

rad nagradu za životno djelo, godišnju državnu nagradu, nagradu HAZU-a ili Nagradu Grada Zagreba. Prema Hrvatskoj znanstvenoj bibliografiji, niz kristalografa nalazi se u samom vrhu znanstvene produkcije u prirodoslovlju. HKZ se stalno brine za znanstveni pomladak, tako da je jedna od udruga s najmlađim članstvom u Hrvatskoj.

HKZ djeluje u skladu s Pravilima koja je usvojila Skupština HKZ-a, te potvrdilo Predsjedništvo HAZU-a. Prema tim Pravilima, najviše tijelo HKZ-a je Skupština koju čine svi članovi HKZ-a. Radno tijelo Skupštine je Odbor HKZ-a. Pravila HKZ-a usklađena su s Pravilnikom o radu znanstvenih vijeća HAZU-a.

Članstvo HKZ-a u IUCr-u i u ECA-i omogućuje hrvatskim kristalografima povoljniju kotizaciju za sudjelovanje na znanstvenim skupovima, dobivanje glasnika *IUCr Newsletter*, sudjelovanje u međunarodnim odborima, povjerenstvima, uredništvima časopisa, lakše natjecanje za međunarodne stipendije, međunarodnu suradnju i sl. Opis djelovanja JCKr-a i HKZ-a prikazan je u radovima: *Stanko Popović*, Hrvatska kristalografska zajednica, *Kem. Ind.* 59 (2010) 516–520; *Stanko Popović*, Hrvatska kristalografska zajednica: – 1966 – 1991 – 2012, Zbornik radova *Kristalografija u Hrvatskoj*, HAZU 2013., 17–28.

ECA je u travnju 2011. predložila da HKZ priredi 29th *European Crystallographic Meeting, ECM29*, 2015. u Hrvatskoj. Savjet ECA-e, na sjednici 27. kolovoza 2011. u Madridu, prihvatio je velikom većinom glasova prijedlog HKZ-a i odlučio da domaćin *ECM29* bude Hrvatska. Sastanak s oko tisuću sudionika održat će se u Rovinju od 23. do 28. kolovoza 2015. Glede organizacije *ECM29*, Odbor HKZ-a za pripremu *ECM29*, koji je prerastao u Hrvatsku udrugu kristalografa (HUK), u stalnom je dogovoru sa Savjetom i Izvršnim odborom ECA-e.

Članovi HKZ-a i HUK-a priredili su opsežni program obilježavanja Međunarodne godine kristalografije, *IYCr2014*, a glavne sastavnice tog programa jesu:

– *Hot Topics in Contemporary Crystallography*, međunarodna radionica za mlade istraživače u Šibeniku, na kojoj će predavači biti ugledni znanstvenici iz Europe; organizator HUK;

– 23rd *Slovenian-Croatian Crystallographic Meeting*, 18. – 22. lipnja 2014., Logarska dolina, Slovenija; organizatori Slovensko kristalografsko društvo i HKZ;

– *Suvremena kristalografija u Hrvatskoj*, znanstveni skup u HAZU-u, 30. rujna 2014., te tiskanje zbornika skupa; organizatori HKZ i HUK;

– *Englesko-hrvatski rječnik kristalografije, fizike čvrstoga stanja i značnosti o materijalima*, autori *Stanko Popović*, *Antun Tonejc* i *Milica Mihajević*; rječnik sadrži 1670 naziva s kratkim opisima na hrvatskom jeziku; izdanje Instituta za hrvatski jezik i jezikoslovlje, 2014.;

– predavanja (članovi HKZ-a i HUK-a) u strukovnim udrugama, znanstvenim institucijama i školama, natjecanje učenika u rastu kristala (voditelj prof. dr. sc. *Ernest Meštrović*) nastupi na radiju i televiziji, tekstovi u novinama.

Detaljni plan obilježavanja *IYCr2014* odobrio je Razred za matematičke, fizičke i kemijske znanosti HAZU-a.

Razvoj kristalografije prikazan je u izvrsnim radovima članova HKZ-a: *Biserka Kojić Prodić* i *Krešimir Molčanov*, Stogodišnjica rendgenske kristalografije, *Kem. Ind.* 62 (2013) 247–260; *Krešimir Molčanov* and *Vladimir Stilinović*, Chemical Crystallography before X-ray Diffraction, a review, *Angew. Chem. Int. Edit.* 53 (2014) 638–652.

U nastavku se navode bitni dijelovi prigodnoga teksta *Crystallography matters!*, koji su priredili UNESCO i IUCr u povodu *IYCr2014* (*Kristalografija je važna!*, prijevod: *Stanko Popović*, recenzenti prijevoda: *Darko Tibljaš* i *Krešimir Molčanov*).

Organizacija Ujedinjenih naroda za obrazovanje, znanost i kulturu, UNESCO i Međunarodna unija za kristalografiju, IUCr, partneri u Međunarodnoj godini kristalografije 2014.:

Kristalografija je važna!*

Što je kristalografija?

Kristalne tvari nalaze se svuda u prirodi. Posebno su česte i brojne u raznolikim stijenama kao minerali (drago kamenje, grafit i dr.), ali se zapravo nalaze svuda oko nas, npr. snježne pahuljice, led, zrnca soli. Kristali su svojom ljepotom, simetričnim oblikom i raznovrsnim bojama zanimali učenjake od antičkih vremena. Ti davni kristalografi primjenjivali su zakonitosti geometrije u proučavanju oblika kristala u prirodi.

Početkom 20. stoljeća došlo se do spoznaje da se struktura tvari može "vidjeti" s pomoću rendgenskih zraka (X-zraka) na jednostavan i izravan način. To je označilo zoru moderne kristalografije. Rendgenske zrake otkrivene su 1895.; njihova narav jednaka je naravi svjetlosti, ali ih čovječje oko ne vidi. Kada rendgenske zrake

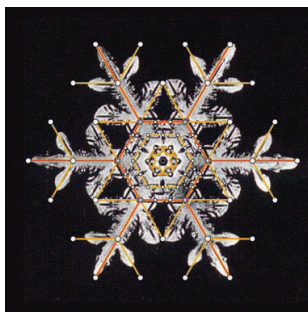
prolaze kroz kristalnu tvar, atomi kristala ih raspršuju. Kristalografi su otkrili da se rendgenske zrake raspršene na atomima kristala, zbog prostorne periodičnosti atoma i unutarnje simetrije kristala, interferentno pojačavaju u nizu strogo određenih prostornih smjerova te nastaje difrakcijska slika kristala. Mjerenjem prostornih smjerova i intenziteta difrakcijskih maksimuma znanstvenici mogu odrediti prostornu sliku rasporeda atoma, tj. kristalnu strukturu. Kristali su idealna tijela za proučavanje strukture tvari na atomskoj i molekularnoj razini, zahvaljujući tome da su kristali čvrsta trodimenzijska tijela s periodičnim rasporedom atoma u skladu sa zakonima simetrije.

Zahvaljujući rendgenskoj kristalografiji, znanstvenici mogu proučavati kemijske veze između susjednih atoma. Grafit i dijamant, npr., međusobno uopće nisu slični. Grafit je neproziran i mekan (a to se njegovo svojstvo primjenjuje u olovkama), dok je dijamant proziran i tvrd. Ipak, grafit i dijamant bliski su srodnici, jer oba gradi isti kemijski element, ugljik. Sjaj dijamanta je posljedica razlaganja svjetlosti u boje, zbog njegove strukture i naravi kemijske veze između atoma. Do tih spoznaja dolazimo zahvaljujući rendgenskoj kristalografiji.

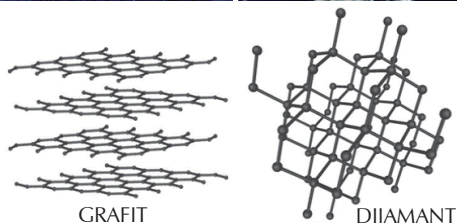
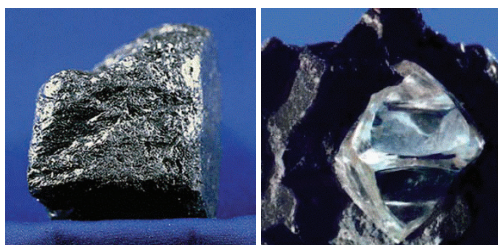
* Izvorni naslov: *Crystallography matters!*

Izdanje: Organizacija Ujedinjenih naroda za obrazovanje, znanost i kulturu, 7, place de Fontenoy, 75 352 Pariz 07 SP, Francuska. Prijevod: *Stanko Popović*, recenzenti prijevoda: *Darko Tibljaš* i *Vladimir Stilinović*.

U početku, primjenom rendgenske kristalografije, proučavale su se samo kristalne strukture jednostavnih kemijskih spojeva i minerala, soli i leda.



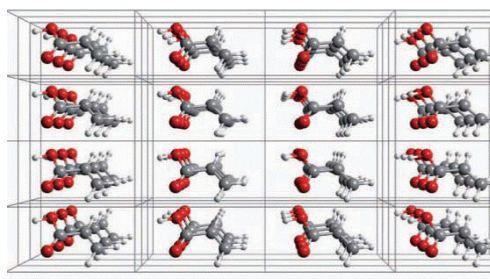
Slika 1 – Snježne pahuljice su kristali. Njihova heksagonska simetrija posljedica je načina na koji se molekule vode međusobno spajaju (Wikipedia).



Slika 2 – Grumen grafita i neobrađeni dijamant. Te stvari uopće nisu slične, ali obje su čisti ugljik. Sjaj dijamanta potječe od razlaganja svjetlosti u boje zbog njegove strukture i naravi kemijske veze između atoma (Wikipedia). Kristalna struktura grafita potpuno je različita od strukture dijamanta (IUCr).



Slika 3 – Jednodimenzijaska periodičnost



Slika 4 – Trodimenzijaska slika kristalne strukture. Atomi, skupine atoma, ioni, molekule, imaju periodični prostorni raspored (IUCr).

Tvar u tekućem agregacijskom stanju ne daje difrakcijsku sliku zbog gibanja molekula. Kristalografi su otkrili da mogu proučavati strukturu bioloških tvari, proteina, DNA, tako da pripreve njihove kristale. Time se kristalografija proširila na biologiju i medicinu. Istra-

živanje bioloških tvari postalo je moguće kada se znatno povećala moć računala. Postalo je moguće odrediti model strukture kristala vrlo složenih tvari.

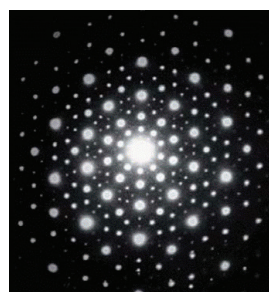
Nakon sto godina razvoja, rendgenska kristalografija je postala vodeća znanost koja proučava kristalnu strukturu i svojstva materijala. Kristalografija je u središtu razvoja niza znanstvenih polja i područja. Tijekom burnoga razvoja kristalografije uvodile su se i usvajale nove metode istraživanja i novi izvori snopova zračenja za ostvarenje difrakcijske slike kristala: elektronsko, neutronske i sinkrotronske zračenje. Taj stalni razvoj omogućuje kristalografima istraživanje i onih tvari koje ne daju pravilne kristale, nego npr. kvazikristale (opis u nastavku) i tekuće kristale.

Razvoj moćnih strojeva koji stvaraju vrlo intenzivne snopove rendgenskih zraka, npr. sinkrotroni, doveo je do vrlo nagloga napretka kristalografije. S pomoću sinkrotronskoga zračenja kristalografi mogu pristupiti vrlo složenim istraživanjima u biologiji, kemiji, fizici, znanosti o materijalima arheologiji, geologiji. Npr. sinkrotronsko zračenje omogućuje arheolozima proučavanje sastava i starosti rukotvorina starih desetke tisuća godina, a geolozima proučavanje sastava i starosti meteorita i stijena s Mjeseca.

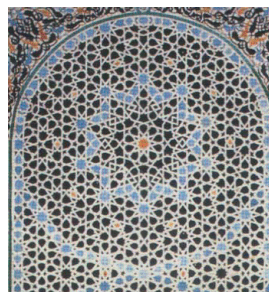
Kvazikristali: protiv prirodnih zakona

Dan Shechtman je 1984. otkrio kristal u kojemu su skupine atoma tako međusobno raspoređene da ne postoji pravilna periodičnost dugoga doseg. To je protivno općeprihvaćenju predodžbi o simetriji u kristalu da postoje samo simetrijske osi 2., 3., 4. i 6. reda, koje omogućuju potpunu prostornu periodičnost. Dan Shechtman je otkrio s pomoću elektronske difrakcije simetrijsku os 5. reda u slitini aluminija i mangana. Takve tvari, koje ne odgovaraju simetrijskim zakonitostima, nazvane su kvazikristali. Dan Shechtman je za svoje pionirsko otkriće dobio Nobelovu nagradu za kemiju 2011.

Kao posljedica načina na koji se atomi u njima slažu, kvazikristali imaju neobična svojstva. Oni su tvrdi i krhki, ponašaju se kao da su stakla, otporni su na koroziju i adheziju, te nalaze raznoliku primjenu u tehnologiji, npr. tave s neprianjajućim dnom.



Slika 5 – Elektronska difrakcijska slika; *Physical Review Letters* 53 (1984) 1951–1953



Slika 6 – Mozaik u Fezu, Maroko (izvor: Marokanska kristalografska zajednica)

Priložena je elektronska difrakcijska slika kvazikristala koju je dobio Dan Shechtman 1984. te slika mozaika u Attarine Madrasa,

Fez, Maroko, iz 14. stoljeća, s uzorkom sličnim rasporedu atoma u kvazikristalu. Vremenski razmak između tih slika je sedam stoljeća. Slike su slične i obje prikazuju simetrijsku os 5. reda.

Kratka povijest

Tijekom cijele povijesti ljude je fascinirala ljepota i tajnovitost kristala. Prije dvije tisuće godina rimski prirodoslovac Plinije Stariji divio se pravilnim šesterostranim prizmama kristala kvarca. U to vrijeme u drevnoj Indiji i Kini bio je poznat postupak kristalizacije šećera i soli. Kristali šećera dobivali su se iz soka šećerne trske, a kristali soli postupkom isparavanja slanice. U ranom srednjem vijeku u Egiptu i Španjolskoj ovladali su tehnikom rezanja kristala minerala – dragulja – za ukrašavanje predmeta. Njemački matematičar i astronom Johannes Kepler prvi je uočio 1611. simetrični oblik snježnih pahuljica, te na osnovi oblika predložio njihovu strukturu. Francuski mineralog René Just Haüy predložio je 1774. model po kojem kristal nastaje slaganjem malih kristalnih jedinki.



Slika 7 – Kutija optočena draguljima, Egipat, oko 1200. (Musee de Cluny, France)

Wilhelm Conrad Röntgen otkrio je rendgenske zrake 1895. te za to otkriće dobio prvu Nobelovu nagradu za fiziku 1901. Međutim postoje vjerodostojni izvori da je Nikola Tesla eksperimentirao s rendgenskim zrakama prije Röntgena. Max von Laue sa suradnicima pokazao je 1912. da se rendgenske zrake difraktiraju u kristalu; prostorni smjerovi i intenziteti difrakcijskih maksimuma strogo ovise o kristalnoj strukturi. Za svoje otkriće Max von Laue je dobio Nobelovu nagradu za fiziku 1914.

William Henry Bragg i William Lawrence Bragg, otac i sin, odredili su 1913., na osnovi difrakcijskih slika, prve kristalne strukture tj. prostorni položaj atoma u kristalu. Predložili su jednostavnu interpretaciju prostornih smjerova difrakcijskih maksimuma, poznatu kao Braggov zakon. Ta otkrića označila su početak moderne kristalografije ali i prekretnicu u razvoju ostalih prirodnih znanosti, jer o kristalnoj strukturi ovise kemijska, fizička i biološka svojstva tvari. Otac i sin Bragg dobitnici su Nobelove nagrade za fiziku 1915.

Između 1920. i 1970. rendgenska kristalografija bitno je pridonijela otkrivanju tajni života, što je imalo velik utjecaj na razvoj medicine. Dorothy Hodgkin odredila je strukturu niza bioloških molekula, uključujući kolesterol (1937.), penicilin (1946.), vitamin B₁₂ (1956.) i inzulin (1969.). Za svoja otkrića dobila je Nobelovu nagradu za kemiju 1964. Sir John Kendrew i Max Perutz prvi su uspjeli odrediti kristalnu strukturu proteina te su dobili Nobelovu nagradu za kemiju 1962. Nakon tog važnog postignuća određena je struktura stotina tisuća proteina, nukleinskih kiselina i brojnih biološki važnih molekula primjenom rendgenske kristalografije.

Jedno od najvažnijih znanstvenih postignuća u 20. stoljeću bilo je otkriće strukture molekule DNA, za što su zaslužni James Watson i Francis Crick. Treba spomenuti da se njihovo otkriće osniva na difrakcijskim eksperimentima što ih je izvela Rosalind Franklin, koja je nažalost prerano preminula 1958. Otkriće dvostruke zavojnice

DNA utro je put makromolekulske i proteinske kristalografije kao bitnoj sastavnici današnje biološke i medicinske znanosti. Watson i Crick, kao i Maurice Wilkins, suradnik Rosalind Franklin, dobitnici su Nobelove nagrade za medicinu 1962.

U novije vrijeme, Nobelovu nagradu dobili su: Venkatraman Ramakrishnan, Thomas Steitz i Ada Yonath (2009.); Andre Geim i Konstantin Novoselov (2010.) za otkriće grafena, prvog u nizu dvodimenzionalnih kristalnih tvari jedinstvenih elektroničkih i mehaničkih svojstava; Dan Shechtman (2011.) za otkriće kvazikristala; Robert Lefkowitz i Brian Kobilka (2012.) za otkriće djelovanja staničnih receptora koji upravljaju gotovo svim životnim funkcijama čovjeka; Martin Karplus, Michael Levitt i Arieh Warshel (2013.) za nove postupke u istraživanju velikih molekula – proteina.

Tijekom proteklih sto godina 48 znanstvenika dobilo je Nobelovu nagradu za svoja otkrića koja su izravno ili neizravno povezana s kristalografijom. U ovom tekstu nema dovoljno prostora da ih se nabroji, ali zahvaljujući njihovim postignućima kristalografija se usko povezala s nizom znanosti. I danas je kristalografija plodno i obećavajuće područje za nova temeljna otkrića.

Zašto države moraju investirati u kristalografiju

Kristalografija je bitna za razvoj mnoštva novih materijala, koji su u svakodnevnoj uporabi, npr. memorijske kartice u računalima, zasloni televizora, dijelovi automobila i zrakoplova. Kristalografi proučavaju strukturu materijala te mogu primijeniti svoje znanje u modificiranju strukture a time i svojstava materijala. Kristalografi mogu u potpunosti definirati svojstva i ponašanje materijala, a kompanije mogu primjenjivati ta saznanja i biti sigurne da imaju potpuno novi materijal kada podnose zahtjev za patentnu zaštitu.

Kristalografija ima mnogo primjena te prožima naš svakodnevni život i predstavlja kralježnicu industrije, koja se sve više oslanja na nova znanja u razvoju novih proizvoda: proizvodnja hrane, elektronika, aeronautika, automobilska, elektromehanička, farmaceutska industrija, rudarstvo, kozmetika. Evo nekoliko primjera.

Mineralogija je najstarija grana kristalografije. Rendgenska kristalografija je glavna metoda određivanja kristalne strukture minerala i metala od 1920-ih. Zapravo, sve što znamo o stijenama, geološkim razdobljima i povijesti Zemlje osniva se na kristalografiji. Čak i naše znanje o meteoritima potječe iz kristalografije. Sve to znanje je nezaobilazno u rudarstvu i tehnologiji, kada se s pomoću bušotina u Zemlji traži voda, nafta, plin i geotermički izvori.

Dizajniranje lijekova se strogo temelji na kristalografiji. Farmaceutska industrija, tražeći novi lijek, koji suzbija štetne bakterije ili viruse, prvo treba pripremiti molekulu koja može blokirati aktivne proteine (enzime) što napadaju čovječju stanicu. Ako znaju oblik proteina, znanstvenici mogu dizajnirati spoj koji se može pričvrstiti na aktivno mjesto proteina i tako onemogućiti njegovo štetno djelovanje.

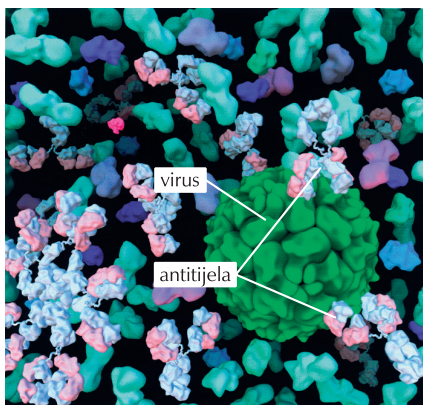
Kristalografija je bitna u razlikovanju jednoga lijeka od drugog u čvrstom stanju. Lijekovi mogu biti topljivi u različitim uvjetima, što je bitno za djelotvornost lijeka. To je važno za farmaceutske industrije generičkih lijekova, koji se proizvode uz obveznu licenciju, pa mogu biti dostupni i u državama u razvoju.

Tehnologija bitno ovisi o kristalografiji. Evo nekoliko primjera.

Novi materijali upotrebljavaju se u razvoju suvremene odjeće. Takve tkanine propuštaju zrak ili zadržavaju toplinu, već prema tome je li osoba vruće ili hladno. Odjeća uz tijelo može imati senzore za mjerenje temperature, brzinu disanja i otkucaja srca. Vanjska odjeća može se dizajnirati tako da osobu upozori na otrovni plin, štetne bakterije ili preveliku vrućinu. Kristalografi mogu pomoći u dizajniranju materijala takvih svojstava.

Kristalografi proučavaju vrlo raznolike materijale, npr. tekuće kristale. Tekući kristali se nalaze u zaslonima televizora, računala, mobilna, digitalnih satova. Tekući kristali ne isijavaju svjetlost, nego im

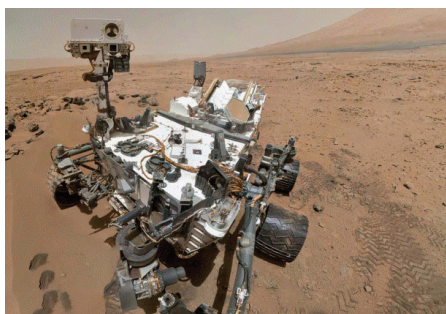
se mijenja moć refleksije i polarizacije svjetlosti iz vanjskoga izvora, te tako stvaraju sliku uz malu potrošnju energije.



Slika 8 – Protutijela vezana na virus. Kristalografija pomaže u kontroli kvalitete proizvodnje lijekova, uključujući i protivirusne lijekove, na razini masovne proizvodnje, s ciljem da se ostvare stroge zdravstvene i sigurnosne preporuke (IUCr).

Kristalografija pomaže u određivanju idealnoga omjera aluminija i magnezija u slitinama koje se upotrebljavaju u proizvodnji zrakoplova. Ako je previše aluminija, zrakoplov je težak, a ako je previše magnezija, zrakoplov može biti zapaljiviji.

Kakaov maslac, najvažniji sastojak čokolade, kristalizira u šest različitih oblika, ali se samo jedan oblik topi u ustima na takav način da ima ugodan okus. Taj oblik nije stabilan, pa može prijeći u stabilniji oblik, koji se sporo topi u ustima i izaziva takav osjet kao da je u ustima sitni pijesak. Srećom, taj prijelaz je spor, ali ako je čokolada starija ili se drži pri višoj temperaturi, presvuče se bijelim filmom koji je posljedica rekristalizacije. Proizvođači čokolade moraju primijeniti složeni postupak kristalizacije s ciljem da postignu najpoželjniji oblik koji zadovoljava potrošača.



Slika 9 – Curiosity, marsovski rover: primijenjena je rendgenska kristalografija u analizi uzoraka tla na planetu Mars u listopadu 2012. NASA je u rover ugradila difraktometar. Rezultat analize pokazao je da su uzorci Marsova tla slični tlima nastalima trošenjem bazaltnih stijena havajskih vulkana (NASA).

Tko priređuje Međunarodnu godinu kristalografije?

Međunarodnu godinu kristalografije priređuju zajedno Međunarodna unija za kristalografiju, IUCr, i Organizacija Ujedinjenih naroda za obrazovanje, znanost i kulturu, UNESCO. Ta godina upotpunjuje se s još dvije međunarodne godine koje priređuje UNESCO pod okriljem Ujedinjenih naroda. Prethodila je Međunarodna godina kemije (2011.), a slijedi Međunarodna godina svjetlosti (2015.). UNESCO ostvaruje svoju ulogu tijekom tih godina kroz svoj Međunarodni osnovni znanstveni program (International Basic Sciences Programme).

Zašto sada?

Međunarodna godina kristalografije obilježava stotu godišnjicu rođenja rendgenske kristalografije, odnosno ostvarenja koja su postigli Max von Laue te William Henry Bragg i William Lawrence Bragg. Godine 2014. obilježava se i 50. godišnjicu Nobelove nagrade, koju je dobila Dorothy Hodgkin za otkriće strukture vitamina B₁₂ i penicilina.

Iako kristalografija danas utječe na niz znanstvenih disciplina, još je relativno nepoznata široj javnosti. Cilj je Međunarodne godine upoznati javnost sa značenjem kristalografije provođenjem niza edukativnih aktivnosti.

Kristalografi djeluju u 80 država, a kristalografske udruge iz 53 države učlanjene su u Međunarodnu uniju za kristalografiju. Unija osigurava svojim članicama jednak pristup informacijama i podacima te promiče međunarodnu suradnju. Svesrdno pomaže državama u razvoju da ostvare istraživanja u kristalografiji kao jednom od bitnih područja za njihov znanstveni i industrijski razvoj. Takav pristup postaje sve važniji jer će upravo istraživanja u kristalografiji biti važna u ostvarenju održiva razvoja u sljedećim desetljećima.

Izazovi budućnosti

Vlade u svijetu prihvatile su 2000. godine Milenijske razvojne ciljeve Ujedinjenih naroda, koji sadrže niz aktivnosti s pomoću koji bi se, do 2015., osim ostalog, smanjilo siromaštvo i glad, osigurala pitka voda, poboljšali higijenski uvjeti, smanjila smrtnost djece, poboljšala briga za materinstvo.

Vlade pripremaju niz novih aktivnosti koje će odrediti razvoj nakon 2015. U nastavku je nekoliko primjera koji pokazuju da kristalografija može pomoći u ostvarenju tih izazova.

Hrana

Predviđa se da će se stanovništvo svijeta povećati sa 7 milijardi u 2011. na 9,1 milijardi do 2050. Porast stanovništva, zajedno s promjenom prehrambenih navika, usmjerenih sve više na mesne i mliječne proizvode, zahtijeva 70 % više hrane do 2050. To postavlja velik izazov pred poljoprivredu.

Suvremena istraživanja u kristalografiji mogu biti od velike važnosti u poljoprivredi i proizvodnji hrane. Npr. kristalografija omogućuje analizu tla. Jedan od ozbiljnih uzroka degradacije tla je salinizacija, uzrokovana prirodnim pojavama ili čovječjim utjecajem. Istraživanje strukture biljnih proteina može pridonijeti razvoju onih žitarica koje su otpornije na slano tlo. Kristalografija može pridonijeti suzbijanju bolesti biljaka i životinja; jedan od primjera je istraživanje gljivičnih bolesti na plodovima, npr. rajčici, kao i razvoj vakcina za suzbijanje bolesti, poput svinjske gripe. Proučavanjem bakterija, kristalografija može pridonijeti povećanju proizvodnje mliječnih i mesnih proizvoda, povrća i druge biljne hrane.

Voda

Ostvarenjem Milenijskih razvojnih ciljeva Ujedinjenih naroda prepolovio bi se do 2015. broj stanovnika svijeta koji nemaju pristup pitkoj vodi. Međutim, prema Izvješću o pitkoj vodi Ujedinjenih naroda (2012.), podsaharska Afrika i arapsko područje zaostaju u tom projektu. Zaostaje se i u poboljšanju higijenskih uvjeta u državama u razvoju. Štoviše, nakon prihvaćanja Milenijskih razvojnih ciljeva, broj ljudi koji nemaju pitku vodu i odgovarajuće higijenske uvjete u velikim gradovima porastao je za 20 %. Predviđa se da će se gradsko stanovništvo povećati s 3,4 milijarde u 2009. na 6,3 milijarde do 2050. Kristalografija može pomoći u poboljšanju kvalitete vode u siromašnim zajednicama, npr. pronalaženjem materijala koji pročišćavaju vodu: nanospužve (filtri u slavinama) i nanotablete. Isto tako, kristalografija može pomoći u razvoju ekoloških rješenja za unapređenje higijenskih uvjeta.

Energija

Energija nije bila sadržana u Milenijskim razvojnim ciljevima; stoga mora biti ključni cilj u svim prioritetnim razvojnim planovima nakon 2015. Glavni tajnik UN predložio je u rujnu 2011. preporuku *Održiva energija za sve*. To se podudara s porastom zabrinutosti zbog negativnog utjecaja uporabe fosilnih goriva na klimu Zemlje, te s nužnom potrebom ubrzanoga prijelaza na uporabu obnovljivih izvora energije. Prema Međunarodnoj agenciji za energiju, emisija ugljikovoga dioksida (CO₂) povećana je za 5 %, na 30,6 gigatona (Gt) između 2008. i 2010., unatoč međunarodnoj financijskoj krizi. Ako želimo da globalno zatopljenje u ovom stoljeću bude do 2 °C, do 2020. ukupna emisija CO₂ ne smije biti veća od 32 Gt.

Očekuje se da će potrošnja energije porasti za 50 % između 2007. i 2035. U 2009. oko 1,4 milijarde ljudi nije imalo pristup električnoj energiji. Udjel energije iz obnovljivih izvora trebao bi do 2035. porasti 60 %.

Kristalografija može razviti nove materijale, npr. toplinske izolatore, koji bi smanjili potrošnju energije u kućanstvu (pa tako i cijenu grijanja) i snizili emisiju ugljikovoga dioksida. Mogu se razviti i novi materijali kojima bi se snizila cijena solarnih ploča, vjetroelektrana i baterija, tako da se poveća njihova učinkovitost i smanje gubitci, smanji količina otpada te omogući prijelaz na zelenu tehnologiju.

Zelena kemijska industrija

Prijelaz na tzv. zelenu kemijsku industriju bitan je uvjet za zelenu globalno gospodarstvo. Kemijska industrija proizvodi 70 000 proizvoda: plastičnih predmeta, umjetnih gnojiva, deterdženata, lijekova. Ona izrazito ovisi o nafti; troši 10 % globalno proizvedene nafte i stvara 80 do 90 % proizvoda temeljenih na nafti. Tako troši i prirodna bogatstva i energiju.

Mnoga su otapala i katalizatori otrovni, a odlaganje kemijskoga otpada složeno je i skupo. Otrovnost i karcinogenost tvari ispuštaju se u atmosferu, tlo i vodu. Prema podacima Programa o očuvanju okoliša UN-a, Zapadna Europa proizvela je 2000. godine 42 milijuna tona otrovnog otpada; od toga je pet milijuna tona izvezeno iz Europe tijekom sljedeće godine.

Kristalografija može pridonijeti pronalazanju ekoloških građevnih materijala u razvijenim državama i državama u razvoju. Također može smanjiti zagađenje zamjenom kemijskih otapala zelenim anorganskim otapalima koja se osnivaju na ionskim tekućinama i CO₂. Može se smanjiti količina otpada i prateći troškovi u rudarstvu primjenom postupaka kojima se izdvajaju samo traženi materijali.

Zdravstvo

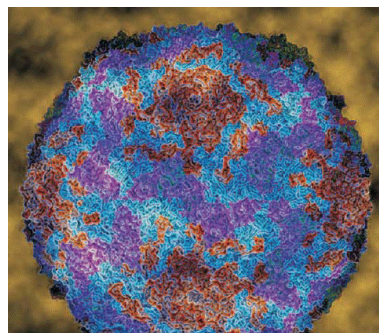
Izazovi u zdravstvu ostaju vrlo veliki i u narednim desetljećima. Još ne postoji cjepivo ili način liječenja za neke pandemijske bolesti, kao što su HIV/AIDS, denga groznica i malarija, koje su vrlo raširene u državama u razvoju. Mnogi zdravstveni problemi u državama u razvoju uzrokovani su nedostatkom pitke vode i odgovarajućih higijenskih uvjeta, što uzrokuje kronične bolesti probavnoga sustava, poput kolere i shistosomijaze, posebno u Africi. Uz to, države u razvoju izložene su i kroničnim bolestima kao i razvijene države, kardiovaskularnim bolestima, raku, dijabetesu. Ostali zdravstveni problemi, koji se jednako tiču i razvijenih i siromašnih država, osim ostalih uključuju i pojavu novih sojeva virusa i bakterija sve otpornijih na sadašnje lijekove.

Kristalografija može istražiti zašto su bakterije sve otpornije na antibiotike. Venkatraman Ramakrishnan, Thomas Steitz i Ada Yonath odredili su strukturu ribosoma i način na koji antibiotici utječu na ribosom. Ribosomi su odgovorni za stvaranje proteina u živim stanicama, kako ljudskim, tako i biljnim te bakterijskim. Ako je djelovanje ribosoma prekinuto, stanica ugiba. Ribosomi su glavne mete antibiotika. Antibiotici mogu napasti aktivnost ribosoma u štetnim bakterijama, a da pri tome oni u ljudskim stanicama ostanu neoštećeni. Prof. Ada Yonath dobila je 2008. Nagradu L'Oreal UNESCO-a

za znanstvenicu godine, a godinu zatim sve troje znanstvenika došlo je Nobelovu nagradu.

U tropskim područjima postoje neistraženi dijelovi izrazite bioraznolikosti. Kristalografija može pomoći u istraživanju endogenih biljnih vrsta, koje bi mogle biti izvor novih lijekova i kozmetičkih preparata.

Prema Međunarodnoj federaciji za dijabetes, u posljednjih dvadeset godina, broj ljudi u svijetu s dijabetesom porastao je s 30 milijuna na 230 milijuna. Stanje je najteže u državama u razvoju i onima s brzo rastućim gospodarstvom, npr. Kina i Indija. U Karibima i na Bliskom Istoku od dijabetesa boluje oko 20 % odraslih. Kristalografi su odredili kristalnu strukturu prirodnog inzulina, što ga stvara gušterača. Bez tog otkrića ne bi bilo moguće proizvesti biosintetički inzulin.



Slika 10 – Virus. Za pripremu lijekova potrebno je poznavati strukturu relevantnih proteina (IUCr).

Tko će imati koristi od Međunarodne godine kristalografije?

Godina kristalografije je usmjerena prema vladama

Potrebno je utjecati na vlade kako bi svoju politiku definirale s ciljem da:

- novčano pomognu osnivanje i djelovanje barem jednoga nacionalnog kristalografskog centra
- pomognu suradnju s kristalografskim centrima u inozemstvu, kao i mogućnost rada sa sinkrotronskim i drugim velikim uređajima
- potiču osnovna istraživanja u kristalografiji
- potiču primjenu kristalografije u razvojnim istraživanjima
- uvrste kristalografiju u nastavne programe škola i sveučilišta te unaprijede postojeće programe.

Potrebno je priređivati međunarodne znanstvene skupove, koji bi pomogli u uočavanju poteškoća u ostvarenju vrhunskih istraživanja u pojedinim državama. Na takvim skupovima sudjelovali bi istraživači koje inače možda razdvajaju jezik, etnička pripadnost, religija, politički razlozi. To bi pomoglo ujednačavanju perspektiva u budućnosti glede razvoja znanosti, tehnologije i mogućnosti zapošljavanja.

Godina kristalografije je usmjerena prema školama i sveučilištima

Poželjno je uvesti nastavu o kristalografiji gdje je nema, i to na ove načine:

- s pomoću putujućih laboratorija, koje priprema IUCr u suradnji s proizvođačima opreme, prikazati rad difraktometra, npr. u državama u razvoju (Azija, Afrika, Latinska Amerika)
- poticati sveučilišta na uvođenje nastave o kristalografiji na način kako što se to započelo u Africi;

– demonstracijskim pokusima i natjecanjima u osnovnim i srednjim školama

– izradom problemskih zadataka za učenike koji se osnivaju na znanju učenika o kristalografiji, fizici i kemiji

– s pomoću putujućih izložbi po školama i sveučilištima s temama iz kristalografije, prikazom simetričnih geometrijskih motiva u umjetnosti, prikazom procesa kristalizacije i rada stolnog difraktometra.

Godina kristalografije je usmjerena prema svekolikoj javnosti

Treba povećati saznanje javnosti o tome da kristalografija bitno pridonosi razvoju tehnologije u suvremenom društvu kao i o ulozi kristalografije u očuvanju kulturne i umjetničke baštine, i to na sljedeće načine:

– održavanjem javnih skupova i izlaganja na kojima će kristalografi, članovi IUCr-a, prikazati ključnu važnost kristalne strukture proteina u dizajniranju lijekova, povezanost kristalografije i simetrije u umjetnosti, kristalografsku analizu umjetničkih djela, kao i antičkih/drevnih materijala

– poticanjem slikovnih izložbi koje će prikazati važnost i čudesnu ulogu kristalografije

– objavljivanjem tekstova/radova u javnim glasilima, na televiziji i ostalim medijima o važnosti kristalografije kao znanosti i doprinosu kristalografije globalnom gospodarstvu.

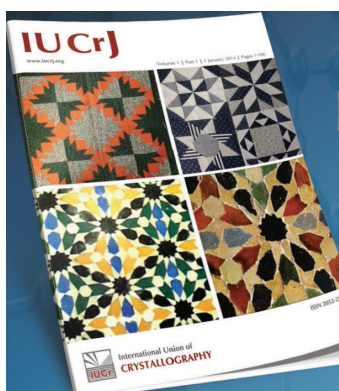
Godina kristalografije je usmjerena prema znanstvenoj zajednici

Poticanje međunarodne suradnje znanstvenika širom svijeta, s naglaskom na suradnji Sjever – Jug, ostvaruje se na sljedeće načine:

– pokretanjem kristalografskoga časopisa sa slobodnim pristupom, IUCrJ

– zajedničkim istraživačkim projektima koji uključuju rad sa sinkrotronom, u razvijenim državama i u državama u razvoju, npr. sinkrotron u Brazilu, te SESAME na Bliskom Istoku osnovan na poticaj UNESCO-a

– raspravom i odabirom najboljega načina za pohranu difrakcijskih podataka prikupljenih radom na velikim uređajima i u kristalografskim laboratorijima.



Slika 11 – Naslovnica prvoga broja časopisa IUCrJ sa slobodnim pristupom: www.iucrj.org

Simetrija u umjetnosti i arhitekturi

Simetrija je sveprisutna u prirodi: vidljiva je na licu i tijelu čovjeka, cvijetu, ribi, leptiru, morskoj školjki, neživoj prirodi. Simetrija je oduvijek fascinirala sve civilizacije, koje su je unosile u umjetnost i arhitekturu tisućama godina.

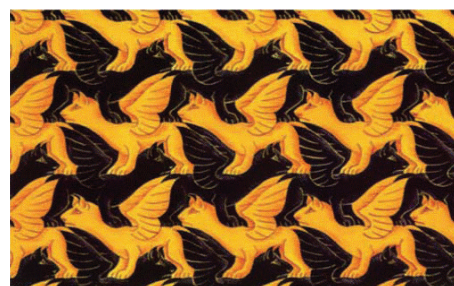
Simetrija se nalazi u raznolikim izrazima čovječke kreativnosti, kao što su sagovi, porculan, keramika, crteži, slike, kipovi, arhitektura,

pjesništvo, kaligrafija. Simetrija se uočava u kineskome pismu. U kineskoj umjetnosti i arhitekturi simetrija je manifestacija kineske filozofije u traženju harmonije u životu.

U umjetnosti i arhitekturi nalaze se razni oblici simetrije. Zadani motiv, koji se ponavlja pomakom, tvori translacijsku simetriju. Ta simetrija može biti jednodimenzijska i dvodimenzijska.



Slika 12 – Glava od bronce, Yoruba, grad Ife, Nigerija, 12. st. (Wikipedia)

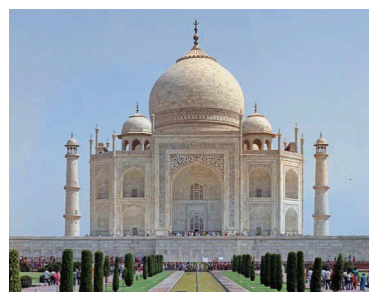


Slika 13 – Maurits Cornelis Escher (Nizozemska): primjer dvodimenzijske translacije (Fundacija M. C. Escher)

U zrcalnoj simetriji, dva motiva, *lijevi* i *desni*, međusobno se odnose kao predmet i njegova slika u ravnom zrcalu. Krila leptira su jedan od primjera u prirodi. Zrcalna simetrija je vrlo česta u arhitekturi, kao npr. Taj Mahal u Indiji, Zabranjeni Grad u Kini, ili Chichen Itza, hram Maya u Meksiku. Takva se simetrija nalazi često u umjetnosti iako je rijetka u slikarstvu.

Ako se motiv ponavlja – preslikava – vrtnjom oko zadane osi, tako da se pritom ne mijenja njegov izgled, tada taj motiv ima rotacijsku simetriju. Piramida u Gizi, Egipat, npr. ima rotacijsku os četvrtog reda (uključujući i njezinu osnovku). Strop džamije Lotfollah u Iranu ima rotacijsku os 32. reda.

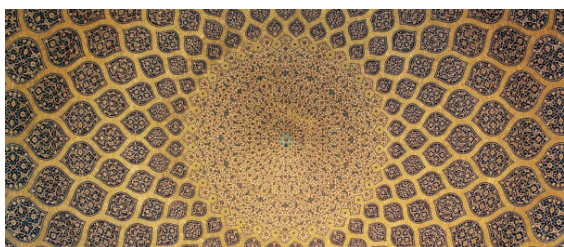
Geometrijski motivi prožimaju umjetnost raznih civilizacija. Primjeri za to su slike Navajo Indijanaca u Sjevernoj Americi, *kolam* u južnoj Indiji, indonezijski *batik* (vrsta tkanine), slike starosjedilaca u Australiji, *mandale* u Tibetu.



Slika 14 – Taj Mahal, Indija, gradnja završena 1648., svjetska baština pod zaštitom UNESCO-a (Wikipedia)

Islamske civilizacije, počevši od sedmoga stoljeća, koriste se geometrijskim oblicima u mozaicima i drugim umjetničkim formama s ciljem vizualnoga povezivanja duhovnosti sa znanosti i umjetnosti. Islamska umjetnost vjerojatno je utjecala na zapadnu školu geometrijske apstraktne umjetnosti u 20. stoljeću. Dva izrazita predstavnika te škole su *Maurits Cornelis Escher* i *Bridget Riley*. Escher je bio očito nadahnut posjetom maurskoj palači Alhambra u Španjolskoj.

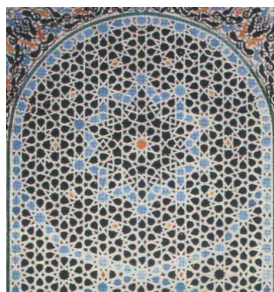
Tijekom 2014. Marokanska kristalografska zajednica priređuje putujuću izložbu o kristalografiji i umjetničkoj geometriji po arapsko-islamskim državama. Pojedini može pružiti prof. *Abdelmalek Thalal*; abdthlal@gmail.com.



Slika 15 – Kupolasti strop džamije Lotfollah u Iranu, čija je gradnja završena 1618., svjetska baština pod zaštitom UNESCO-a (Phillip Maiwald, Wikipedia)



Slika 16 – Kolami poput ovoga u Tamil Nadu, nacrtani rižinim prahom ili kredom ispred kuća da donesu blagostanje, mogu se svakodnevno obnovljati (Wikipedia)



Slika 17 – Al-Attarine Madrasa (škola), Fez, Maroko, svjetska baština UNESCO-a, sagrađena 1323. – 1325. (A. Thalal)

Kako moja država može prikazati i promicati kristalografiju u 2014. i ubuduće?

Svaka država koja želi razvijati industriju osnovanu na znanju ili povećati vrijednost svojih sirovina i proizvoda mora imati i uspostaviti vlastite kapacitete u kristalografiji. Tijekom 2014. niz država u razvoju, u Africi, arapskom svijetu, Latinskoj Americi, Karibima, Aziji, može mnogo učiniti u promicanju kristalografije i njezinom razvoju u svojim sredinama.

Načini kako unaprijediti poučavanje i istraživanje

Kristalografija je međudisciplinska znanost koja spaja fiziku, kemiju, znanost o materijalima, geologiju, biologiju, farmaceutiku i medicinu. Znanstvenici sa znanjem u tim poljima jesu potencijalni

kristalografi. Tijekom 2014. IUCr će poticati države da postanu njezini članovi, kako bi se unaprijedila međunarodna suradnja u obučavanju i istraživanju te omogućio pristup informacijama i znanju.

Jednom obučeni i osposobljeni, kristalografi trebaju odgovarajuću infrastrukturu kako bi mogli primijeniti svoje vještine. UNESCO i IUCr predlažu vladama pojedinih država da osnuju barem jedan nacionalni kristalografski centar opremljen difraktometrom i osiguraju mu odgovarajuću financijsku potporu. Nakon što se s pomoću difraktometra prikupe strukturni podaci na kojem kristalu, u kristalografskom centru se primjenom odgovarajuće programske podrške može modelirati kristalna struktura. Kao partneri tijekom 2014. proizvođači difraktometara trebaju ponuditi povoljnu i prihvatljivu cijenu i pomoći u obuci osoba koje održavaju instrumente.

Važno je da vlada pojedine države osigura povezanost centra sa sveučilištima i industrijom u državi, kao i s kristalografskim centrima u inozemstvu, kako bi se ostvario održivi razvoj zasnovan na znanju.



Slika 18 – Zaštitni zid u eksperimentalnoj dvorani izvora sinkrotronskoga zračenja SESAME u Jordanu. To je međudržavni istraživački centar uspostavljen pod okriljem UNESCO-a. Okuplja Bahrein, Cipar, Egipat, Iran, Izrael, Jordan, Pakistan, Palestinsku Upravu i Tursku, te trinaest pridruženih država, među njima Japan i SAD. SESAME je izgrađen 2008., a laboratoriji će biti operativni 2016. (SESAME).

Vlada također mora poticati suradnju nacionalnoga kristalografskog centra s nacionalnim i međunarodnim izvorima sinkrotronskoga zračenja, kao što je SESAME u Jordanu.

Sa željom da se učine dostupnima saznanja o znanstvenome i tehnologijskome razvoju u kristalografiji i postigne potpuni uvid u publikacije kristalografa iz država u razvoju, IUCr je pokrenuo kristalografski časopis sa slobodnim pristupom, IUCrJ.

UNESCO i IUCr također potiču vlade država da uspostave lokalne centre za obučavanje i izvođenje eksperimenata u kristalografiji, tako da se optimalno iskoriste mogućnosti postojećih institucija.

Obučavanje kristalografa u budućnosti

Međunarodna godina kristalografije je upravo vrijeme da se u pojedinoj državi obuči kritični broj kristalografa. Pojedine vlade moraju poduzeti korake u osuvremenjivanju nastavnih programa škola i sveučilišta, s ciljem uspostave potpune korelacije programa kristalografije s programima fizike, kemije, biologije i geologije. U tom nastojanju, UNESCO i IUCr pružit će punu potporu i smjernice u osuvremenjivanju nastavnih programa. Također se pozivaju vlade pojedinih država da pokažu zanimanje za prijam putujućega kristalografskog laboratorija, osmišljenoga posebno za mlade. IUCr je također osmislio problemske zadatke i natjecanja za učenike srednjih škola, za koje je potrebno znanje iz fizike, kemije i kristalografije. Cilj je prikazati praktičnu primjenu tih znanosti u razvoju poljoprivrede, farmaceutike, novih zelenih materijala i dr. Pozivaju se države da izraze spremnost za priređivanje takvih natjecanja na nacionalnoj razini.

Potrebno je sudjelovati u Međunarodnoj godini kristalografije

Poziva se 195 članica UNESCO-a da se povežu s timom UNESCO-a, u sklopu Međunarodnoga programa temeljnih znanosti – International Basic Sciences Programme (IBSP), ili u okviru Međunarodne unije za kristalografiju, s ciljem osmišljavanja programa obilježavanja Međunarodne godine kristalografije – International Year of Crystallography (IYCr).

Informacije o Međunarodnoj godini kristalografije

International Union of Crystallography – Međunarodna unija za kristalografiju (IUCr):

Prof. *Gautam Desiraju*, predsjednik, desiraju@ssc.iisc.ernet.in
 Prof. *Claude Lecomte*, dopredsjednik, claudel.comte@cm2.uhp-nancy.fr
 Dr. sc. *Michele Zema*, voditelj projekta IYCr2014, mz@iucr.org

UNESCO

Prof. *Maciej Nalecz*, Director, Executive Secretary of International Basic Sciences Programme, m.nalecz@unesco.org
 Dr. sc. *Jean-Paul Ngome Abiaga*, Assistant Programme Specialist, jj.ngome-abiaga@unesco.org
 Dr. sc. *Ahmed Fahmi*, Programme Specialist, a.fahmi@unesco.org
 Program događanja tijekom IUCr2014 nalazi se na mrežnim stranicama: www.iycr2014.org/.

Hrvatska kristalografska zajednica

www.hazu.hr/kristalografi
 Prof. *Stanko Popović*, spopovic@phy.hr

Hrvatska udruga kristalografa

Dr. sc. *Aleksandar Višnjevac*, aleksandar.visnjevac@irb.hr

Osvrt na predavanje prof. dr. sc. Mirka Gojića na Kemijsko-tehnološkom fakultetu u Splitu

L. Vrsalović* i M. Erceg**

Kemijsko-tehnološki fakultet u Splitu, Teslina 10/V, 21 000 Split

U okviru redovitih aktivnosti Udruge kemijskih inženjera i tehnologa Split i Udruge bivših studenata i prijatelja Kemijsko-tehnološkog fakulteta Sveučilišta u Splitu dana 18. ožujka 2014. godine prof. dr. sc. Mirko Gojić s Metalurškog fakulteta iz Siska Sveučilišta u Zagrebu održao je znanstveno-popularno predavanje pod nazivom "Pregled razvoja i primjene metalnih materijala, s naglaskom na legure s efektom prisjetljivosti oblika". Predavanje je održano na Kemijsko-tehnološkom fakultetu Sveučilišta u Splitu za članove udruga, studente i zainteresirane djelatnike Kemijsko-tehnološkog fakulteta.

U okviru predavanja prezentiran je pregled najvažnijih metalnih materijala (čelik, lijevana željeza, aluminij, bakar itd.) sa stajališta proizvodnje, svojstava, primjene i trendova razvoja s metalurškog stajališta. Istaknuto je da je čelik (željezna legura s najviše 2,06 % ugljika) najvažniji metalni materijal s godišnjom svjetskom proizvodnjom od 1,582 Gt. Najveći proizvođač čelika je Kina s oko 52 % ukupne svjetske proizvodnje. Oko 1/3 svjetske proizvodnje čelika odnosi se na proizvodnju u tzv. kisikovim konvertorima (proces propuhivanja sirovog željeza kisikom), a oko 1/3 čelika proizvodi se u elektrolučnim pećima (proces pretaljivanja čeličnog otpada). Čelik je i "zeleni materijal", jer oko 50 % svjetske proizvodnje potječe od recikliranja čeličnog otpada (staro željezo). Posebno je istaknut značaj tzv. sekundarne metalurgije ili metalurgije lonca (dorada čelika u loncu) za izradu čelika višeg kvalitetskog stupnja (veća čistoća, posebno sadržaj sumpora i fosfora, manji sadržaj otopljenih plinova, modifikacija oblika uključaka itd.). Svjetska proizvodnja lijevanih željeza (sivi lijev, nodularni lijev, čelični lijev itd.) u 2012. godini je iznosila oko 100,8 mil. tona, a najveći proizvođač je Kina s oko 42 % svjetske proizvodnje. Dan je kratak pregled načina proizvodnje bakra, aluminija i njihovih legura, s posebnim naglaskom

na njihova svojstva i područja njihove primjene (elektrotehnika, transport, građevinarstvo itd.). Naglašen je utjecaj na okoliš kod proizvodnje i prerade pojedinih metalnih materijala. U Republici Hrvatskoj čelik se proizvodi u elektrolučnim pećima u Sisku i Splitu, a u Šibeniku se prerađuje aluminij, dok se u oko 50-tak ljevaonica dobivaju lijevana željeza.

Poseban je naglasak u okviru predavanja stavljen na legure s prisjetljivosti oblika, koje spadaju u grupu relativno novih funkcionalnih metalnih materijala, a upotrebljavaju se u različitim područjima (medicina, elektro i elektronička industrija, strojarska industrija itd.). Efekt prisjetljivosti oblika legura u suštini je prisjećanje pretodno deformacijom unesenog oblika materijala, a u fizikalnom smislu je posljedica martenzitne fazne transformacije u strukturi homogene tvari. Među ovim legurama najzastupljenije su legure na bazi titanija i nikla (tzv. legura nitinol koja sadrži oko 50 % nikla i 50 % titanija), ali su veoma skupe. Pored nitinola veliku primjenu imaju i legure na bazi bakra (CuZnAl, CuAlNi), koje su znatno jeftinije, a upotrebljavaju za izradu senzora, pokretača itd. Prof. dr. sc. Mirko Gojić predstavio je i dio vlastitih rezultata znanstveno-istraživačkog rada dobivenih na legurama Cu-Al-Ni kao rezultat suradnje Metalurškog fakulteta iz Siska s Prirodoslovno-tehničkim fakultetom Sveučilišta u Ljubljani, Strojarskim fakultetom Sveučilišta u Mariboru i Kemijsko-tehnološkim fakultetom Sveučilišta u Splitu.

U Republici Hrvatskoj, kao i u širem regionalnom području, ne postoji proizvodnja komponenti iz legura s prisjetljivosti oblika iako postoje gospodarski subjekti s dugogodišnjom tradicijom i znanjem koji se bave proizvodnjom (lijevanje) gotovih proizvoda iz obojenih metalnih materijala. S obzirom na to da se radi o komponentama, odnosno proizvodima s visokom dodatnom vrijednosti, kako sa znanstvenog tako i s ekonomskog stajališta, može se pretpostaviti da će se pojaviti interes za usvajanje tehnologije izrade proizvoda iz tzv. legura s prisjetljivosti oblika.

* Izv. prof. dr. sc. Ladišlav Vrsalović, e-pošta: ladišlav@ktf-split.hr

** Izv. prof. dr. sc. Matko Erceg, e-pošta: merceg@ktf-split.hr