

Kristalografija danes!



Mednarodno leto kristalografije 2014



Published by the United Nations Educational,
Scientific and Cultural Organization
7, place de Fontenoy, 75352 Paris 07 SP,

© UNESCO 2013
All rights reserved

Original title: Crystallography matters!

Coordinator/Editor: Susan Schneegans

Front cover photos : Aeroplane © Shutterstock/TM_photo; Scientist in Africa @ FAO
Back cover photo: Young family watching TV @ Shutterstock/Andrey_Popov

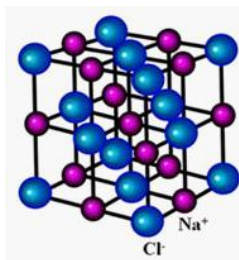
Composed and printed
in the workshops of UNESCO

Translated in Slovenian language by Ivan Leban,
Ljubljana, 2014.

Printed in France

SC-2013/WS/9
CLD 1251.13

Kaj je kristalografija?



Kuhinjska sol, NaCl je kristal. Kubična simetrija je posledica prav posebne, pravilne porazdelitve natrijevih in kloridnih ionov.

Kristale lahko najdemo povsod v naravi. Kristali so minerali v pestrih skalnih formacijah (na primer kot dragi kamni, grafit). Toda kristali so tudi drugje, na primer sladkor, led in zrna kuhinjske soli. Že od antičnih časov je učenjake pritegnila lepota kristalov, njihova simetrična oblika in njihova različna obarvanost.

- Prvi kristalografi so predvsem proučevali pravilno zunanjo geometrijsko obliko kristalov.

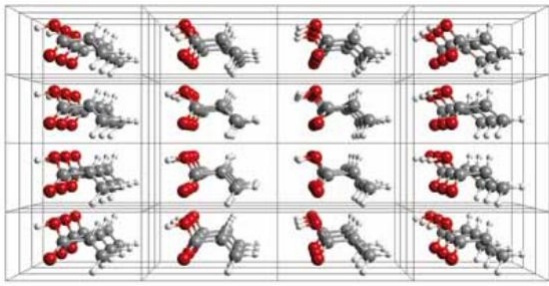
V začetku 20. stoletja so znanstveniki predvidevali, da bi z rentgenskimi žarki lahko "videli" notranjo strukturo snovi. To je bil tudi začetek sodobne strukturne kristalografije. Rentgenski žarki so bili odkriti leta 1895. So človeškem očem nevidni žarki, vendar ko zadenejo predmete, se na atomih sipajo. Ker so v kristalu pravilno razporejeni atomi, ioni ali molekule v vseh treh razsežnostih, se žarki sipajo samo v določenih smereh in z različno jakostjo.

Stari indijski zapisi opisujejo diamante kot orožje boga Indra, ki je bil bog bojevnikov. Ker ima diamant veliko trdoto in velik lomni količnik, uklanja svetlobo in je bilo starodavno indijsko poimenovanje za diamant povezano z besedama grom in strela. Spisi iz tretjega stoletja pred našim štetjem omenjajo "oktaedrično kristalno strukturo" diamanta. In že v

4. stoletju pred našim štetjem so Indijci diamante uporabljali za konice svedrov. Diamant (kemijsko je to ogljik) je lep primer zelo enostavne in zelo simetrične kristalne strukture. Mnoge znane diamante, kot na primer Hope diamant in Koh-i-Noor so izkopali v rudniku Golconda v Deccanu, in Koh-i-Noor je bil v kroni vladarja Jehangira. Jakobov diamant je v zbirki Nizam v Hyderabadu. Diamant Cullinan je do danes največji na svetu izkopani diamant. Izkopan je bil leta 1905 v Južni Afriki. Neobdelan je tehtal 3.106 karatov ali 621,2 grama.



Koh i Noor Diamond



3D slika kristalne strukture. V kristalu so atomi, skupine atomov, ioni ali molekule pravilno in periodično porazdeljene v vseh 3D. ©Image: Michele Zema/IUCr

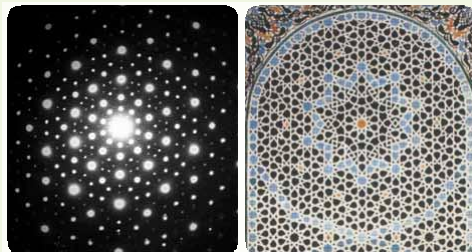
V stoletnem razvojnem obdobju je rentgenska kristalografija postala ena izmed vodilnih tehnik za strukturne raziskave in za študij lastnosti različnih materialov. S pridom jo uporabljajo različne znanstvene discipline.

Z aparaturami, ki proizvajajo zelo intenzivno svetlobo in visoko energetske rentgenske žarke (v sinhrotronih), je pridobila tudi kristalografija. Rentgenske žarke (v sinhrotronih) sedaj rutinsko uporabljajo v biologiji, kemiji, fiziki, arheologiji, geologiji in pri raziskavah novih materialov.

- Arheologi lahko z uporabo sinhrotrona določijo sestavo in starost trdnih snovi, na primer meteoritov in tudi kamnin na mesecu.

KVAZI-KRISTALI: SO RES V NASPROTJU Z NARAVNIMI ZAKONI?

L. 1984 je Dan Shechtman (Izrael) odkril kristale, v katerih se atomi niso periodično ponavljali v vseh treh dimenzijah. Odkritje na prvi pogled ni bilo v skladu s splošno privzetim mnenjem o simetriji v kristalih. Mnenje do tedaj je bilo, da samo geometrijske oblike z 1, 2, 3, 4 ali 6 simetrijo lahko obstajajo kot kristali, ker le-te se lahko periodično ponavljajo v 3D prostoru. Shechtman je z elektronskim mikroskopom opazil v zlitini aluminija in mangana peterokotnik. Kristali torej niso samo periodično ponavljajoči se motivi v vseh treh razsežnostih, ampak lahko tudi aperiodično z atomi zapolnimo prostor. Ti kristali so bili poimenovani kot kvazi-kristali. Za odkritje je Dan Shechtman prejel Nobelovo nagrado za kemijo leta 2011. Maroški obrtniki (Maalems) so že stoletja poznali vzorce v kvazi-kristalih. Sedem sto let je časovni razpon med slikama na desni. Slika bližje na desni je difrakcijska slika kvazi-kristala, ki jo je posnel Dan Shechtman l. 1984. Slika povsem na desni pa je prikaz mozaika (zelije) iz 14. stoletja (Fez, Maroko). Opazimo neverjetno podobnost obeh pentagonalnih vzorcev.



Difrakcijska slika, *Physical Review Letters* (1984), vol. 53, pages 7957-7953; in mozaik, Moroccan Crystallog. Association

Pregled zgodovine

V preteklosti in dan danes občudujemo lepoto in skrivnostne oblike kristalov. Pred dva tisoč leti je rimski naravoslovec Plinij st. občudoval "pravilnost šeststraničnih prizem kristalov." Takrat so že poznali proces kristalizacije sladkorja in soli. V starodavni indijski in kitajski civilizaciji so pridobivali kristalni trsni sladkor iz trsnega soka. Tudi slanico so izparevali, da so pridobili čisto kristalno sol. Kristalizacija je bila razvita tudi v Iraku že v 8. st. našega štetja. Dvesto let kasneje so v Egiptu in v Andaluziji že obvladovali tehniko rezanja trdnih kristalnih snovi za uporabo v posodah in za okrasne predmete, kot je npr. šatulja za dragocenosti na desni sliki, ki je bila narejena v Egiptu okoli leta 1200. Leta 1611 je nemški matematik in astronom J. Kepler prvič opisal šesterkotno simetrično obliko snežinke in sklepal, da je pravilna zunanja oblika posledica pravilne ureditve v snovi.



MEJNIKI V RAZVOJU KRISTALOGRAFIJE:

1895: Rentgenske žarke je odkril William C. Roentgen, ki je prejel prvo Nobelovo nagrado za fiziko leta 1901.

1914: Max von Laue je s sodelavci odkril, da se rentgenski žarki na kristalu uklonijo v točno določenih smereh. Jakost in smeri uklonov so odvisni od posameznih kristalov. Za odkritje je Max von Laue prejel Nobelovo nagrado za fiziko.

1913: Oče in sin, William Henry Bragg in William Lawrence Bragg, sta z rentgenskimi žarki prvič točno določila atomske lege v kristalu in tako razložila 3D strukturo kristala. Odkritje, znano kot Braggov zakon, je ogromno pripomoglo k celotnemu razvoju naravoslovnih ved. Atomska struktura in kemijske vezi določata tako kemijske in biološke lastnosti kot tudi fizikalne lastnosti snovi.

1915: William Henry Bragg in William Lawrence Bragg sta prejela Nobelovo nagrado za fiziko.

1920-1960: Rentgenske metode so pripomogle k razvoju zdravstva in s pridom so jih uporabili v bolnicah.

Dorothy Hodgkin je razrešila številne strukture bioloških molekule kot so: holesterol (1937), vitamin B12 (1945), penicilin (1954) in insulin (1969). Rentgenska kristalografija je razrešila probleme, ki jim običajne kemijske metode niso bile kos.

1964: Dorothy Hodgkin je prejela Nobelovo nagrado za kemijo.

1962: John Kendrew in Max Perutz sta prva določila strukturo beljakovine - mioglobina ter prejela Nobelovo nagrado

Zelo pomemben mejnik v 20. stoletju je bila razrešitev kristalne strukture DNK. Ta dosežek je bilo delo Jamesa Watsona in Francisca Cricka.

Skupaj z razvojem računalništva se je kristalografija zelo hitro razvijala v zadnjih 50 letih. Leta 1985 sta, na primer, Nobelovo nagrado za kemijo prejela Herbert Hauptman (prvi matematik) in Jerome Karle za razvoj direktnih metod pri analizi kristalnih struktur.

Zakaj je potrebno še naprej razvijati kristalografijo?

Kristalografija je močno povezana z razvojem praktično vseh novih materialov, od vsakdanjih izdelkov, kot so računalniške pomnilniške kartice do novih televizijskih zaslonov, avtomobilov, sestavnih delov letal, tekočih kristalov v množici različnih naprav. Kristalografi ne raziskujejo samo strukturo materialov. S pridobljenim znanjem lahko tudi spremenijo strukturo materiala tako, da ima nove lastnosti, ali pa da se obnaša povsem drugače. Kristalograf lahko določenemu materialu ali zdravilu odvzame "prstni odtis". Podjetje lahko uporabi ta edinstven "prstni odtis", da dokaže, da je nov material rezultat njihovega dela, na primer pri prijavi patenta.

Zelo pomembno dejstvo je, da ima kristalografija neverjetno mnogo aplikacij. Nehote tudi vpliva na naše življenje in je bistvena pri panogah, ki so odvisne od pridobivanja povsem novega znanja za razvoj novih izdelkov pri agroživilski, letalski, avtomobilski, kozmetični, računalniški, elektro-mehanski, farmacevtski, rudarski in tudi pri drugih industrijah. V nadaljevanju bo prikazano nekaj konkretnih primerov.

Mineralogija je verjetno najstarejša veja kristalografije. Rentgenska kristalografija pa omogoča določanje atomske strukture mineralov in kovin od leta 1920 naprej. Skoraj vse, kar vemo o kamninah in geoloških formacijah na Zemlji in tudi na Mesecu, je pridobljeno z modernimi kristalografskimi metodami. Tudi naše znanje o "kozmičnih obiskovalcih", kot so npr. meteoriti, je kristalografsko. To znanje je običajno tudi bistvenega pomena za rudarstvo in za vse industrije, ki z vrtniki vrtajo v Zemljo pri iskanju vode, nafte, plina in geotermalne energije.

Tudi za razvoj novih zdravil (drug design) farmacevtska firma nujno potrebuje orodja kristalografije. Pri razvoju novega zdravila za preprečitev delovanja bakterije ali virusa moramo najprej poiskati majhno molekulo, ki lahko blokira aktivno mesto na tisti beljakovini (encimu), ki je vpletena v napadu na človeško celico. Poznavanje natančne oblike beljakovine znanstvenikom omogoča, da oblikujejo tudi tako molekulo zdravila, ki lahko zavzame "aktivno" mesto na beljakovini, in tako onemogoči škodljivo delovanje bakterije ali virusa.

Namig: Beljakovina (protein) je velika biološka molekula iz ene ali več verig aminokislin.

Kristalografija je bistvenega pomena tudi pri sami proizvodnji zdravil. Uporablja se pri kontroli kakovosti surovin in produktov pri masovni proizvodnji. Izpolnjeni morajo biti strogi zdravstveni in varnostni pogoji.



Kakavovo maslo, najpomembnejša sestavina čokolade, kristalizira v šestih različnih oblikah. Toda le ena oblika se v ustih prijetno topi, ima lep površinski lesk in svežo trdoto, ki jo naredi okusna. Vendar ta "okusna" kristalna oblika ni zelo stabilna in se običajno pretvori v stabilnejšo obliko. Dobi mehko teksturo in se le počasi topi v ustih. Občutek na jeziku pa je grob in peščen. Na srečo je pretvorba počasna. Če čokolado hranimo dalj časa ali je pri višji temperaturi, se na njej pojavi bel oprh, "prevleka", ki je posledica rekristalizacije. Zato morajo izdelovalci čokolade dobro obvladovati zapleten proces kristalizacije, ki omogoča, da dobimo najbolj zaželeno obliko čokolade za sladokusce in potrošnike. Foto: Wikipedia.

S pomočjo rentgenske kristalografije je leta 2012 vesoljsko vozilo Radovednost (Curiosity) analiziralo vzorce skal na planetu Marsu. NASA je opremila vozilo z difraktometrom. Vzorci tal so zelo podobni bazaltnim zemljinam na havajskih vulkanih. Photo: NASA



Kdo je pobudnik Mednarodnega leta kristalografije?

Mednarodno leto skupno organizirata Mednarodna zveza kristalografov (International Union of Crystallography - IUCr) in UNESCO.

Namen:

- Čeprav kristalografija danes povezuje mnoge znanstvene discipline, je še vedno razmeroma neznana širši javnosti. Eden izmed ciljev mednarodnega leta je izobraževanje in ozaveščanje javnosti prek različnih aktivnosti (glej Kdo bo imel koristi od Mednarodnega leta kristalografije?).
- S pomembnimi rezultati kristalografije je potrebno seznaniti čim širši krog prebivalstva, da bi imele tudi države v razvoju več strokovnega znanja na tem ključnem področju znanstvenega in industrijskega razvoja. To je še toliko bolj nujno, ker bo imela kristalografija ključno vlogo pri trajnostnemu razvoju v prihodnjih desetletjih.

Kristalografi delujejo v več kot 80 državah po celem svetu, 53 držav je članic Mednarodne zveze kristalografov (IUCr).

IUCr omogoča svojim članicam enakovreden dostop do informacij in promovira mednarodno sodelovanje.

Države članice Mednarodne zveze kristalografov (IUCr) v rdečem.



Izzivi prihodnosti

V letu 2000 so svetovne vlade sprejele program razvojnih ciljev Združenih narodov (UN) za naslednje tisočletje, ki določajo posebne cilje do leta 2015. Gre za zmanjšanje revščine in lakote, za izboljšanje dostopa in oskrbe s čisto in pitno vodo in varnimi sanitarijami, za omejevanje umrljivosti otrok in izboljšanje zdravja mater. Vlade trenutno pripravljajo nov sklop ciljev, ki bodo določili razvojne agende za obdobje po letu 2015.

Nekaj primerov koristne uporabe kristalografije

Hrana

Svetovno prebivalstvo se bo predvidoma povečalo s 7 milijard v letu 2011 na 9,1 milijarde v letu 2050. Kombinacija hitre rasti prebivalstva in porast prehrane je sedaj bolj odvisna od proizvodnje mesa in mlečnih izdelkov, kot je to bilo v preteklosti. To lahko poveča povpraševanje po hrani za 70% do leta 2050.

Kristalografija se lahko uporablja za analizo tal. Razlog za slabo kakovost tal je zasoljevanje, ki se lahko pojavlja v naravi ali pa jih povzroča sam človek s svojo dejavnostjo.

Strukturne študije o rastlinskih beljakovinah lahko pomagajo razviti pridelke, ki uspevajo tudi v slanih okoljih.

Kristalografija lahko prispeva k razvoju pripravkov za rastline in živali, npr. preprečitev raka v posevkih kot so paradižnik, ali pa za razvoj cepiva za preprečevanje bolezni kot sta ptičja ali prašičja gripa.

Poleg tega so kristalografske študije bakterij pomembne za proizvodnjo prehranskih izdelkov, pridobljenih iz mleka, mesa, zelenjave in drugih rastlin.

Voda

Število prebivalstva v mestih, ki nimajo dostopa do oskrbe s čisto vodo in nimajo sanitarij je od leta 2000 naraslo kar za 20 %.

Kristalografija lahko pomaga izboljšati kakovost vode v revnih skupnostih, na primer z razvojem novih materialov (filtri), ki lahko očistijo vodo za več mesecev naenkrat. To so različni proizvodi nano tehnologije - nanospužve (filtri) in nanotablete. Prav tako lahko kristalografija pripomore k razvoju okoljskih rešitev za izboljšanje sanitarnih razmer.

Energija

S pomočjo kristalografije lahko razvijemo nove proizvode, ki znižujejo porabo energije v gospodinjstvih kot so na primer različni izolacijski materiali. S tem zmanjšamo tudi emisijo ogljikovega dioksida. Gre tudi za razvoj cenejših materialov za sončne kolektorje, vetrnice in baterije. Hkrati pa naj bi bile naprave bolj učinkovite, z manjšimi izgubami in izboljšanim dostopom do zelene tehnologije.

Kristalografija lahko najde nove materiale, ki so lahko učinkoviti filtri za čiščenje pri pridobivanju pitne vode.

© Shutterstock/S_E



Zelena kemijska industrija

- Kristalografija je pripomogla k razvoju okolju prijaznih konstrukcijskih materialov, ki naj bi se uporabljali povsod predvsem pa v deželah v razvoju.
- Kristalografija pomaga zmanjšati onesnaževanje z zamenjavo klasični topil z "zelenimi" anorganskimi topili na osnovi ionskih raztopin in CO₂.
- S kristalografskimi metodami lahko zmanjšamo stroške rudarjenja in selektivno ločimo le tiste rude, ki jih potrebujemo za nadaljnjo predelavo.

Zdravje

- Kristalografija poskuša razrešiti problem naraščajoče odpornosti bakterij na znane antibiotike. Skupaj z Venkatramanom Ramakrishnanom in Thomasom Steitzom, je kristalografinja Adi Yonath uspelo določiti strukturo ribosoma in razložiti, zakaj je moteno delovanje antibiotikov. Ribosomi so odločilni za proizvodnjo vseh beljakovin v živih celicah ljudi, rastlin in bakterij. Če je delovanje ribosoma ovirano, celica odmre. Ribosomi so ključni cilj za antibiotike, antibiotiki pa preprečijo škodljivo delovanje bakterij na ribosome, pri čemer pa pustijo ribosome nedotaknjene. Leta 2008 je prof. Yonath prejela za svoje delo l'Oreal-Unescovo nagrado za ženske v znanosti. Leto kasneje pa so vsi trije omenjeni znanstveniki prejel Nobelovo nagrado.
- Predvsem tropski kraji so poznani po bogati biotski raznovrstnosti, ki pa pogosto ostaja neizkoriščena. Kristalografija lahko pomaga državam opredeliti lastnosti in vedenje endogenih rastlin, z namenom razvijanja kozmetičnih izdelkov za nego kože in drugih izdelkov za zdravstveno nego, za proizvodnjo zeliščnih zdravil in drugo.

Zakaj naj bi bilo koristno Mednarodno leto kristalografije?

Vloga vlad

Vlade posameznih držav naj bi s svojo znanstveno politiko predvsem:

- finančno omogočile ustanovitev in delovanje vsaj enega nacionalnega kristalografskega središča;
- spodbujale medsebojno sodelovanje nacionalnih kristalografskih centrov s tujimi, s sinhrotroni in drugimi večjimi znanstvenimi institucijami;
- spodbujale uporabo kristalografije pri raziskovalni in razvojni dejavnosti;
- podpirale raziskave v sami kristalografiji;
- zagovarjale vključitev kristalografije v učne načrte srednjih šol in univerz in stremele k modernizaciji učnih programov.

Vloga šol in univerz

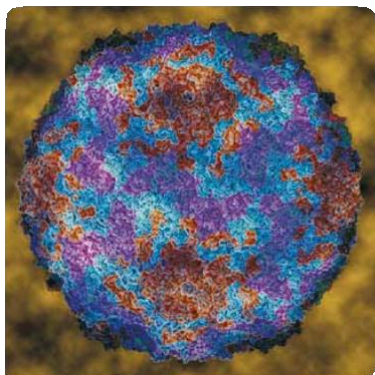
Ponovno vključitev pouka kristalografije v šole predvsem:

- z odpiranjem laboratorijev in demonstracijo delovanja difraktometrov v državah Azije, Afrike in latinske Amerike v sodelovanju z izdelovalci teh aparatov;
- ta inicijativa že poteka na univerzah v Afriki in se bo okrepljena razširila tudi v azijske države in države latinske Amerike, kjer se kristalografije še ne poučuje;
- preko raznih praktičnih prikazov in tekmovanj v osnovnih in srednjih šolah;
- preko raznega projektne delo za dijake, kjer bi uporabili kristalografsko znanje skupaj z znanjem fizike, kemije in biologije.

Po nekaterih podatkih se je število obolelih za sladkorno boleznijo v zadnjih 20 letih povečalo z 20 milijonov na 230 milijonov (International Diabetes Federation). Ko so z rentgensko kristalografijo določili strukturo naravnega inzulina trebušne slinavke, je ta določitev omogočila proizvodnjo biosintetičnega "človeškega" inzulina.

Foto: Wikipedia Commons





Virus. Načrtovanje zdravila ni možno brez znane določene strukture ustreznega proteina. © IUCr

Javnost in mednarodno leto

Zavedanje, da so kristalografski izsledki povzročili in omogočili izreden tehnološki razvoj v moderni družbi, pa tudi prispevali pri ohranjanju naravne in kulturne dediščine, bomo izkazali z

- organizacijo javnih konferenc in srečanj s poudarkom na pomenu kristalografije pri načrtovanju novih zdravil. Opisali bomo, kristalografijo v umetnosti. Govorili bomo o simetriji in o kristalografskih analizah umetnin in antičnih in drugih izkopanin;
- sponzoriranjem razstav, ki bodo prikazale uporabno vrednost in čudeže kristalografije;
- objavo člankov in prispevkov v tiskanih medijih in na televiziji z omenjanjem vpliva kristalografije na svetovno ekonomijo ter navedbo, da je bilo za kristalografske izsledke v uporabni znanosti podeljenih že preko 30 Nobelovih nagrad.

Znanstvena javnost

Spodbujali bomo znanstvenike in raziskovalce k mednarodnem sodelovanju s poudarkom nesebičnega sodelovanja med severom in jugom. To bo izraženo:

- z začetkom izdajanja revije o kristalografiji s prostim dostopom IUCrJ (open access journal) - na sliki desno;
- s skupnimi raziskovalnimi projekti, ki bodo povezovali velika sinhrotronska središča v razvitih državah in v državah v razvoju. To sta npr. centra v Braziliji in SESAME na srednjem vzhodu, ki nastaja na pobudo UNESCO;
- s posvetom, kako shraniti vse dragocene difrakcijske podatke, ki so se nabrali v velikih znanstvenih središčih in posameznih laboratorijih.



Naslovnica IUCrJ. Revija je dosegljiva brezplačno na spletu: www.iucrj.org

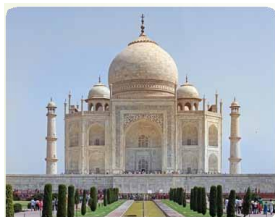
SIMETRIJA V UMETNOSTI IN ARHITEKTURI



Kitajska pismenka za srečo.

Izgovori se shuangxi.

Foto: Wikipedia



Taj Mahal, Indija. Zgrajen leta 1648. Danes del UNESCO Svetovne dediščine.
Foto: Muhammad Mahdi Karim/ Wikipedia



Majski tempelj v Chichen Itza v Mehiki, ki je deloval v letih 600 do 900 n.št. Danes je del UNESCO Svetovne dediščine.
 © S. Schneegans/UNESCO

V naravi je vsepovsod prisotna simetrija. Naj bo to človeški obraz, cvetlica, riba ali školjka. Simetrija je prisotna v tisočletni zgodovini človeštva tako v umetnosti kot tudi v arhitekturi.

Simetrija je prisotna v različnih izdelkih kot izraz človeške ustvarjalnosti - v tkanih odejah in preprogah, v keramiki, porcelanu, na risbah, slikah, v poeziji, kiparstvu, arhitekturi, v pisavah, itn. Obstaja celo simetrija v kitajski abecedi.

V umetnosti in arhitekturi lahko najdemo različna oblike simetrije.

Za vzorec, ki se enak periodično ponavlja, pravimo, da ima translacijsko simetrijo. Lahko se ponavlja v eni razsežnosti ali v dveh, kot npr. pernata žival na Escherjevi sliki desno.

Posebno simetrijo tvorita zrcalni sliki - leva in desna oblika sta enaki. Primer iz narave je npr. metulj.

Zrcalni sliki - bilateralno simetrijo zelo pogosto najdemo v arhitekturi.



Yoruba bronasta glava iz nigerijskega mesta Ife, 12. stoletje.

Foto: Wikipedia



Two-dimensional image by Maurits Cornelis Escher (Nizozemska)
 ©MCEscher Foundation



Kolam v Tamil Nadu, narejen iz riževega prahu ali krede, prinaša v domove blaginjo. Lahko se ga vsak dan spreminja. Foto: Wikipedia.



Strop mošeje Lotfollah v Iranu, zgrajena leta 1678. Danes del UNESCO Svetovne dediščine.
© Phillip Maiwald/Wikipedia

Znan zgodovinski primer je npr. Taj Mahal v Indiji (na sliki na prejšnji strani). Prepovedano mesto v Beijingu na Kitajskem ali majski tempelj Chichen Itza v Mehiki (na sliki na prejšnji strani). Dvostranska simetrija je prav tako pogosta v umetnosti, čeprav je popolna simetrija v slikarstvu zelo redka. Če predmet zavrtimo okoli njegove osi ali prenesemo preko določene točke, pri čemer se ne spremeni, pravimo, da ima rotacijsko simetrijo. Piramide v Gizah v Egiptu, na primer, kažejo rotacijsko simetrijo četrtega reda, vsaka bočna ploskev piramide se štirikrat ponovi. Notranjost kupole mošeje Lotfollah v Iranu (na sliki levo) nam kaže rotacijsko simetrijo 32. reda. Vsaka točka se 32 krat ponovi, če jo zavrtimo okoli točke, ki je na vrhu kupole.

S pravilnimi geometričnimi vzorci so prežela umetniška dela številnih civilizacij. Nadaljnji primeri so peščene slike Navajo Indijancev, kolam iz južne Indije (na sliki desno), indonezijski batik, umetnost avstralskih Aboridžinov in tibetanskih mandal (na sliki desno).



Mandala petih božanstev v Tibetu, 17. stoletje. Mandala ima vedno krog v sredini (mandala v sanskrtu pomeni krog). Mandala ima religiozni pomen v hindujskem in budističnem verovanju.
Foto: Wikipedia

Kristalografijo najdemo vse povsod!

Sodelujte v mednarodnem letu kristalografije!

Vseh 195 članic UNESCO je bilo povabljenih, da bi sodelovali v okviru International Basic Sciences Programme (IBSP) ali v okviru International Union of Crystallography, da bi skupno pripravili program aktivnosti za leto 2014.

International Union of Crystallography

Prof. Gautam Desiraju,
President: desiraju@sScu.iic.ernet.in

Prof. Claude Lecomte,
Vice-President: claud.lecomte@crm2.uhp-nancy.fr

Dr. Michele Zema
Project Manager for the Year: mz@iucr.org

UNESCO

Prof. Maciej Nalecz, Director,
Executive Secretary of International Basic Sciences
Programme: m.nalecz@unesco.org

Dr Jean-Paul Ngome Abiaga, Assistant Programme
Specialist: jj.ngome-abiaga@unesco.org

Dr Ahmed Fahmi,
Programme Specialist: a.fahmi@unesco.org



S kristalografijo so določili pravilno vsebnost aluminija in magnezija v zlitini za izdelavo letal. Preveč aluminija naredi letalo pretežko, nevarnost požara pa je večja ob večji vsebnosti magnezija.
© Shutterstock/IM_photo

Program srečanj in dodatne informacije so dosegljive na uradni spletni strani:

www.iycr2014.org

Še enkrat za dodatne informacije o Mednarodnem letu kristalografije!

International Union of Crystallography

Prof. Gautam Desiraju,

President: desiraju@sscu.iisc.ernet.in

Prof. Claude Lecomte,

Vice-President: claudel.comte@crm2.uhp-nancy.fr

Dr. Michele Zema,

Project Manager for the Year: mz@iucr.org

UNESCO

Prof. Maciej Nalecz, Director,

Executive Secretary of International Basic Sciences

Programme: m.nalecz@unesco.org

Dr. Jean-Paul Ngome Abiaga,

Assistant Programme Specialist: jj.ngome-abiaga@unesco.org

Dr. Ahmed Fahmi,

Programme Specialist:

www.iycr2014.org

