



ЧЛАНЦИ



Тамара ТОДОРОВИЋ¹, Ненад ФИЛИПОВИЋ²

¹ Хемијски факултет, Универзитет у Београду (tamarat@chem.bg.ac.rs)

² Пољопривредни факултет, Универзитет у Београду (nenadf@agrif.bg.ac.rs)

НОБЕЛОВА НАГРАДА ЗА ХЕМИЈУ 2011 - КРИСТАЛИ КОЈИ ТО НИСУ БИЛИ

Добитник Нобелове награде за хемију за 2011. годину је Данијел Шехтман са Израелској институцији за технологију - Technion у Хаифи. Шведска краљевска академија је 70-годишњем професору науке о материјалима доделила преславу награду за откриће квазикристала - чврстих супстанци које су испољавале својства кристала, али се нису уклапале у основне дефиниције кристалографије, науке о кристалима. Школски ученици су нас учили да су атоми у кристалима распоређени у оквиру основних образаца, тзв. јединичних ћелија, који се периодично понављају у сва три правца у простору. Ако замислимо да су јединичне ћелије LEGO коцкице, онда спајањем коцкица на одређен начин можемо испунивши тродимензионални простор. Овако се једноставно могла описати структура свих кристалних супстанци, али је откриће квазикристала средином осамдесетих година прошлог века унело праву промену у научну заједницу и уздрмало саме темеље кристалографије. Прича која следи, између осталог, указује да отвореност ума, истрајности и стремности ка преиспитивању постојећих научних 'исстина' јесу можда најважније особине које би требало да красе сваког научника.

Данијел Шехтман (енгл. Daniel Shechtman) је рођен 24. јануара 1941. године у Тел Авиву. Докторирао је 1972. године на Израелском институту за технологију,



где је завршио и све претходне нивое студија. У периоду од 1972. до 1975. године боравио је на пост-докторским студијама на Националном истраживачком савету у Охају (енгл. National Research Council, Aerospace Research Laboratories, Ohio). Своју академску каријеру започео је 1975. године као предавач на Израелском институту за технологију, 1986. године је изабран за редовног професора, а данас на истом Институту, као и на Државном универзитету у Ајови (енгл. Iowa State University), предаје науку о материјалима. Током боравка у Америчком националном бироу за стандарде у Вашингтону (енгл. U.S. National Bureau of Standards, Washington, D.C.) 1982. године, проучавајући структуру легуре алуминијума и мангана, открио је нову класу чврстих кристалних супстанци за коју се сматрало да никако не може постојати. Невероватно откриће квазипериодичних кристала (или скраћено квазикристала), које се косило са дотадашњим целокупним знањем о кристалима, потпуно је променило парадигму о схватању материје.^[1-2]

О КРИСТАЛИМА ПРЕ КВАЗИКРИСТАЛА

Кристали су представљали фасцинацију од давнина. Супстанце које се у свакодневном животу сматрају кристалима поседују правилан облик, оштре ивице, дефинисане углове и често су јарких боја. Преко 90% свих чврстих супстанци се сматрају кристалним, иако код појединих то не можемо детектовати голим оком. С друге стране, неке супстанце се погрешно сматрају кристалним, а заправо су аморфне. Најпознатији пример је стакло, од кога се могу направити предмети оштрих ивица (нпр. Swarovski „кристални“ накит се прави од стакла и других аморфних материјала). Реч кристал потиче од грчке речи κρύσταλλος која значи 'чист лед'. Назив потиче од погрешног веровања да су прелепе, прозрачне, кварцне стене у Алпима настале од леда. Из претходно наведеног намеће се питање - који је критеријум поделе чврстих супстанци на аморфне и кристалне и ко или шта одређује те критеријуме?

Кристали су до 1992. године, према Интернационалној унији за кристалографију (IUCR, енгл. International Union of Crystallography), били дефинисани као 'супстанце код којих се атоми, молекули и јони који их граде налазе спаковани у регуларном, уређеном тродимензионалном обрасцу'^[3]. Аморфне супстанце су, према томе, оне чврсте супстанце које се одликују неуређеношћу структуре, недостатком периодичног распореда атома, молекула или јона, слично течностима. Сматрало се да било која чврста супстанца може имати или уређену, периодичну структуру, или потпуно неуређени распоред атома, молекула или јона. Трећег нема и не може бити - мислило се дуги низ векова. Откриће квазикристалних супстаници је показало да су многи погрешили. Превидело се да уређеност не подразумева периодичну правилност само у три димензије. Међутим правилности је било у вишедимензионалном простору, али нико пре професора Шехтмана то није успео експериментално и да покаже.

КРАТКА ИСТОРИЈА КРИСТАЛОГРАФИЈЕ

Иако је још 1611. године немачки научник Јоханес Кеплер (нем. Johannes Kepler), објавивши рад под називом "Новогодишњи дар – шестоугаоне снежне пахуљице", поставио темеље кристалографије, оцем модерне кристалографије се сматра француски минеролог Рене Жуст Ави (фр. Rene Just Haüy)^[4]. Наиме, он је случајно испустио узорак калцита који је припадао његовом пријатељу. Пажњу му је привукла сличност облика насталих парчића. Закључио је да облик комадића, добијених ломљењем већег кристала, на неки начин мора одражавати унутрашњу структуру. Понављајућа јединица која изграђује кристал је у то доба названа 'molécule intégrante', а данас је то јединична ћелија. Откриће контактеног гониометра 1780. и оптичког гониометра 1809. године омогућило је мерење углова између страна кристала. На основу добијених података постављени су први закони дескриптивне или морфолошке кристалографије^[4].

Паралелно са проучавањем спољашњег облика кристала, кристалографи су у другој половини 19. века развијали и геометријску теорију симетрије у простору^[4]. Разлог интересовања кристалографа за симетрију је лежао у могућности класификовања кристала на основу тзв. елемената симетрије. Повезивање симетрије са основном Авијевог поставком да је кристал периодичан распоред 'molécule intégrante', шта год да то физички представља, настављено је од стране Зонке, Брава, Шенфлиса и Фјодорова (нем. Leonhard Sohncke, фр. Auguste Bravais, нем. Arthur Moritz Schönflies, рус. Евграф Степанович Фёдоров). Њихова истраживања су била усмерена на утврђивање одређених ограничења која симетрија намеће у погледу распореда честица у кристалима, као и општем проблему налажења свих типова симетрије који могу бити добијени одговарајућим размештањем честица у простору.

Кључна година за развој кристалографије је 1912., када је немачки научник Макс фон Лауе (нем. Max von Laue) извео свој чувени експеримент дифракције рен-

дгенских зрака на кристалу $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, 17 година након што је Рендген (нем. Wilhelm Conrad Röntgen) открио ову врсту електромагнетних таласа. Лауеов експеримент је имао двоструки значај: потврда претпоставке да рендгенски зраци имају таласне дужине реда величине ангстрема ($1 \text{ \AA} = 0,1 \text{ nm} = 10^{-10} \text{ m}$) и потврда периодичности структуре кристала. За ово откриће, две године касније, Лауе је добио Нобелову награду за физику. Само годину дана касније, 1915. године, отац и син Браг (енгл. William H. Bragg и William L. Bragg) добили су Нобелову награду за физику за откриће употребе рендгенског зрачења за одређивање структуре кристала. Ово изванредно откриће омогућило је по први пут одређивање структуре супстаници на тај начин да су се могле одредити дужине и углови веза, као и разни други геометријски параметри.

Де Брољијево (фр. Louis Victor de Broglie) откриће таласне природе електрона 1929. године навело је на закључак да би и електрони могли да се користе за дифракцију на кристалима, а самим тим и одређивање кристалне структуре. Пионирски рад Томпсона и Дејвисона (енгл. George Paget Thomson и Clinton Joseph Davisson) у овој области је 1937. године награђен Нобеловом наградом за физику. Иако се много раније теоријски претпостављало да се за дифракцију могу користити и убрзани неутрони, Брокхаус и Шул (енгл. Bertram N. Brockhouse и Clifford G. Shull) су за свој рад у овој области добили Нобелову награду за физику тек 1994. године, 57 година после открића електронске дифракције, и чак 79 година после доделе Нобелове награде за дифракцију рендгенских зрака. Разлог овоме је чињеница да је било много теже добити интензивне изворе неутрона, него изворе рендгенских зрака или електрона.

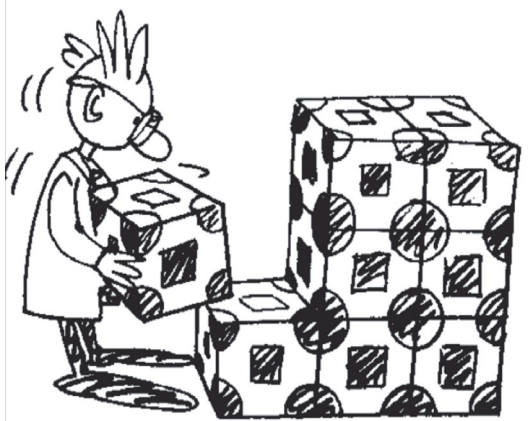
Важност одређивања структуре чврстих супстаници методом дифракције је позната сваком ко се озбиљније бави хемијом. О томе сведочи и број Нобелових награда за открића која су уско повезана, или пак укључују употребу кристалографских метода и техника. Укупно је додељено 26 награда: 16 из хемије, 9 из физике и 1 из медицине или физиологије^[5].

СИМЕТРИЈА КАО ОГРАНИЧАВАЈУЋИ ФАКТОР

Операција симетрије је такво покретање након кога се свака тачка објекта подударе са еквивалентном или са истом тачком. Другим речима, ако запамтимо позицију и оријентацију објекта пре и након покретања, тада такво покретање можемо назвати симетријском операцијом уколико се почетна и крајња позиција објекта не могу разликовати. Операција симетрије је стога трансформација која доводи објекат у еквивалентну конфигурацију, која се не може разликовати од почетне, али која није неопходно идентична оригиналној конфигурацији. Елементи симетрије су геометријски појмови, попут тачке, праве и равни, у односу на које могу бити изведене једна или више симетријских операција. Операције и елементи симетрије су тако блиско повезани јер се операција може дефинисати само уз

помоћ елемената, а истовремено постојање елемената симетрије може бити демонстрирано само ако се покаже да одговарајућа симетријска операција постоји.

Било који периодични распоред честица се базира на понављању јединичне ћелије, тј. паралелоипеда који садржи једну или више честица. Облик и запремина јединичне ћелије су одређени ивицама (кристалографске осе a , b и c) које потичу из заједничког почетка, и угловима између ивица (α , β и γ). Ивице су назване трансляцијама, зато што се паралелним померањем ћелије и њеног садржаја и умношком ивица добија читава структура (Слика 1). Опис кристалне структуре избором одређене јединичне ћелије је произвољан и без физичке консеквенце. За опис структуре могу бити изабране ћелије различитих димензија и облика, а уобичајено се бирају оне које најбоље приказују симетрију читавог кристала и најмање су величине.

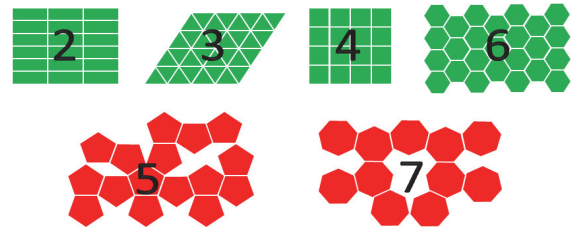


Слика 1. Ако замислимо да су јединичне ћелије LEGO коцкице, онда слагањем коцкица на одређен начин можемо испунити тродимензионални простор.

Сви кристали могу бити сврстани у седам кристалних система на основу дужине кристалографских оса и величине углова између оса. Комбинацијом кристалних система са трансляцијом настају Бравеове решетке (14). Групе симетрије тачке, којих има 32, добијају се комбинацијом елемената симетрије који не садрже трансляциону компоненту. Даљом комбинацијом свих расположивих елемената симетрије са Бравеовим решеткама добија се 230 просторних група, а просторна

симетрија је уједно и једна од најочљивијих карактеристика кристала.

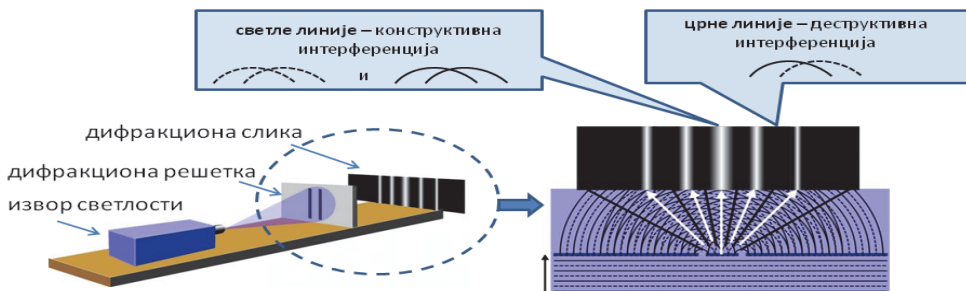
Здржћемо се на операцији ротације, тј. ротационој симетрији. Сматрано је да кристали могу поседовати само одређену ротациону симетрију, односно осе 2., 3., 4. и 6. реда. Наиме, проблем ћемо боље разумети ако се ограничимо на две димензије. Замислимо да имамо задатак да потпуно поплочамо неку равну површину. Слагањем плочица облика троугла, квадрата или шестоугла можемо врло лако извршити задатак. Међутим, ако то исто покушамо да урадимо користећи плочице облика петоугла то нам неће успети, јер ће се увек појављивати делови непрекривене површине (Слика 2). Слично, коришћењем плочица облика правилног седмоугла, без обзира на то колико се ми трудили и комбиновали, никада нећемо моћи да у потпуности прекријемо целокупну површину (Слика 2). Стога се сматрало да није било могуће синтетисати, или у природи пронаћи такву кристалну супстанцу која би поседовала осу ротације 5. или било којег вишег реда, изузев 6., јер не би био задовољен фундаментални принцип периодичног понављања у три димензије.



Слика 2. Слагањем плочица облика правоугаоника, троугла, квадрата или шестоугла можемо прекрити целокупну површину. То је немогуће урадити уколико користимо плочице облика петоугла или седмоугла.

ОТКРИЋЕ КВАЗИКРИСТАЛА

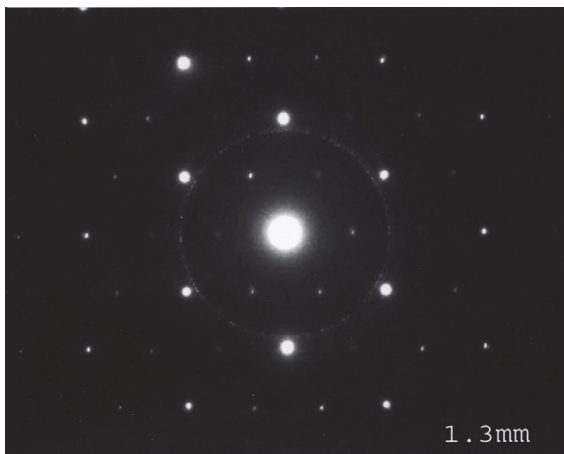
Да бисмо разумели како је дошло до открића квазикристала и зашто је то било толико изненађујуће, подсетићемо се шта је то дифракција. Ако усмеримо светлост на металну плочу са два отвора (тзв. дифракциону решетку, Слика 3), светлост ће наставити да се креће слично таласима воде који се шире од пукотине у брани.



Слика 3. Светлост се расејава пролазећи кроз дифракциону решетку. Резултујући таласи међусобно интерферирају, дајући дифракциону слику.

Са друге стране дифракционе решетке таласи светлости се шире, при чему долази до констуктивне или пак деструктивне интерференције. Услед констуктивне интерференције, када се таласи појачавају, на екрану иза решетке долази до појаве светлих линија. Супротно томе, деструктивна интерференција доводи до поништавања таласа, те се на екрану уочавају и црне површине. Свеукупно, наизменични распоред светлих и црних предела чини дифракциону слику.

Већ смо споменули да, слично видљивој светлости, долази до дифракције рендгенских зрака, електрона или неутрона на кристалима као дифракционим решеткама. У том случају дифракциона слика изгледа нешто другачије. Уместо светлих и тамних трака, дифракциону слику чине тамне тачке – дифракциони максимуми (или пак светле тачке, у зависности од обраде фотографије). Погодном орјентацијом кристала у односу на упадни сноп зрака може се добити дифракциона слика, где тачке су рапоређене по ободима замишљених концентричних кругова (Слика 4). Битно

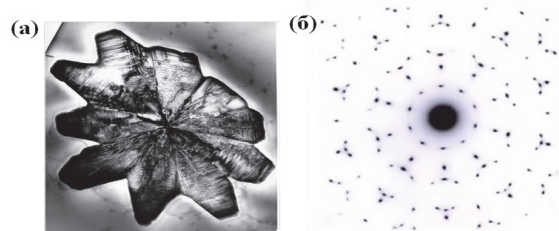


Слика 4. Дифракциона слика орјентисаног Mn-Si кристала добијена помоћу трансмисионог електронског микроскопа.

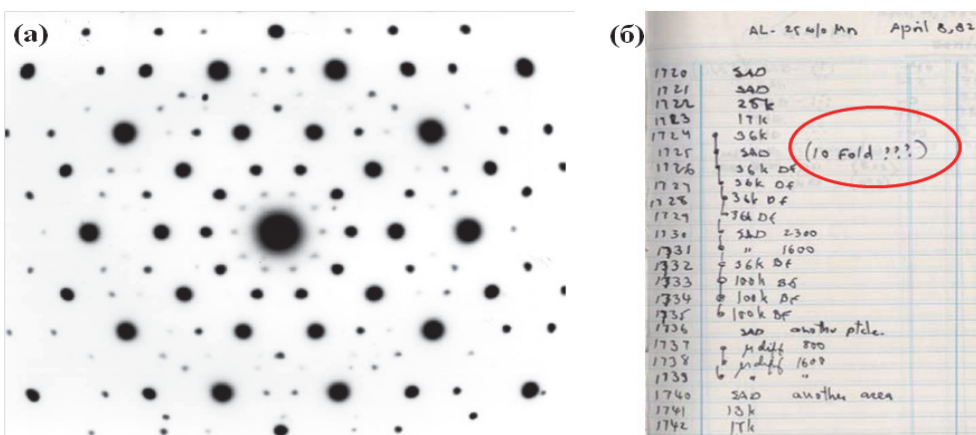
је нагласити да дифракциони максимуми показују исту ротациону симетрију коју поседује и испитивани кристал.

Априла 1982. године проф. Шехтман је проучавао легуру алуминијума и мангана помоћу електронског микроскопа. Међутим, дифракциона слика коју је добио била је потпуно неочекивана. Уочио је концентричне кругове, при чему се сваки састојао од десет, међусобно подједнако удаљених тачака (Слика 5а). Све је упућивало на то да су атоми у овој легури распоређени на такав начин који се косо са до тада познатим законима. Кристал који је испитивао показивао је „забрањену” ротациону симетрију! У својој бележници записао је коментар '10 Fold???' (Слика 5б).^[6]

Будући да се слична дифракциона слика могла добити дифракцијом са тзв. кристала близанаца^{а)} (енгл. twin crystals), као у случају интерметалног Fe-Al једињења (Слика 6), проф. Шехтман је извршио и додатна испитивања своје „чудне” легуре. Међутим, и ови експерименти су указали да се ради о потпуно новој врсти чврсте кристалне материје. Снимањем кристала у различитим орјентацијама у односу на упадни сноп електрона утврђено је да, поред осе ротације 5. реда, узорак поседује и осе ротације 2. и 3. реда. Постало је јасно да је у питању кристал икосаедарске симетрије (Слика 7).

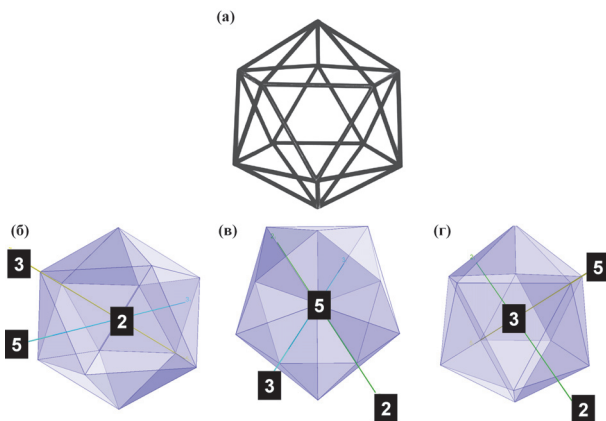


Слика 6. (а) Кристали близанци интерметалног Fe-Al једињења, (б) дифракциони снимак истог кристала добијен дифракцијом електрона.



Слика 5. (а) Дифракциона слика кристала легуре Mn-Al. (б) Бележница проф. Шехтмана.

а) Појединачни кристали који су међусобно „срасли” тако да делују као један цео кристал, али се одређеним методама може уочити граница између појединачних кристала. Дифракциона слика кристала близанаца представља суперпониране дифракционе слике појединачних, конституентних кристала.



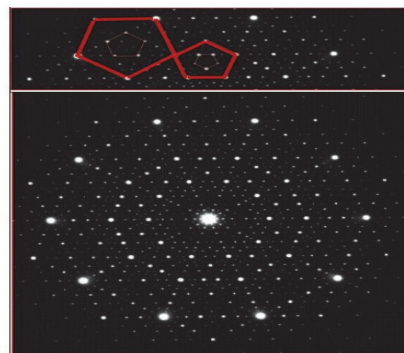
Слика 7. Икосаедар је једно од пет платонских тела (а). Састоји се од 20 једakoстраничних троуглова, а има 30 оса 2. реда које пролазе кроз средине наспрамних ивица (б), 12 оса 5. реда које пролазе кроз наспрамне рогљеве (в) и 20 оса 3. реда које пролазе кроз средине троуглова (г).

Новембра 1984. проф. Шехтман, заједно са сарадницима Блехом, Гратиасом и Каном (енгл. I. Blech, D. Gratias и J.W. Cahn), објављује своје откриће у часопису *Physical Review Letters*. Чланак је изазвао огромну пажњу научне јавности, због тога што је стављен велики знак питања на једну од фундаменталних поставки кристалографије – да се сви кристали састоје од понављајућих, периодичних шаблона. Покренуте су многобројне дебате, а Данијел Шехтман је постао *persona non grata* у већини научних кругова. Уместо похвала, наишао је на осуду својих колега. Један од највећих критичара Шехтмановог открића био је и познати хемичар, добитник две Нобелове награде, Лајнус Полинг (енгл. Linus Poling) који је рекао да квазикристали сигурно не постоје, већ да постоје само квазинаучници.^[2] С друге стране, откриће квазикристала је покренуло многе истраживачке групе. Само пар година након икосаедарских,^[7] синтетисани су и квазикристали декагоналне и пентагоналне симетрије,^[8,9] октагоналне,^[10] додекагоналне^[11] и енеагоналне симетрије.^[12] Интересантна је и чињеница да је први природни квазикристал, чија је структура решена,^[13] пронађен тек 2009. године на полуострву Камчатка у Русији. Коначни тријумф Шехтмановог фундаменталног открића је уследио 1992. године када је Интернационална унија за кристалографију је изменила дефиницију кристала. Од тада нова дефиниција гласи: *кристалом се сматра она чврста сулстанца која даје дискретну дифракциону слику, а аперидичним кристалом се сматра сваки кристал који не поседује периодичну тродимензионалну решетку.*^[14]

КРИСТАЛИ ЗЛАТНИХ ПРОПОРЦИЈА

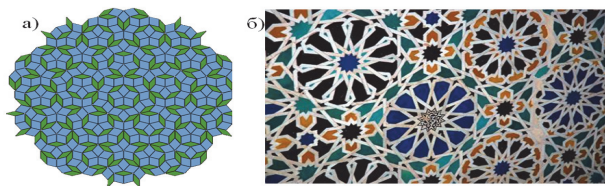
Квазикристали су чврсте супстанце које у експерименту дифракције испољавају уређеност далеког домета, али не поседују транслациону периодичност. Пр-

ви наговештаји о постојању кристала који не поседују „нормалну” периодичност јавили су се још крајем 19. века, када су откривене тзв. модулисане структуре.^[15] Код оваквих структура постоји периодична таласаста промена кристалне решетке, тј. периодична модулација. Када су период деформације и период транслације решетке основне структуре међусобно пропорционални ради се о пропорционално модулисаној структури, у супротном реч је о непропорционално модулисаној структури. За разлику од квазикристала, овакве структуре се могу разумети као дисторговано-периодичне, будићи да припадају групама симетрије тачке које су у сагласности са тродимензионалном периодичношћу. Уместо транслационе периодичности, квазикристали поседују другачије својство. Наиме, међуатомска растојања у квазикристалима прате математичко правило (Слика 8), тзв. Фибоначијев низ – сваки наредни број у овом низу представља суму претходна два броја: нпр. 1, 1, 2, 3, 5, 8, 13 итд. Ако поделите један од већих бројева Фибоначијевог низа са бројем који му претходи добија се број који је приближан тзв. златном пресеку - константи τ , који је врло добро познат у математици, али и уметности. Ипак, требало је решити још једну загонетку – на који начин се пакују атоми у структурама квазикристала? Одговор се крио у математичкој игри аперидичних мозаика.



Слика 8. На дифракционом снимку легуре Mn-Al могу се уочити правилни петоугаоници. Однос странице највећег и првог следећег петоугла једнак је τ .

Током шездесетих година прошлог века математичари су се забављали следећим: како се може направити аперидични мозаик коришћењем ограниченог броја плочица различитог облика, чији се шаблон неће транслационо понављати. Мозгалицу је први решио један Амерички математичар, али коришћењем 20 000 различитих плочица. Ипак, најелегантније решење је понудио Роџер Пенроуз (енгл. Rodger Penrose), професор математике са Оксфорда. Он је наравио аперидични мозаик коришћењем само две различите плочице, тзв. „дебелих” и „мршавих” ромбова (Слика 9а). Пенроузово поплочавање је, између осталог, омогућило анализу средњевековних исламских мозаика, попут изузетног мозаика у Алахамбра палати у Шпанији (Слика 9б).

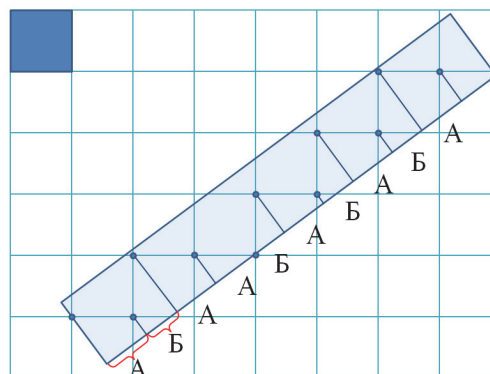


Слика 9. (а) Пенроузово поплочавање. (б) Део мозаика у Алахамбра палати у Шпанији.

Због својства да ће се било који део плочица опет појавити на предвиђеном месту, било да се ради о површини или запремини, Пенроузово поплочавање могло се искористити за моделовање тродимензионалне структуре квазикристала. То је први учинио Алан Мекеј (енгл. Alan Mackey), професор кристалографије на лондонском Брикбек колеџу. Он је конструисао модел постављајући кругове, који су представљали атоме, у пресеке на Пенрозовом мозаику. На тај начин је добио оптичку дифракциону решетку која је давала дифракциону слику идентичну оној коју је добио Шехтман. Убрзо након објављивања Шехтмановог рада, физичари Пол Стајнхарт и Дав Ливајн (енгл. Paul Steinhardt и Dov Levine) су схватили да се Мекејев теоретски дифракциони шаблон може повезати са Шехтмановом експерименталном дифракционом сликом и да у аperiодичном мозаику лежи објашњење структуре квазикристала.^[16]

Да би се анализирале структуре квазикристала потребно је да се преселимо у мултидимензионални простор, где се квазипериодичне структуре могу у потпуности описати као периодичне. Да би се такве структуре приказале у дводимензионалном простору користе се одговарајуће технике пројекције и пресека.^[15] Покушаћемо примером на Сlici 10 да објаснимо пројектовање вишедимензионалног у нижедимензионални простор. У овом примеру дводимензионални простор је представљен решетком чија је јединична ћелија осенчена. Кроз решетку је постављена трака под произвољним углом. Пројекцијом чворова решетке (кругови који се налазе на траци) на доњу ивицу траке добијамо две карактеристичне периоде А и Б, али распоређене на неправилан начин. Дакле, атоми који леже у чворовима решетке су савршено периодично распоређени у дводимензионалном простору, али дају квазипериодични распоред у једнодимензионалном простору – на линији на коју су пројектовани. На сличан начин се тродимензионални простор може пројектовати на дводимензионални. Очигледно је да се пројектовањем тродимензионалног квазикристала добија квазипериодично поплочавање.

За добијање информација о симетрији квазипериодичних структура користе се снимци добијени помоћу електронске дифракције на одабраној површини (SAED, енгл. selected area electron diffraction), док се помоћу различитих метода дифракције рендгенских зрака, неутронске дифракције и трансмисионог електронског микроскопа високе резолуције (HRTEM, енгл. high resolution transmission electron microscopy) добијају структурне информације. Постоје две методе решава-



Слика 10. Пројектовање дводимензионалног у једнодимензионални простор.

ња структуре квазикристала. Тродимензионална метода се заснива на информацијама добијеним HRTEM техником и поређењем тих информација са претпостављеним структурним моделом, док се n -димензионална анализа ($n > 3$) базира на моделовању структуре помоћу садржаја n -димензионалних јединичних ћелија.

СВОЈСТВА И УПОТРЕБА КВАЗИКРИСТАЛА

Интерметални квазикристали су обично врло чврсти, али крти материјали са неубичајено ниским вредностима коефицијента топлотне и електричне проводљивости.^[17] Мале вредности површинске енергије чини да су квазикристални материјали отпорни на корозију и адхезију, а имају и врло ниске вредности коефицијента трења.

Управо се на изразитој чврстоћи оваквих материјала заснива једна од њихових примена. У специјалној врсти челика, од кога се израђују инструменти за хирургију ока, једну од фаза чини квазикристални челик који служи као потпора другој, мекшој врсти челика. Захваљујући малој топлотној проводљивости нашли су и примену у производњи тзв. термоелектричних материјала који претварају топлотну у електричну енергију, што је битно за искоришћавање „отпадне“ топлоте која се добија нпр. у аутомобилима. Поред осталог, користе се и за прављење компоненти за LED диоде и различитих изолационих система у софистицираним уређајима.

ЗАКЉУЧНЕ НАПОМЕНЕ

Ове године навршава се 100 година од открића дифракције рендгенских зрака са кристала. Додела Нобелове награде за хемију 2011. године била је, између осталог, увертира за 2013., која је проглашена годином кристалографије. Тим поводом указала се и прилика за ову кратку причу о квазикристалима и кристалографији – важној научној дисциплини која је омогућила пут до многих значајна открића.

Уместо закључка, преносимо речи професора Шехтмана: „Главна лекција коју сам током времена научио јесте да је добар научник скроман научник, онај

који је спреман да преиспита, а не да 100 посто поверује у све оно што прочита у уџбеницима.”

Abstract

NOBEL PRIZE IN CHEMISTRY FOR 2011-DISCOVERY OF QUASICRYSTALS

Tamara TODORVIĆ and Nenad FILIPOVIĆ

The Royal Swedish Academy of Sciences has decided to award the Nobel Prize in Chemistry for 2011 to Daniel Shechtman, professor of material science at Israel Institute of Technology - Technion, Haifa "for the discovery of quasicrystals" - new form of solid materials with regular patterns that never repeat themselves. However, the configuration found in quasicrystals was considered impossible, and Daniel Shechtman had to fight a fierce battle against established science. The Nobel Prize in Chemistry 2011 has fundamentally altered how chemists conceive of solid matter.

РЕФЕРЕНЦЕ

1. Israel Academy of Science and Humanities http://www.academy.ac.il/data/persons_data/34/DshechtmanCV3.pdf
2. B. Hargittai, I. Hargittai, *Candid science V: conversations with famous scientists*, Imperial College Press, London, 2005.
3. "The Nobel Prize in Chemistry 2011 - Scientific Background". Nobelprize.org. 3 Dec 2011 http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/chemistry/laureates/2011/shechtman-lecture.html

4. P.P. Ewald (editor), *Fifty years of X-ray diffraction*, International Union of Crystallography, Utrecht, 1962.
5. International Union of Crystallography <http://www.iucr.org/people/nobel-prize>
6. "Dan Shechtman - Nobel Lecture: Quasi-periodic Materials - a Paradigm Shift in Crystallography". Nobelprize.org. 3 Dec 2011 http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/chemistry/laureates/2011/shechtman-lecture.html
7. D. Shechtman, I. Blech, D. Gratias, J.W. Cahn, *Phys. Rev. Lett.* **53** (1984) 1951.
8. L. Bendersky, *Phys. Rev. Lett.* **55** (1985) 1461.
9. P.A. Bancel, P.A. Heiney, *Phys. Rev.* **B33** (1986) 7917.
10. N. Wang, H. Chen, K.H. Kuo, *Phys. Rev. Lett.* **59** (1987) 1010.
11. T. Ishimasa, H.U. Nissen, Y. Fukano, *Phys. Rev. Lett.* **55** (1985) 511.
12. S. Fischer, A. Exner, K. Zielske, J. Perlich, S. Deloudi, W. Steurer, P. Lindner, S. Förster, *PNAS* **108** (2011) 1810.
13. L. Bindi, P.J. Steinhardt, N. Yao, P.J. Lu, *Science* **324** (2009) 1306.
14. International Union of Crystallography, *Acta Cryst.* **A48** (1992) 922.
15. Љ. Карановић, Д. Полети, *Ренџенска структурна анализа*, Завод за уџбенике и наставна средства, Београд, 2003.
16. D. Levine, R. Steinhardt, *Phys. Rev. Lett.* **53** (1984) 2477.
17. C. Janot, *Quasicrystals - A Primer*, Oxford University Press, Oxford, 1994.



Александра ЂУРИЋ, студент биохемије, Хемијски факултет, Универзитет у Београду (е-пошта: sandrabg90@gmail.com)

ХЕРОИН

Хероин је полусинтетско једињење, настао хемијском реакцијом природног алкалоида морфина и анхидрида сирћетне киселине. Историјски подаци о хероину, његовим хемијским особинама, фармаколошком дејству, лечењу и њоме како прекознајши хероинској зависника изложени су у овом чланку.

ИСТОРИЈАТ

Алкалоиди су веома разнолика група органских једињења. У хемијском смислу, то су хетероциклична једињења базног карактера, која садрже азот смештен унутар прстена. Углавном су биљног порекла и јаког физиолошког дејства, али за сваку од ових карактеристика постоје изузеци. Тако, ефедрин и мескалин садрже азот алифатичног карактера, кофеин и теобромин имају благо фармаколошко дејство, колхицин и рицинин су неутрални, а самандарин је животињског порекла. Услед разноликости хемијске структуре алкалоида, фармаколошка дејства која ове супстанце испољавају могу бити различита. Они могу бити аналгетици, локални анестетици, кардијачни или респираторни

стимуланси, констриктори крвних судова, локални анестетици, отрови, психоделици итд.^[1,2]

Најпознатији алкалоид који је дуго година био у медицинској употреби је морфин. Коришћен је као аналгетик, тј. као средство које отклања осећај бола. Шертирнер (Sertürner) је 1806. године изоловао активни принцип из опијума и назвао по Богу снова из грчке митологије. Снажно аналгетско дејство пружало је морфину широку примену у медицини.^[3] Међутим, развој толеранције, зависности и утицај на расположење били су нежељени па се наметала потреба за проналажењем аналгетика са селективнијим дејством. Тако су почеле најраније модификације обављене у 19. веку једноставним синтезама полазећи од морфина као основне сировине. Управо оваквим модификацијама 1874. године синтетисан је хероин.^[4]

Немачка фармацеутска кућа Бајер почела је да производи хероин у медицинске сврхе (Слика 1.). То је био веома уносан посао, јер га је већина лекара препоручивала као безбедан лек „чаробног“ дејства, против кашља, болова. После прве синтезе почели су тестови на животињама, које су преживеле, па су на ред дошли запослени те фирме и њихова деца. Пошто није било