеме хемијског везивања”. Липскам је утврдио да, у свим хидридима бора, сваки атом бора има нормалну двоелектронску везу са најмање једним атомом водоника (B–H). Међутим, јављају се и додатне везе неколико различитих типова. Он је развио начин за описивање структуре борана тако што му је доделио *styx* број, где је:

s = број B–H–B мостова у молекулу;

t = број троцентричних ВВВ веза у молекулу;



y = број двоцентричних B–B веза у молекулу;

x = број BH<sub>2</sub> група у молекулу.

Молекул  $B_2H_6$  се описује *styx* бројем 2002. Предложите структурну формулу тетраборана,  $B_4H_{10}$ , са *styx* бројем 4012.

iii. Спектрални подаци једног једињења бора указују на то да оно садржи два типа атома бора, један тетраедарске, а други тригонално-планарне геометрије, у односу 1:3, редом. Ови спектри се такође слажу са присуством троструке CO везе у молекулу. Ако је познато да је молекулска формула овог једињења  $B_4CCl_6O$ , предложите његову структурну формулу.

### б. Термохемија једињења бора

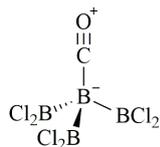
Одредите енталпију дисоцијације једнострукре B–B везе код  $B_2Cl_4(g)$  користећи следеће податке:

Веза	Енталпија дисоцијације везе (kJ mol <sup>-1</sup> )
B–Cl	443
Cl–Cl	242
Једињење	$\Delta_f H^\circ$ (kJ mol <sup>-1</sup> )
BCl <sub>3</sub> (g)	–403
B <sub>2</sub> Cl <sub>4</sub> (g)	–489



додати два атома водоника који су директно везани за два средишња атома бора, којима и недостаје по једна веза (IV), при чему је стварна структура овог једињења она са унакрсно повезаним атомима бора (са петочланим прстеновима, IVb).

iii. На основу података наведених у задатку закључујемо да је у молекулу један атом бора тетраедарске геометрије (гради четири везе) и три атома тригонално-планарне геометрије (граде три везе). Трострука веза између атома угљеника и кисеоника подсећа на резонантну структуру угљен-моноксида у којој атом угљеника носи негативно формално наелектрисање, а атом кисеоника позитивно. Како је у молекулу још шест атома хлора, а познат је молекул  $\text{BCl}_3$ , можемо претпоставити да постоје три  $\text{BCl}_2$  групе везане за централни атом бора, који је при томе везан још и за атом угљеника из угљен-моноксида. Атом бора са четири везе је примио слободни електронски пар са атома угљеника из угљен-моноксида, па је формално негативно наелектрисан, а атом угљеника губи формално наелектрисање, јер сада гради четири везе и не поседује слободни пар електрона, док атом кисеоника задржава своје формално наелек-



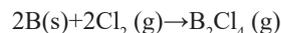
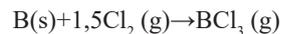
трисање.

Слика 2. Решење задатка 1.a.iii.

### 1.b.

Енталпија дисоцијације везе је енергија потребна да се раскине веза између два атома у гасној фази. Енталпија добијања се по дефиницији односи на реакцију добијања једињења у одређеном стању из елемената у њиховом стандардном стању, а може се изразити и као збир енталпија дисоцијација свих веза које се при овој

реакцији раскидају од кога је одузет збир енталпија дисоцијација свих веза које се тада стварају. На основу једначина реакција добијања  $\text{BCl}_3$  и  $\text{B}_2\text{Cl}_4$ :



и израза за енталпије добијања ова два хлорида бора, уз додатак енталпије испаравања елементарног бора, како би се превео у гасно стање:

$$\Delta_f H(\text{BCl}_3(\text{g})) = 1,5\Delta_{\text{dis}} H(\text{Cl}-\text{Cl}) + \Delta_{\text{evap}} H(\text{B(s)}) - 3\Delta_{\text{dis}} H(\text{B}-\text{Cl}) \quad (1)$$

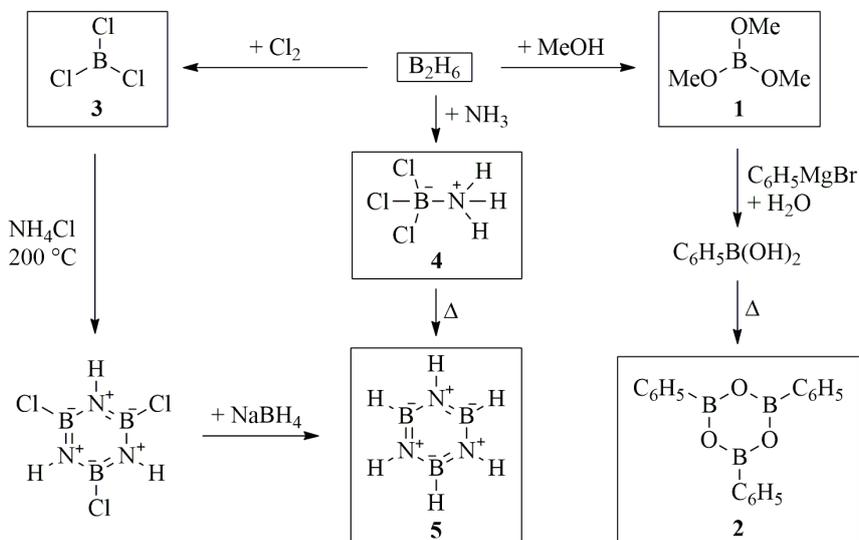
$$\Delta_f H(\text{B}_2\text{Cl}_4(\text{g})) = 2\Delta_{\text{dis}} H(\text{Cl}-\text{Cl}) + 2\Delta_{\text{evap}} H(\text{B(s)}) - 4\Delta_{\text{dis}} H(\text{B}-\text{Cl}) - \Delta_{\text{dis}} H(\text{B}-\text{B}) \quad (2)$$

Из једначине (1) добијамо да је енталпија испаравања бора  $\Delta_{\text{evap}} H(\text{B(s)}) = 563 \text{ kJ/mol}$ . Када ту вредност уврстимо у једначину (2), добијамо тражену енталпију дисоцијације везе B-B:

$$\Delta_{\text{dis}} H(\text{B}-\text{B}) = 327 \text{ kJ/mol}$$

### 1.c.

Решење задатка 1.c. је приказано на Сlici 3. Једињење 3 је најједноставнији хлорид бора ( $\text{BCl}_3$ ). Једињење 4 настаје реакцијом амонијака као Луисове базе и борана као Луисове киселине ( $\text{H}_3\text{B}-\text{NH}_3$ ). Структура једињења 5 се може претпоставити на основу тога што оно настаје загревањем једињења 4 (дакле, садрже исте елементе), као и реакцијом приказаног цикличног молекула са натријум-борхидридом, донором хидридног јона, који може супституисати хлориде. Ово једињење је боразин. Једињење 1 настаје реакцијом метанола са бораном, при чему се граде три везе бор-кисеоник. Моларна маса једињења 2 се добија из ставке c) у напомени, из једначине за снижење температуре мржњења:  $\Delta T = C \cdot b$ , где је  $\Delta T$  снижење температуре мржњења,  $C$  криоскопска константа растварача, а  $b$  молалност раствора (број молова растворене супстанце у 1 kg растварача), и износи  $312 \text{ g mol}^{-1}$ . У ову масу „улазе” три  $\text{C}_6\text{H}_5\text{B}$  јединице за које би се очекивало да остају



Слика 3. Решење задатка 1.c.

у молекулу при загревању, а да се при томе губи вода. Реакцијом три молекула фенилборонске киселине,  $C_6H_5B(OH)_2$ , уз губитак три молекула воде, добија се циклично једињење **2** одговарајуће молекулске масе.

Abstract

## THE INTERNATIONAL CHEMISTRY OLYMPIAD. PROBLEM: BORON HYDRIDES AND OTHER BORON COMPOUNDS (IChO 2012)

**Andrej KUKURUZAR**, University of Belgrade, Institute of Chemistry, Technology and Metallurgy

The International Chemistry Olympiad, IChO, is considered to be the most prestigious chemistry competition for high school students, and also one of the most scrupulous international scientific olympiads in general. In this article, the regulations and manner of execution of the competition will be described, as well as its short history. The team representing the Republic of Serbia has participated in IChO annually since 2012. In this issue, the first problem from IChO 2012 will be presented, along with detailed solutions. This is the first ever task to be tackled by competitors from Serbia, and it deals with the chemistry of boron.

*Keywords:* International Chemistry Olympiad, problem-solving tasks, chemistry education, high schools

## ЛИТЕРАТУРА

Fung, F. M., Putala, M., Holzhauser, P., Somsook, E., Hernandez, C., & Chan, I-Y. (2018). Celebrating the Golden Jubilee of the International Chemistry Olympiad: Back to Where It All Began, *Journal of Chemical Education*, 95, 193-196. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.7b00640>

<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Diborane-3D-balls-A.png>

Архив са задацима старих Међународних хемијских олимпијада (од 1. до 50. такмичења), по волуменима: <https://icho.sk/competition-problems/>

Архив свих такмичења са детаљним подацима о организатору, списком земаља учесница, бројем задатака, бројем награда и напомена о новинама и занимљивостима на одређеном такмичењу: [https://www.icho.sk/wp-content/uploads/2024/02/IChO\\_Archive-sheets.pdf](https://www.icho.sk/wp-content/uploads/2024/02/IChO_Archive-sheets.pdf)

Важећи правилник са званичне Интернет странице такмичења: <https://www.ichosc.org/regulations>

Корисне табеле са подацима о одржаним такмичењима и постигнућима држава учесница могу се пронаћи на Википедијиној страници такмичења: [https://en.wikipedia.org/wiki/International\\_Chemistry\\_Olympiad](https://en.wikipedia.org/wiki/International_Chemistry_Olympiad)

Резултати (ранг-листе) свих одржаних такмичења по годинама одржавања и обједињени резултати делегација на свим такмичењима по државама: <https://ichosc.elte.hu/results/>

Силабус (програм градива које долази на такмичење): <https://icho.sk/syllabus>



## ИСПРАВКА

### ИСПРАВКА (CORRIGENDUM) ЧЛАНКА „НОВОГОДИШЊА ХЕМИЈСКА ЧАРОЛИЈА”

Чланак „Новогодишња хемијска чаролија” који је објављен у часопису *Хемијски ипреглед*, број 6/2025 на страницама 167-175 је заснован на раду објављеном у *Journal of Chemical Education* (<https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.5c00965>). Ненамерном грешком објављена верзија не садржи ову референцу. Овим путем исправљамо уочени недостатак и наглашавамо да је рад „Новогодишња хемијска чаролија” заснован на чланку F. Stašević, S. Đorđević, J. Đorđević Nikolić. *New*

*Year's Chemistry Magic. J. Chem. Educ.* 103, 1, 370-380, 2026., са интенцијом да буде доступан и на српском језику како би наставници средњих и основних школа могли да се упознају са оваквим начином рада.

Аутори: Слађана Ђорђевић, Кристина Пискулић, Невена Михаиловић, Јована Бугариновић, Филип Сташевић, Јелена Ђурђевић Николић



## IN MEMORIAM

### IN MEMORIAM: ПРОФ. ДР РАТКО М. ЈАНКОВ (1945-2026)



(11. новембар 1945 – 7. фебруар 2026)

Нашег драгог професора Ратка Јанкова памтићемо као човека бритког ума, јасног израза и изузетних интелектуалних способности. Својим деловањем обликовао је не само генерације студената, већ и институције које носе будућност хемијске и биохемијске струке. Дубоко смо захвални што смо имали привилегију да радимо са њим и да од њега учимо.

Професор Јанков је рођен 11. новембра 1945. године у Новом Саду. Радни век провео је на Хемијском факултету Универзитета у Београду, где је оставио дубок траг као наставник, научник и значајан носилац академског развоја Факултета. Године 1969. изабран је за асистента на Катедри за хемију Природно-математичког факултета. За доцента за предмет Хемија природних производа на Катедри за биохемију изабран је 1977. године, за ванредног професора 1989, а за редовног професора на предметима Хемија природних производа и Имунохемија 1995. године.

Докторирао је са свега двадесет шест година на теми микробиолошког хидроксиловања стероидних метаболита. Током постдокторског усавршавања боравио је у Паризу, у CNRS институту за хемију природних производа, у истраживачкој групи нобеловца Sir Derek Barton-a.

Био је истински педагог, човек који је својом правичношћу, јасноћом и достојанством оставио трајан траг у животима генерација студената Хемијског факултета. Умео је да сложене појмове приближи са лакоћом и духом, подстичући радозналост и љубав према науци и струци.

Заједно са колегама са Катедре за биохемију био је утемељивач првог студијског програма Биохемије на Хемијском факултету Универзитета у Београду 1987. године, уједно и првог таквог програма у региону. Како је поред хемије студирао и медицину, своје интересовање за биомедицинске науке уградио је у концепцију студијског програма биохемије, који

је постао препознатљив по снажној биомедицинској компоненти.

Као један од оснивача студијског програма Биохемије и дугогодишњи шеф Катедре за биохемију, професор Јанков је дао изузетан допринос развоју биохемијске науке и струке у Србији и образовању двадесет четири генерације студената биохемије. Значајан број његових студената наставио је научну и професионалну каријеру на угледним универзитетима и институтима у земљи и иностранству. Током каријере извео је више десетина дипломаца, магистраната, специјализаната и доктораната. Од четрнаест садашњих наставника и сарадника запослених на Катедри за биохемију Хемијског факултета, чак једанаест потиче директно или посредно из његове истраживачке и менторске групе.

За сараднике на Катедри за биохемију био је и учитељ и узор, подршка и пријатељ. Имали смо привилегију да сведочимо ширини његовог интелектуалног домета и реткој способности да препозна потенцијал у људима на самом почетку њихове каријере. Био је посвећен обликовању нових генерација наставника и истраживача, и то не само кроз знање које је преносио, већ и кроз начин размишљања који је подстицао.

У својој научној каријери професор Јанков је дао значајан допринос у више научноистраживачких области: микробиолошкој хемији, хемији природних производа и имунохемији, али и у области образовања у хемији. Често је говорио: „Креативан човек мења поље интересовања сваких десетак година”. И он је то у потпуности живео. Имао је изузетан осећај за истраживачка поља која ће тек постати актуелна и у свакој од области којима се бавио био је испред свог времена. Руководио је са пет научноистраживачких пројеката.

Научну каријеру започео је истраживањима микробиолошких трансформација стероида и синтезе антибиотика. У области хемије природних производа бавио се изоловањем, пречишћавањем, структурном карактеризацијом и ензимским синтезама различитих природних производа из лековитог биља. У његовој истраживачкој групи изоловане су глукозидазе из биљака и квасаца, и испитиване као биокатализатори за синтезу фенолних гликозида. Том приликом је по први пут показано да се  $\alpha$ -глукозидазом из пекарског квасца могу синтетисати гликозиди хидрохинона у високом приносу и са значајном стереоселективношћу.

Још осамдесетих година прошлог века указивао је на предности примене антитела као специфичних реагенаса у дијагностичке сврхе и био пионир истраживања у области имунохемије у Србији. Његова истраживања била су усмерена на хемијску и биохемијску карактеризацију алергена, као и на стандардизацију алергенских екстраката за дијагностичке сврхе применом моноклонских антитела, класичних биохемијских метода и хроматографије високих перформанси. Резултат тих истраживања била је и регистрација два нова алергена (Fes p 4, и Act d 2), као и регистрација нових нуклеотидних и протеинских секвенци (GenBank ABQ42566, EF417825). У оквиру истраживања алергеног потенцијала хране, његов тим је показао да пектини из воћа могу ометати дигестибилност алергена из датог извора, што је привукло пажњу научне јавности и о чему је писао и часопис *The Economist*.

Почетком XXI века професор Јанков је са сарадницима иницирао формирање лабораторије за производњу протеина применом технологије рекомбинантне ДНК, обезбедивши савремену опрему кроз четири WUS пројекта за унапређење наставе.

Током каријере публиковао је око шездесет научних радова. Аутор је две научне монографије, пет универзитетских уџбеника и више школских уџбеника хемије (основна школа и гимназија), чиме је дао значајан допринос развоју наставе хемије и биохемије на свим нивоима образовања.

Посебно место у његовом раду имала је и делатност у научним и стручним организацијама. Био је члан председништва Српског хемијског друштва, члан уређивачког одбора часописа *Journal of the Serbian Chemical Society*. Био је и члан Royal Society of Chemistry и Биохемијског друштва Србије. Обављао је дужност председника Већа научних области природних наука Универзитета у Београду, био председник организационог одбора семинара за наставнике и професоре хемије у Србији, најпре под називом *Јануарски дани просветних радника Србије*, онда *Априлски дани просветних радника Србије* (од 1988. до 2011.), као и члан Образовног форума, организације посвећене унапређивању квалитета образовања у Србији. У периоду 2007-2008. године био је помоћник

министра науке у Влади Републике Србије, у сектору за основна истраживања.

Од 1999. године био је заменик одговорног и главног уредника часописа *Хемијски преглед*, од 2001. године до 2023. одговорни и главни уредник, а од 2024. до 2025. почасни уредник. Током овог дугог периода уређивачког рада омогућио је студентима и ученицима средњих школа да пронађу у *Хемијском прегледу* занимљиве и за њих релевантне информације, и тако прошире знање хемије. Такође, обезбедио је да часопис буде добар ослонац за наставнике хемије како да осавремене сопствену наставу, и свима нама простор за размену резултата и сазнања у вези с актуелним истраживањима, представљеним на приступачан и занимљив начин.

Као врло активан и посвећен члан Српског хемијског друштва изабран је за заслужног члана 1992. године, а за почасног члана 2001. године. Добитник је три медаље Друштва: за трајан допринос развоју (1997), за изванредне резултате у настави (2005) и за трајан и изванредан допринос науци (2011). Године 2019. Српско хемијско друштво доделило је захвалницу професору Јанкову као знак признања за дугогодишњи допринос у раду Друштва.

Иако је оставио значајан научни опус, професор Јанков је увек истицао да је његов највећи успех то што иза њега остају људи, наставници и сарадници који настављају да отварају нове хоризонте и приближавају хемију и биохемију новим генерацијама. За студенте је био професор који инспирише и изазива поштовање, а за колеге поуздан ослонац и саговорник који подстиче на размишљање и храброст. Његов одлазак представља велики губитак, али вредности које је уградио у људе око себе и идеје којима је обликовао школу биохемије на Хемијском факултету наставиће да живе кроз њихов рад.

Почивајте у миру, драги професоре,  
Ваш легат остаје.

Наталија Половић,  
Марија Гавровић Јанкуловић и  
Драгица Тривић  
Универзитет у Београду – Хемијски факултет





# ВЕСТИ ИЗ СХД



СРПСКО ХЕМИЈСКО ДРУШТВО  
Карнегијева 4, 11000 Београд  
129. година



УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ -  
ХЕМИЈСКИ ФАКУЛТЕТ  
Студентски трг 12-16, 11000 Београд

## АПРИЛСКИ ДАНИ О НАСТАВИ ХЕМИЈЕ, 8. и 9. април 2026.

34. Стручно усавршавање за наставнике хемије и 6. Конференција методике наставе хемије  
Универзитет у Београду - Хемијски факултет, Студентски трг 12-16, Београд

### ПРВИ ДАН: 8. април 2026. (Сала за седнице)

Отварање скупа:

Декан Универзитета у Београду-Хемијског факултета, **проф. др Горан Роглић**

9:00 – 9:15

Председник Српског хемијског друштва, **проф. др Мелина Калагасидис Крушић**

Потпредседник Српског хемијског друштва и координатор Радне групе Српског хемијског друштва за реформу наставе хемије, **проф. др Сузана Јовановић Шанта**

9:15 – 9:55

Пленарно предавање: Колико познајемо дугу? **Проф. др Братислав Обрадовић**, Универзитет у Београду - Физички факултет

9:55 – 10:35

Пленарно предавање: Balloonization - Teaching science effectively with models and analogies, **проф. др Марина Стојановска**, Универзитет Св. Кирило и Методије, Природно-математички факултет, Институт за хемију, Скопље, Република Северна Македонија

10:35 – 11:00

Пауза

11:00 – 11:40

Пленарно предавање: Суплементи у исхрани спортиста и младих: који, када и колико? **Анте Блајић**, мастер биологије и хемије, Природословно-математички факултет Свеучилишта у Сплиту и **в. проф. др Милан Николић**, Универзитет у Београду - Хемијски факултет

11:40 – 12:20

Пленарно предавање: Спремна лабораторија – спреман наставник: смернице за безбедну и функционалну наставу хемије, **в. проф. др Саша Хорват**, Универзитет у Новом Саду, Природно-математички факултет

12:20 – 13:00

Пленарно предавање: Повратна информација у евалуацији рада ученика у настави хемије, **проф. др Јасна Адамов**, Универзитет у Новом Саду, Природно-математички факултет

13:00 – 14:00

Ручак (Библиотека)

Радионица I

Радионица II

Радионица III

(лабораторија)

(Сала за седнице)

(лабораторија)

14:00 – 16:00

Огледи у настави биохемије, **проф. др Сузана Јовановић Шанта**, Универзитет у Новом Саду, Природно-математички факултет

Наставници хемије и савремена образовна технологија, **проф. др Јасна Адамов**, Универзитет у Новом Саду, Природно-математички факултет

Од отпада до ресурса: хемија животне средине у учионици, **др Александар Ђорђевић**, научни сарадник, Институт за општу и физичку хемију

**ДРУГИ ДАН: 9. април 2026. (Сала за седнице)**

9:00 – 9:40	Пленарно предавање: Вирус SARS-CoV-2 COVID-19 вакцине: очекивања, стварност и научене лекције, <b>др Марија Вукчевић</b> , Завод за биоциде и медицинску екологију у Београду
9:40 – 10:20	Пленарно предавање: Мисконцепције у савременом образовању: Најчешћи митови о поучавању и учењу, <b>в. проф. др Тамара Рончевић</b> и <b>доц. др Маја Босанац</b> , Универзитет у Новом Саду, Природно-математички факултет
10:20 – 10:45	<b>Пауза</b>
10:45 – 11:25	Пленарно предавање: eTwinning у образовању будућих наставника хемије, <b>проф. др Драгица Тривић</b> , <b>доц. др Весна Милановић Маштраповић</b> и <b>Исидора Благојевић</b> , <b>мастер професор хемије</b> , Универзитет у Београду – Хемијски факултет
11:25 – 12:05	Пленарно предавање: Курикуларни садржаји органске хемије у различитим образовним системима, <b>доц. др Биљана Томашевић</b> , Универзитет у Београду – Хемијски факултет
12:05 – 12:30	<b>Пауза</b>
12:30 – 14:00	<p>Усмена саопштења, председава <b>в. проф. др Саша Хорват</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Експериментална и дигитална визуализација као алат за превазилажење концептуалних препрека у настави хемије, <b>Антонина Марковић</b>, Средња школа Крупањ, <b>Мирјана Томић</b>, Земунска гимназија, Београд</li> <li>Проучавање хемије у контексту српско-руске школе, <b>Алина Лукманова</b>, Српско-руска основна школа „Антон Чехов”, Нови Сад</li> <li>Ученици као истраживачи: Практични приступ одрживој хемији и еколошкој свести, <b>Александра Наумоска</b>, <b>др Пеце Шеровски</b>, <b>проф. др Марина Стојановска</b>, Универзитет Св. Тирила и Методија, Природно-математички факултет, Институт за хемију, Скопље, Република Северна Македонија</li> <li>Лудвиг Болцман – физичар који је променио разумевање хемије, <b>Небојша Радовић</b>, Универзитет у Београду - Хемијски факултет, <b>Жељка Николић</b>, Институт за општу и физичку хемију, <b>доц. др Весна Милановић Маштраповић</b>, <b>проф. др Ксенија Стојановић</b>, <b>проф. др Драгица Тривић</b>, Универзитет у Београду - Хемијски факултет</li> <li>The escape room approach in natural sciences, <b>prof. dr Katerina Rusevska</b>, <b>prof. dr Marina Stojanovska</b>, Faculty of Natural Sciences and Mathematics, Ss. Cyril and Methodius University, Скопје</li> <li>Када хемија из уџбеника крене у свет: Интердисциплинарност у основној школи, <b>Јелена Муџић</b>, ОШ „Младост”, Београд</li> <li>Занимљива хемија на делу: од учионице до језера, <b>Ивана Димитријевић Петровић</b>, наставник хемије и примењених наука; ученици природно-математичког смера, Гимназија Младеновац</li> </ol>
14:00 – 15:00	<b>Ручак (Библиотека)</b>
15:00 – 16:00	<p>Разговори:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Новине у такмичењима из хемије за ученике основних и средњих школа</li> <li>- Актуелна питања о образовању у области хемије</li> </ul> <p><b>Модератори:</b></p> <p><b>доц. др Весна Милановић Маштраповић</b>, Универзитет у Београду - Хемијски факултет</p> <p><b>доц. др Милош Пешић</b>, Универзитет у Београду - Хемијски факултет</p> <p><b>проф. др Душан Сладић</b>, Универзитет у Београду - Хемијски факултет</p> <p><b>проф. др Сузана Јовановић Шанта</b>, Универзитет у Новом Саду, Природно-математички факултет</p>
16:00 – 16:30	<b>Евалуација и затварање скупа</b>

