



Геометризиране на езика на минералогията

В. Пенев, Н. Зидаров, Б. Зидарова

Централна лаборатория по минералогия и кристалография, БАН, 1113 София;

e-mail: vpenev@clmc.bas.bg; nzidarov@clmc.bas.bg; bzidarova@clmc.bas.bg

Преди да се заемем с представянето на основните резултати по проекта „Геометризиране на езика на минералогията” ще направим няколко предварителни общи коментари. С тях ще се опитаме да създадем поне частично смислов контекст и едновременно с това да обосновем необходимостта от решаването на този проблем. Трябва изрично да подчертаем, че този смислов контекст засега липсва както в минераложката литература, така и в частнонаучната литература изобщо. И така:

I. Според Бланше (Blanshe, 1965) развитието на всяка научна дисциплина или наука преминава през четири последователни фази: *описателна*, *индуктивна*, *дедуктивна* и *аксиоматична*. През първоначалните описателна и индуктивна фази ударението в развитието е върху натрупването на емпирични знания. През следващата, по-висша, дедуктивна фаза ударението се премества върху организирането на вече натрупаните (и продължаващи да се натрупват) емпирични знания под формата на дедуктивна теория (или комплекс от дедуктивни теории), т. е. върху построяване на такива дедуктивни формулировки на дадената научна дисциплина или наука, които се основават върху малко на брой подходящо подбрани основни положения. (в различните научни дисциплини и науки тези *основни положения* се наричат по различен начин: *принципи*, *постулати*, *аксиоми* и др.). През най-висшата аксиоматична фаза от развитието ударението е върху строгия логически анализ на построените в предния етап дедуктивни формулировки на дадената научна дисциплина или наука, с цел тяхното преформулиране в аксиоматични формулировки. Трябва изрично да отбележим, че границите между различните фази в развитието на дадена наука, респ. научна дисциплина, са доста условни. Това важи с особена сила за границата между дедуктивната и аксиоматичната фази. Също така трябва изрично да подчертаем, че основните „оръдия на труда” както през дедуктивната, така и през аксиоматичната фаза от развитието на дадена наука, са логическият анализ и математическото моделиране.

Чудесна илюстрация на горната схема са етапите, през които е преминало развитието на елементарната (евклидовата) геометрия: *описателна* и *индуктивна* фази – до Евклид (3 век пр. Н. Е.); *дедуктивна* фаза (с все по-силни *аксиоматични* елементи) – от Евклид до Лобачевски (повече от 22 века); *аксиоматична* фаза – от Лобачевски до наше време. Наистина, от историята на математиката е известно, че „Начала” на Евклид фактически организират натрупаните преди това емпирични геометрични знания във вид на логически стройна *дедуктивна теория*. Същевременно в „Основи на геометрията” на Хилбърт (появила се 23 век след Евклид) се дава вече една наистина строга аксиоматична формулировка на съществуващите преди това дедуктивни формулировки на елементарната геометрия.

Същите етапи се наблюдават и в развитието на класическата механика: индуктивна фаза – от древността до Нютон; дедуктивна фаза (с все по-силни аксиоматични елементи) – от Нютон до наше време (продължава вече повече от 3 века). Подобно е положението в почти всички физически дисциплини – те или все още се намират в индуктивната фаза от развитието си, или сравнително неотдавна (в сравнение с евклидовата геометрия) са навлезли в дедуктивната фаза.

От казаното дотук, могат да се направят следните важни изводи:

Извод 1. Не е възможно да бъдат построени дедуктивни формулировки (а още по-малко аксиоматични формулировки) на научните дисциплини без да бъде изяснена поне в общи линии тяхната логическа структура и да бъдат дефинирани логически коректно техните системи от основни понятия и отношения, както и без да бъдат построени изцяло математически и еднозначни представяния на тези понятия и отношения.

Извод 2. Процесите на построяване на дедуктивни и аксиоматични формулировки на даден научен език са изключително продължителни, като същевременно са неразривно свързани помежду си.

Извод 3. Езикът на минералогията (а следователно и

самата минералогия) засега все още се намира в края на индуктивната и началото на дедуктивната фаза в своето развитие.

II. Анализът на еволюцията на такива развити науки като геометрията и физиката позволява да бъдат разкрити основните закономерности в развитието на частнонаучното познание. Една от тях е: познанието ни за съответните групи от явления се е развивало и продължава да се развива в посока към създаване комплекс от такива аксиоматични формулировки на различните системи от логически съгласувани, непротиворечиви и истинни твърдения на съответната наука, които се характеризират с широко използване на изцяло математически пространствени представи и модели. Тази закономерност наричаме *геометризация* на даден научен език. Примери за приключил процес на геометризация са формулировките на различните геометрии, за много напреднал процес – формулировките на класическата и квантова механика, термодинамиката, електродинамиката, теорията на относителността и др., за започнал процес – преформулирането на езика на химията. Приемаме, че: горната закономерност управлява и развитието на минералогията, която подобно на химията, се намира на по-ранен еволюционен етап в сравнение с геометрията и физиката.

III. Основното „оръдие на труда“ на всяка научна дисциплина или наука е нейният език.

IV. В езика на минералогията се използват преди всичко езиците на химията и кристалографията. Същевременно процесът на геометризиране на езика на кристалографията е започнал доста отдавна и е напреднал значително. Ето защо формулирането и решаването на проблема за геометризиране на езика на минералогията се оказва в пряка зависимост от формулирането и решаването на същия проблем в химията. От друга страна, с приключване на работата по проекта „Геометризиране на основите на химията“, проблемът за геометризирането на този научен език в общи линии фактически вече е решен (Penev, 2001). Именно този факт, заедно с „Концепцията за съществуването на качествено различни еволюционни етапи в развитието на различните научни дисциплини, науки и меганауки“ (Penev, 2001), ни позволи да формулираме и обосноваем в общ вид проблема за геометризиране на езика на минералогията и да очертаем пътя за неговото решаване.

Основни резултати

Очертаване на пътя за решаване на проблема

С направените предварителни коментари формулирахме поне отчасти смислов контекст и същевременно обосновахме в общ вид необходимостта от решаването на проблема за геометризиране на езика на минералогията. Сега ще очертаем пътя за неговото решаване (Penev, Zidarov, 1999; Penev et al., 2002; Penev et al., 2004a; 2004b; Пенев и др., 2004a; 2004б).

От дефиницията на понятието геометризация е ясно,

че да бъде решен този проблем означава да бъде решена следната система от четири неразривно свързани помежду си задачи: 1) да бъде изследвана логическата структура на езика на минералогията с цел коректното формулиране на основните минераложки понятия и отношения; 2) да бъдат построени изцяло математически и еднозначни представяния на тези понятия и отношения; 3) да бъде формулирана система от логически съгласувани, непротиворечиви и истинни минераложки твърдения, която да играе ролята на аксиоматика в бъдещите аксиоматични формулировки на минералогията; 4) да бъде доказана логически истинността на тези минераложки твърдения, които не са аксиоми, т. е. тези твърдения да бъдат изведени логически от формулираните минераложки аксиоми.

Резултати от логическия анализ

I. Основа за решаването на първата задача е логически коректното дефиниране на тройката познавателни категории *структура*, *състав* и *строеж*. Те бяха дефинирани от нас чрез следната система от взаимно определящи се аксиоматични твърдения:

Определение А. С термина *структура* на даден сложен обект, намиращ се в точно определено енергетично състояние, ще означаваме *това единство от конкретен състав и конкретен строеж, с което характеризираме еднозначно този сложен обект в това енергетично състояние.*

Определение Б. С термина *състав* на даден сложен обект, намиращ се в точно определено енергетично състояние, ще означаваме *това множество от конкретни относително обособени части, с което характеризираме еднозначно този сложен обект в това енергетично състояние.*

Определение В. С термина *строеж* на даден сложен обект, намиращ се в точно определено енергетично състояние, ще означаваме *това конкретно взаимно разположение на изграждащите го относително обособени части в обикновеното тримерно физическо пространство $V_E(3)$, с което характеризираме еднозначно този сложен обект в това енергетично състояние.*

Енергетичното състояние на даден сложен обект е *конкретната стойност на вътрешната енергия* на този обект, разглеждан като *термодинамична система* (ТДС).

От логическа гледна точка тази система от определения представлява неразделна част от аксиоматиките на редица частни науки, тъй като дефинира явно, логически еднозначно, съгласувано и непротиворечиво тройката познавателни категории.

Трябва изрично да подчертаем, че така дефинирана тройката категории *структура*, *състав* и *строеж*: 1) е валидна за произволно избрани сложни обекти – физически, химически, минераложки и др.; 2) не включва абсолютно никакви изисквания за съществува-

нето на *подреденост* в тримерното физическо пространство $V_E(3)$, т. е. не съдържа никакви ограничения върху възможните взаимни разположения във $V_E(3)$ на отделните относително обособени части, изграждащи съответната структура; 3) свързана е пряко с понятието *вътрешна енергия* на обекта, разглеждан като ТДС. Поточно, структурата на всеки сложен обект зависи от конкретната стойност на неговата вътрешна енергия (т. е. от неговото конкретно енергетично състояние).

От горните коментари могат да се направят следните важни изводи:

А. Смыслът на така дефинираната тройка категории е много по-широк от смисъла, в който те са използвани досега в частните науки. Наистина, изваждането на идеята за подреденост в обикновеното физическо пространство $V_E(3)$ от смисловото съдържание на категорията структура до такава степен разширява нейния обхват, че тя става приложима за всички видове идеални и реални физически, химически, минераложки и др. обекти – както изцяло подредени, така и частично или изцяло неподредени (т. е. за всички видове твърди тела, течности, газове, плазми, атоми, елементарни и многоатомни йони, молекули и т. н.)

Б. Обвързването на смисъла на тези категории с понятието вътрешна енергия на ТДС ни позволява да интерпретираме всяка конкретна структура (физическа, химическа, минераложка и т. н.) като конкретна видима проява на точно определено количество вътрешна енергия. Освен това, от определенията се вижда, че: 1) във всяка конкретна структура общото количество вътрешна енергия винаги има два различни аспекта на проява – определена част от него винаги се проявява под формата на конкретен състав, а останалата част винаги се проявява под формата на конкретен строеж; 2) всяка структура представлява точно определено съотношение между съответните количества вътрешна енергия, „акумулирани“ под формата на конкретен състав и конкретен строеж; 3) различните видове симетрии на строежа във $V_E(3)$ могат да бъдат интерпретирани като различни форми на „акумулиране“ на съответните количества вътрешна енергия в тримерното физическо пространство $V_E(3)$; 4) при промяна на енергетичното състояние (т. е. на конкретната стойност на вътрешната енергия) се променя по точно определен начин и съответната структура, като в зависимост от промяната на количеството вътрешна енергия се променя или само строежа, или само състава, или и строежа и състава. Затова при изучаването на даден сложен обект се отделя голямо внимание на изследването на връзката между стойността на вътрешната енергия на този обект и неговата конкретна структура в съответното енергетично състояние. На свой ред от горните изводи става ясно, че във всяка структура различните видове конкретни дефекти в състава и строежа играят ролята на сложна система от взаимно свързани конкретни „шлюзове“, през които енергията може да „тече“ както отвън навътре (т. е. да

се „влива“ в дадената ТДС), така и отвътре навън (т. е. да се „излива“ от тази ТДС).

II. Като продължение на изследването на връзките между общия за всички частни науки категориален и понятиен фундамент и основите на езика на минералогията бяха „дефинирани“ логически коректно и също така категорията *веществен материален обект (вещество)*, и понятията *твърдо тяло*, *течност* и *газ*. Показано бе, че от логическа гледна точка:

- Понятието *минерал* представлява конкретизация на познавателните категории структура, вещество, обем и порядък;

- Всеки веществен материален обект (в това число всеки минерал) е химическа структура (т. е. единство от химически състав и строеж в обикновеното физическо пространство $V_E(3)$). Поради това в езика на минералогията за първи път (в сравнение с останалите научни езици) възниква необходимостта от *органично обединение* на двата основни подхода за описание на обектите – *геометричния*, използван за описване на кристалографските характеристики на минералите, и *субстанциалния*, използван за описване на химическия състав на минералите.

III. Формулирана е експлицитно и е анализирана логически *общата (познавателната) структурна парадигма*, стояща в основите на научното познание изобщо. Чрез конкретизиране на смисъла на тройката познавателни категории структура, състав и строеж от общата структурна парадигма е получена *класическата структурна парадигма*, стояща в основите на редица научни дисциплини и науки. Анализирани са логическите връзки между тези конкретни форми на класическата структурна парадигма, които стоят в основите на химията, кристалохимията и кристалографията, а следователно и в основите на минералогията. Показано е, че:

- а) От общата форма на класическата структурна парадигма, чрез добавяне на сравнително слабо логическо изискване „съставът да е химически“, се получава *химическата структурна парадигма*;
- б) От химическата структурна парадигма чрез добавяне на много по-силното логическо изискване за частична или пълна периодичност на строежа в обикновеното физическо пространство $V_E(3)$ се получава *кристалохимичната структурна парадигма*;
- в) Ако в кристалохимичната структурна парадигма се освободим от изискването „съставът да е химически“ и приемем, че ролята на състав в разглежданата структура се изпълнява просто от математически точки във $VE(3)$, получаваме *кристалографската структурна парадигма*.

Резултати от математическото моделиране

IV. Основа за решаването на втората задача за случая на *минерални структури* е идейната схема за изцяло математическо и еднозначно представяне на произволни *химически структури* (Ренев, 2001). Тази схема се основава на разработения оригинален метод за построяване

на изцяло математически и еднозначни представяния на всички видове прости химически обекти – както свободни, така и свързани (Penev, 2002). Същността на този метод накратко е следната: Различните *видове прости химически обекти* се представят математически еднозначно чрез съответното множество от точки в новодефинираните *пространство на Менделеев* $V_M(3)$ спрямо *координатната система на Менделеев* $K_M = Oz\rho\varphi$, като: точката O е начало на координатната система K_M ; z -координатите на точките отразяват броя на неутроните в представяния *вид* прости химически обекти; ρ -координатите отразяват броя на протоните; а φ -координатите се задават по следния начин $\varphi \equiv \varphi_{(n)}^t = (n - t)(2\pi/32)$, където t е *степенна на окисление* на представяния *вид прости химически обекти*, а n ($n = 1, \dots, 32$) е номера на колоната от съответната изходна 32-колонна таблична Периодична система, към която принадлежи този *вид* прости химически обекти.

Описаният по-горе метод ни позволява да представим изцяло математически и еднозначно състава на всяка химическа структура (а следователно и на всеки минерал) чрез задаване на координатите на съответното множество от точки в пространството на Менделеев $V_M(3)$, спрямо координатната система на Менделеев $K_M(3)$. От друга страна, строежът на всяка структура (химическа, минерална) – както напълно подредена, така и частично или изцяло неопределена, се представя математически еднозначно чрез задаване на координатите на съответното множество от точки в тримерното физическо пространство $V_E(3)$, спрямо произволна координатна система $K_E(3)$ в него. Следователно, за да представим изцяло математически и еднозначно произволна химическа (а следователно и минерална) структура трябва:

1. Да построим *декартовото произведение* $V_S(6) = V_M(3) \times V_E(3)$ на пространството на Менделеев $V_M(3)$ (в което се представя математически еднозначно *химическия състав*) и тримерното физическо пространство $V_E(3)$ (в което се представя математически еднозначно *строежа* на дадената *структура*). Полученото шестмерно метрично евклидово пространство $V_S(6)$ наричаме *пространство на химическите структури*.

2) Да построим във $V_S(6)$ една шестмерна *координатна система на химическите структури* $K_S(6) = (O_S; z, \rho, \varphi; u, v, w)$, която е декартово произведение $K_S(6) = K_M(3) \times K_E(3)$ на координатната система на Менделеев $K_M = (O_M; z, \rho, \varphi)$ и произволно избрана координатна система $K_E(3) = (O_E; u, v, w)$ в обикновеното физическо пространство $V_E(3)$.

Лесно се вижда, че всяка химическа (а следователно и минерална) структура – както изцяло подредена, така и частично или изцяло неопределена, се представя изцяло математически и еднозначно спрямо $K_S(6)$ във $V_S(6)$ чрез задаването на координатите ($z, \rho, \varphi; u, v, w$) на съответното множество от шестмерни точки спрямо $K_S(6)$ във $V_S(6)$. Първите три коор-

динати на точките от това множество представят еднозначно химическия състав на дадената структура спрямо $K_M(3)$ във $V_M(3)$, а вторите три координати на тези точки представят еднозначно спрямо $K_E(3)$ във $V_E(3)$ нейния строеж. С това очертахме идейната схема за изцяло математическо пространствено представяне на произволни химически (и минерални) структури, и показахме на практика, че проблемът за геометризиране на езика на минералогията е решим.

Основни геометрични резултати

V. Въз основа на дефинираните преди това (Penev, 2001) понятия *свободна химическа точка*, *свързана химическа точка* и *химически граф*, представляващи изцяло геометрични образи съответно на свободните прости химически обекти, свързаните прости химически обекти и сложните химически обекти във $V_S(6)$, бяха построени в общ вид изцяло геометрични образи на такива основни минераложки, кристалохимични и кристалографски понятия като изцяло подредена химическа структура (т. е. кристална решетка, твърдо тяло с далечен порядък), частично подредена химическа структура (т. е. течност, твърдо тяло с близък порядък), изцяло неопределена химическа структура (т. е. газ, аморфно твърдо тяло), елементарна клетка и др.

За целта бе показано, че:

- Понятията *свободна химическа точка*, *свързана химическа точка* и *химически граф* обхващат цялото многообразие от химически (в това число и минерални) обекти и поради това са достатъчни за изцяло геометричното представяне на произволно избрани съвкупности от такива обекти.

- Всеки прост химически обект може да бъде представен изцяло геометрично чрез задаването на съответната химическа точка, а всеки сложен химически (в това число и минерален) обект – чрез задаването на съответния химически граф в пространството на химическите структури $V_S(6)$.

- Структурата на всеки химически (в това число и минерален) обект се представя изцяло геометрично чрез задаването на съответния химически граф във $V_S(6)$.

- Съставът на всеки химически (в това число и минерален) обект се представя изцяло геометрично чрез задаването на множеството от върховете на съответния химически граф във $V_S(6)$, т. е. чрез задаването на съответното множество от свързани химически точки.

- Строежът на всеки химически (в това число и минерален) обект се представя изцяло геометрично чрез задаването на множеството от ребрата на съответния химически граф във $V_S(6)$.

- Ролята на *фигури* в пространството на химическите структури $V_S(6)$ играят химическите точки (както свободни, така и свързани) и химическите графи, а ролята на *преобразования (трансформации)* в това

пространство играят добре познатите геометрични преобразования в обикновеното физическо пространство $V_E(3)$ и трите вида движения \hat{E}_z , \hat{E}_p и \hat{E}_φ в пространството на Менделеев $V_M(6)$.

- Всяка изцяло подредена химическа структура (т. е. съставът и строежът на всяка кристална решетка) се представя изцяло геометрично във $V_S(6)$ чрез съответния периодичен химически граф.

- За всеки периодичен химически граф (т. е. за всяка кристална решетка) съществува такъв минимален химически граф (наречен елементарен химически граф или елементарна клетка), от който чрез съответни трансляции по трите измерения на обикновеното физическо пространство $V_E(3)$ получаваме дадения периодичен химически граф, представящ съответната изцяло подредена химическа структура.

Множеството на химическите структури съдържа подмножествата на обектите с природен и изкуствен произход. В езика на минералогията природните изцяло подредени неорганични обекти със земен произход, определен химически състав и кристален строеж се наричат минерали. Поради това, всеки периодичен химически граф, представящ изцяло геометрично съответния минерал, наричаме минерален граф. От казаното дотук става ясно, че *от геометрична гледна точка минералогията е наука за минералните графи в пространството на химическите структури $V_S(6)$ и за техните възможни преобразования.*

Интерпретация на моделите в термините на математическите функции

VI. Показано бе, че:

- Всяка химическа структура (в това число и всеки минерал) може да бъде представена изцяло математически и еднозначно в пространството на химическите структури $V_S(6)$ с помощта на съответна *еднозначна дискретна функция*, която е *дефинирана* в обикновеното физическо пространство $V_E(3)$ и *приема стойности* в пространството на Менделеев $V_M(3)$.

- Всички химически структури (в това число и всички минерали), които имат периодичен строеж могат да бъдат представени изцяло математически и еднозначно във $V_S(6)$ с помощта на съответните периодични дискретни еднозначни необратими функции.

От горните твърдения става ясно, че от гледна точка на математическия анализ:

- Както химията, така и минералогията се занимават с описването и изучаването на едно точно определено подмножество на множеството на всички възможни функции във $V_S(6)$. Това е подмножеството на тези еднозначни дискретни необратими функции, които описват различните химически и минерални структури – както изцяло подредени, така и частично или изцяло неподредени.

- *Дескриптивната минералогия* се занимава с описването и изучаването на едно точно определено подмножество от множеството на всички дискретни еднозначни и необратими функции. Това е подмножеството на периодичните дискретни еднозначни необратими функции във $V_S(6)$, които представят изцяло математически и еднозначно съответните изцяло подредени минерали.

- Класифицирането на различните минерали по същество представлява класифициране на тези периодични дискретни еднозначни необратими функции във $V_S(6)$, които имат минераложки смисъл.

Пример

В т. IV очертахме идейната схема за изцяло математическо представяне на произволни химически (в т. ч. и минерални) структури. Използването на тази идейната схема е демонстрирано върху примера на вюртцит в Таблица 1. В нея са използвани следните съкращения и символи: SCO – Simple Chemical Object (прост химически обект); SSCO – Species of Simple Chemical Objects (вид прости химически обекти); със $N_n \mathbf{g}_{N_p(k)}^h$ е означен

математическия образ спрямо $K_M(3)$ във $V_M(3)$ на съответния SSCO, получен с помощта на обобщения математически модел $\mathbf{G} = F_1(\mathbf{S}, T_2)$; в този символ с N_n е означен броя на неутроните, с N_p – броя на протоните (т. е. поредния номер в периодичната система) в ядрата на представения SSCO, с h е означена степента на окисление на представения SSCO, а k ($k=1, \dots, 32$) е номера на тази колонка в съответната изходна форма T_2 на периодичната система, към която принадлежат атомите на представения SSCO. Декартовите координати (u, v, w) спрямо $K_E(3)$ във $V_E(3)$ на простите химически обекти, изграждащи елементарната клетка на вюртцита, са взети от <http://cst-www.nrl.navy.mil/lattice/struk.xmol/b4.pos>. На свой ред, координатите (z, ρ, φ) на съответните SSCO спрямо $K_M(3)$ в пространството на Менделеев $V_M(3)$ се получават с помощта на правилата, описани по-горе в т. IV.

Изводи

От получените резултати става ясно, че:

1. Проблемата за геометризиране на езика на минералогията е решим.

2. Решаването на този проблем е от изключителна важност, тъй като ще повиши значително познавателната ефективност на езика на минералогията, т. е. на нейното основно „оръдие на труда“.

3. Цялостното решаване на този проблем е огромна по обем задача, която изисква продължителните усилия на голям брой изследователи.

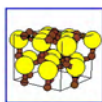


Таблица 1. Изяло математическо и еднозначно пространствено представяне на структурата на вюртцита (ZnS) в пространството на химическите структури $V_S(6)$

| Вид прости химически обекти (SSCO) | | Мат. образи на SSCO спрямо $K_M(3)$ във $V_M(3)$ | Координати (u, v, w; z, ρ, φ) на изяло математическите образи на простите химически обекти (SCO), изграждащи елементарната клетка на вюртцита, спрямо $K_S(6) = K_E(3) \times K_M(3)$ в пространството на химическите структури $V_S(6) = V_E(3) \times V_M(3)$ | | | | | |
|------------------------------------|-------|---|---|-------------|------------|----|----|------|
| Хим. символ | N_n | $N_n \begin{smallmatrix} h \\ N_p(k) \end{smallmatrix}$ | u | v | w | z | ρ | φ |
| Zn ⁺² | 34 | $^{34}_{30(26)}O_8^{+2}$ | -3.82270000 | 2.20703687 | 3.13035000 | 34 | 30 | 3π/2 |
| S ⁻² | 16 | $^{16}_{16(30)}O_8^{-2}$ | -3.82270000 | 2.20703687 | 5.47686036 | 16 | 16 | 2π |
| Zn ⁺² | 34 | $^{34}_{30(26)}O_8^{+2}$ | -3.82270000 | -2.20703687 | 0.00000000 | 34 | 30 | 3π/2 |
| Zn ⁺² | 34 | $^{34}_{30(26)}O_8^{+2}$ | -3.82270000 | -4.41407375 | 3.13035000 | 34 | 30 | 3π/2 |
| S ⁻² | 16 | $^{16}_{16(30)}O_8^{-2}$ | -3.82270000 | -2.20703687 | 2.34651036 | 16 | 16 | 2π |
| Zn ⁺² | 34 | $^{34}_{30(26)}O_8^{+2}$ | -3.82270000 | -2.20703687 | 6.26070000 | 34 | 30 | 3π/2 |
| S ⁻² | 16 | $^{16}_{16(30)}O_8^{-2}$ | -3.82270000 | -4.41407375 | 5.47686036 | 16 | 16 | 2π |
| Zn ⁺² | 34 | $^{34}_{30(26)}O_8^{+2}$ | -1.91135000 | 1.10351844 | 0.00000000 | 34 | 30 | 3π/2 |
| Zn ⁺² | 34 | $^{34}_{30(26)}O_8^{+2}$ | -1.91135000 | -1.10351844 | 3.13035000 | 34 | 30 | 3π/2 |
| S ⁻² | 16 | $^{16}_{16(30)}O_8^{-2}$ | -1.91135000 | 1.10351844 | 2.34651036 | 16 | 16 | 2π |
| Zn ⁺² | 34 | $^{34}_{30(26)}O_8^{+2}$ | -1.91135000 | 1.10351844 | 6.26070000 | 34 | 30 | 3π/2 |
| S ⁻² | 16 | $^{16}_{16(30)}O_8^{-2}$ | -1.91135000 | -1.10351844 | 5.47686036 | 16 | 16 | 2π |
| Zn ⁺² | 34 | $^{34}_{30(26)}O_8^{+2}$ | 0.00000000 | 2.20703687 | 3.13035000 | 34 | 30 | 3π/2 |
| S ⁻² | 16 | $^{16}_{16(30)}O_8^{-2}$ | 0.00000000 | 2.20703687 | 5.47686036 | 16 | 16 | 2π |
| Zn ⁺² | 34 | $^{34}_{30(26)}O_8^{+2}$ | -1.91135000 | -5.51759218 | 0.00000000 | 34 | 30 | 3π/2 |
| S ⁻² | 16 | $^{16}_{16(30)}O_8^{-2}$ | -1.91135000 | -5.51759218 | 2.34651036 | 16 | 16 | 2π |
| Zn ⁺² | 34 | $^{34}_{30(26)}O_8^{+2}$ | -1.91135000 | -5.51759218 | 6.26070000 | 34 | 30 | 3π/2 |
| Zn ⁺² | 34 | $^{34}_{30(26)}O_8^{+2}$ | 0.00000000 | -2.20703687 | 0.00000000 | 34 | 30 | 3π/2 |
| Zn ⁺² | 34 | $^{34}_{30(26)}O_8^{+2}$ | 0.00000000 | -4.41407375 | 3.13035000 | 34 | 30 | 3π/2 |
| S ⁻² | 16 | $^{16}_{16(30)}O_8^{-2}$ | 0.00000000 | -2.20703687 | 2.34651036 | 16 | 16 | 2π |
| Zn ⁺² | 34 | $^{34}_{30(26)}O_8^{+2}$ | 0.00000000 | -2.20703687 | 6.26070000 | 34 | 30 | 3π/2 |
| S ⁻² | 16 | $^{16}_{16(30)}O_8^{-2}$ | 0.00000000 | -4.41407375 | 5.47686036 | 16 | 16 | 2π |
| Zn ⁺² | 34 | $^{34}_{30(26)}O_8^{+2}$ | 1.91135000 | 1.10351844 | 0.00000000 | 34 | 30 | 3π/2 |
| Zn ⁺² | 34 | $^{34}_{30(26)}O_8^{+2}$ | 1.91135000 | -1.10351844 | 3.13035000 | 34 | 30 | 3π/2 |
| S ⁻² | 16 | $^{16}_{16(30)}O_8^{-2}$ | 1.91135000 | 1.10351844 | 2.34651036 | 16 | 16 | 2π |
| Zn ⁺² | 34 | $^{34}_{30(26)}O_8^{+2}$ | 1.91135000 | 1.10351844 | 6.26070000 | 34 | 30 | 3π/2 |
| S ⁻² | 16 | $^{16}_{16(30)}O_8^{-2}$ | 1.91135000 | -1.10351844 | 5.47686036 | 16 | 16 | 2π |
| Zn ⁺² | 34 | $^{34}_{30(26)}O_8^{+2}$ | 3.82270000 | 2.20703687 | 3.13035000 | 34 | 30 | 3π/2 |
| S ⁻² | 16 | $^{16}_{16(30)}O_8^{-2}$ | 3.82270000 | 2.20703687 | 5.47686036 | 16 | 16 | 2π |
| Zn ⁺² | 34 | $^{34}_{30(26)}O_8^{+2}$ | 1.91135000 | -5.51759218 | 0.00000000 | 34 | 30 | 3π/2 |
| S ⁻² | 16 | $^{16}_{16(30)}O_8^{-2}$ | 1.91135000 | -5.51759218 | 2.34651036 | 16 | 16 | 2π |
| Zn ⁺² | 34 | $^{34}_{30(26)}O_8^{+2}$ | 1.91135000 | -5.51759218 | 6.26070000 | 34 | 30 | 3π/2 |
| Zn ⁺² | 34 | $^{34}_{30(26)}O_8^{+2}$ | 3.82270000 | -2.20703687 | 0.00000000 | 34 | 30 | 3π/2 |
| Zn ⁺² | 34 | $^{34}_{30(26)}O_8^{+2}$ | 3.82270000 | -4.41407375 | 3.13035000 | 34 | 30 | 3π/2 |
| S ⁻² | 16 | $^{16}_{16(30)}O_8^{-2}$ | 3.82270000 | -2.20703687 | 2.34651036 | 16 | 16 | 2π |
| Zn ⁺² | 34 | $^{34}_{30(26)}O_8^{+2}$ | 3.82270000 | -2.20703876 | 6.26070000 | 34 | 30 | 3π/2 |
| S ⁻² | 16 | $^{16}_{16(30)}O_8^{-2}$ | 3.82270000 | -4.41407375 | 5.47686036 | 16 | 16 | 2π |

Литература

- Blanshe, R. 1965. *L'axiomatique*. Paris, Press universitaires de France.
- Penev, V. 2002. „*Geometrization of the language of chemistry*”, official site of the scientific research project - http://www.clmc.bas.bg/staff/V_Penev/gcl/
- Penev, V., N. Zidarov. 1999. Geometrization of the language of mineralogy. - In: Proc. of the *II Inter. Mineralogical Seminar „History and Philosophy of Mineralogy”*, October, 4-8, Syktyvkar, Russia , 26-29.
- Penev, V., N. Zidarov, B. Zidarova. 2002. Geometrization of the language of mineralogy: I. Formulation of the problem and outlining the way of its solution. - *Compt. rend. Acad. bulg. Sci.*, 55, 5, 47-50.
- Penev, V., N. Zidarov, B. Zidarova. 2004a. Geometrization of the language of mineralogy: II. Formulation and logical analysis of the structural paradigm underlie the mineralogy. - *Compt. rend. Acad. bulg. Sci.*, 57, 7, 59-64
- Penev, V., N. Zidarov, B. Zidarova. 2004b. Geometrization of the language of mineralogy: III. Entirely mathematical and unique coordinate representation of mineral structures. - *Compt. rend. Acad. bulg. Sci.*, 57, 7, 65-70
- Пенев, В., Н. Зидаров, Б. Зидарова. 2004. Геометризирането на езика на минералогията – предстоящ качествено нов етап в неговата еволюция. - „*МИНЕРОГЕНЕЗИС - 2004*”, Научна сесия в чест на 90-годишния юбилей на акад. Иван Костов, СУ „Св. Кл. Охридски”, София, януари 22-23 , 50-51.
- Пенев, В., Н. Зидаров, Б. Зидарова. 2004. Логически анализ и математическо формализиране на основите на езика на минералогията – предпоставка за неговото геометризиране. - *Год. на СУ „Св. Кл. Охридски”*, ГГФ, кн. 1-геология, 97, 85-96.