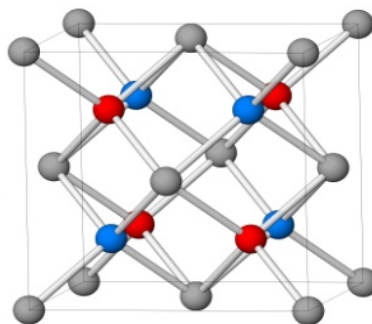
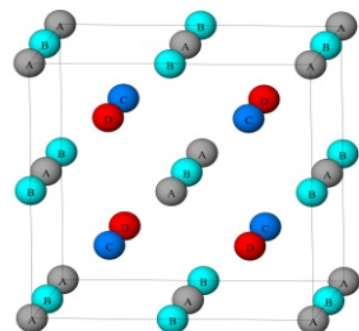
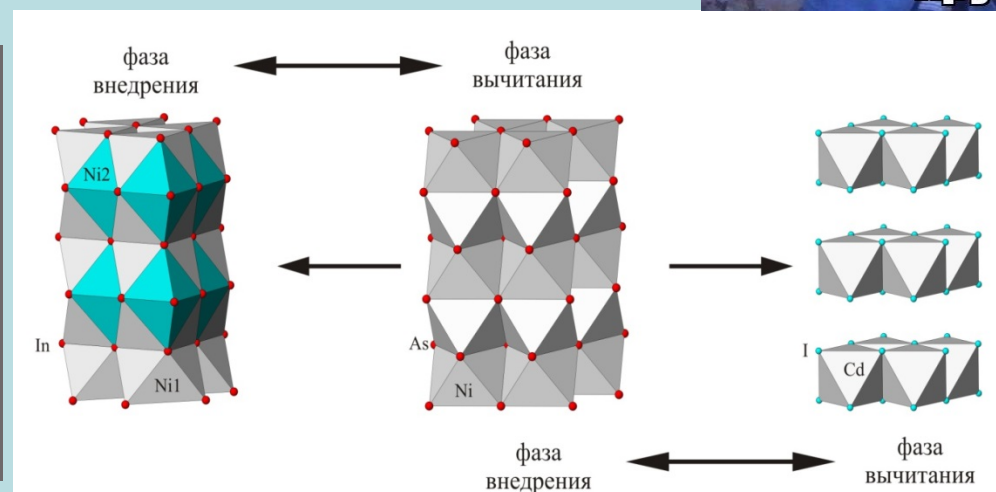
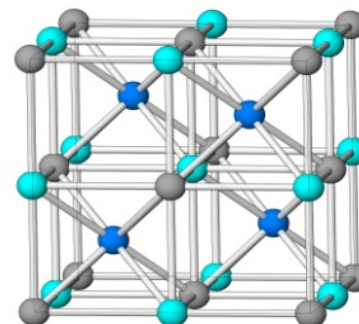


ЛЕКЦИЯ 5

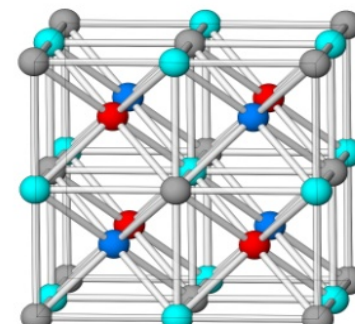
Структурная гомология. Часть 1



$\frac{3}{4}$
A, C, D



$\frac{3}{4}$
A, B, C



$\frac{4}{4}$
A, B, C, D

Гомология, как известно, занимает важное место в биологии, химии, математике и других науках. В кристаллографию это понятие ввел итальянский ученый К. М. Виола (1904) и развил Е. С. Федоров в 1907 г. при рассмотрении генеалогии различных кристаллических структур в результате деформации исходных кубической или гексагональной структур.

В кристаллохимии к представлениям о гомологии также обращались неоднократно (Е. С. Макаров, 1947; А. Магнели, 1953; В. Пирсон, 1957; П. И. Крипьякевич, 1963; И. Лима-де-Фариа, 1969; и многие другие).

- *Структурная гомология* - существование гомологических рядов кристаллических структур (структурных типов), связанных между собой промежуточными членами ряда.

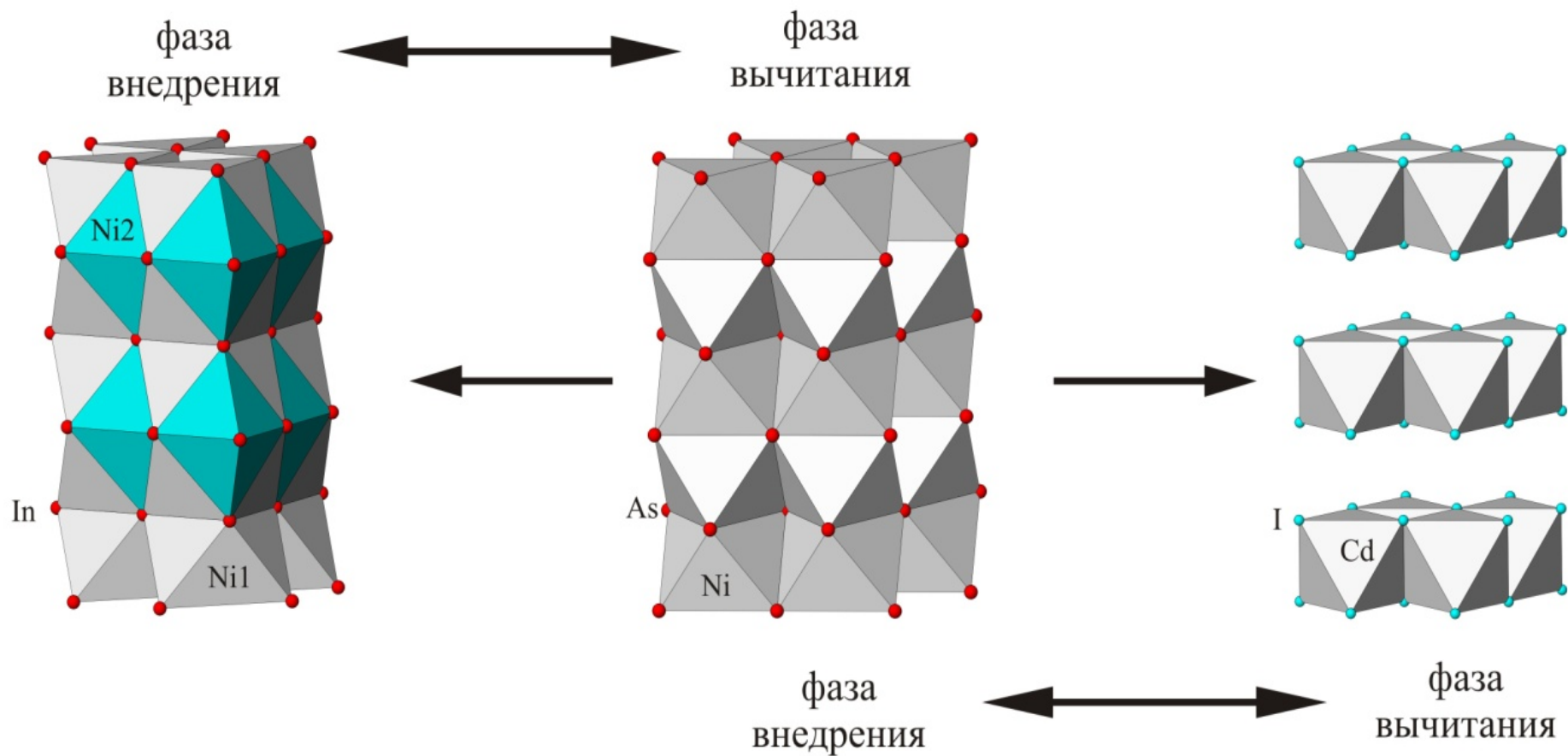
1. Гомологические ряды структур вычитания и внедрения

Понятие структурной гомологии подразумевает родственность кристаллического строения некоторого ряда соединений, отдельные члены которого связаны друг с другом промежуточными переходными формами. Одним из механизмов образования такого постепенного гомологического ряда является внедрение атомов в вакантные позиции кристаллической структуры с образованием структур внедрения (и вычитания)

Фазы вычитания и внедрения (дефектные и заполненные структуры)

Существует родственность структур в ряду CdI_2 - NiAs - Ni_2In . Характер расположения и число атомов в элементарной ячейке, стоящих на втором месте в формулах этих соединений, одинаковы: они образуют гексагональную плотнейшую упаковку.

Если рассматривать структуру NiAs как основную (исходную), то структуру типа Ni_2In можно считать «заполненной», или *фазой внедрения*, по отношению к ней, а структуру типа CdI_2 «дефектной» структурой, или *фазой вычитания*.



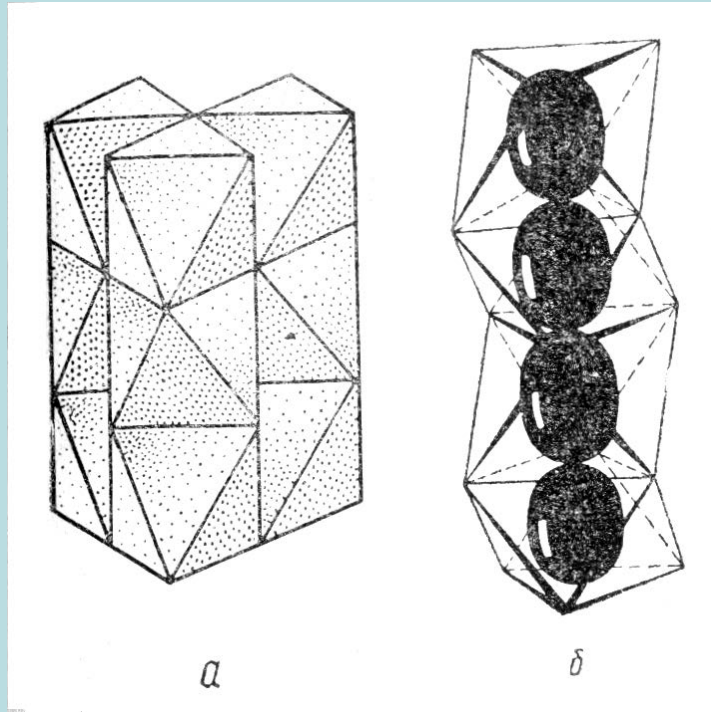
Гомологические связи вычитания-внедрения в ряду структурных
ТИПОВ



Оказывается возможным *непрерывный переход*
от структуры типа CdI_2 к структуре типа Ni_2In
через структуру типа NiAs в системах:
 Ni-Te , Ni-Sb , Ni-Sn и Ni-In
при переменном соотношении количеств
КОМПОНЕНТОВ.

Фазы вычитания и внедрения (дефектные и заполненные структуры)

Дефектные и заполненные структуры часто образуют гомологические серии на основе некоторой исходной структуры. Так, пирротины с общей формулой Fe_{1-x}S являются дефектными производными структуры типа никелина NiAs - троилита FeS



Фазы вычитания и внедрения (дефектные и заполненные структуры)

Тут необходимо заметить, что **троилит** – бездефектный сульфид железа FeS обнаружен исключительно в метеоритном веществе и нестабилен в окислительно-восстановительных условиях Земной поверхности. Поэтому земной **пирротин** Fe_{1-x}S всегда содержит железо в частично окисленном состоянии, его средняя валентность становится больше 2, что и приводит к образованию катионных вакансий для соблюдения баланса зарядов. Очевидно, что чем выше окислительный потенциал среды, в которой происходит рост кристаллов пирротина, тем больше отклонение формулы пирротина от стехиометрического троилита.

Фазы вычитания и внедрения (дефектные и заполненные структуры)

В этом гомологическом ряду можно выделить целый ряд промежуточных относительно устойчивых фаз с постепенным понижением симметрии относительно исходного прототипа.

Фазы

$\text{Fe}_{10}\text{S}_{11}$ (91 % октаэдров заполнено),

Fe_9S_{10} (90% октаэдров заполнено) - *гексагональные*,

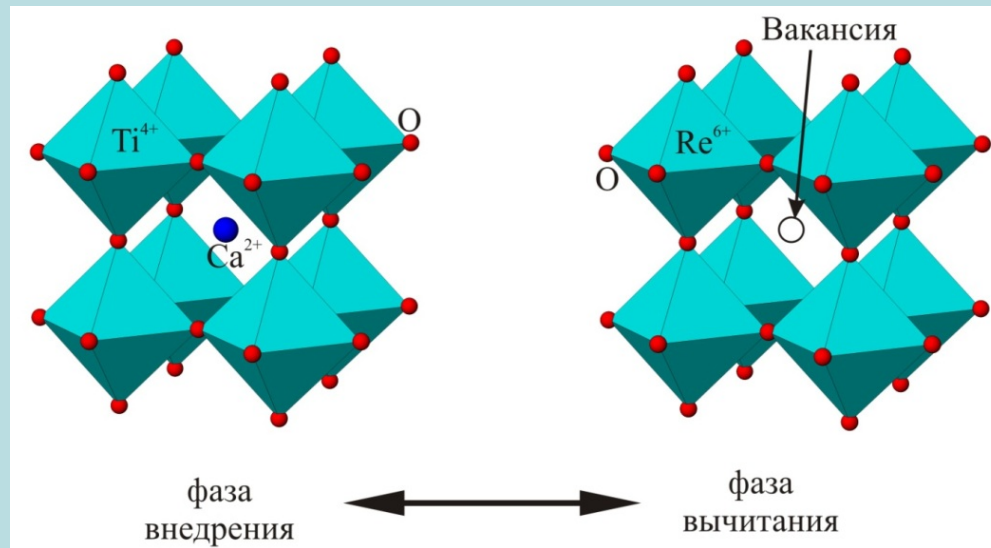
а *клинопирротин*

Fe_7S_8 (88 % октаэдров заполнено)

является *моноклинным* искажением структуры троилита.

Фазы вычитания и внедрения (дефектные и заполненные структуры)

Ряд заполненных структур приводит от структуры типа ReO_3 к структуре типа перовскита в случае натрий (калий, цезий)-вольфрамовых бронз.



Структура WO_3 (тип ReO_3) геометрически подобна структуре CaTiO_3 (связанные вершинами октаэдры), но позиции крупного катиона в ней вакантны. В них и внедряются атомы Na, и при составе NaWO_3 структура становится перовскитоподобной ($\text{W}^{\text{VI}} \rightarrow \text{W}^{\text{V}}$, вольфрам переходит в пятивалентную форму)

Фазы вычитания и внедрения (дефектные и заполненные структуры)

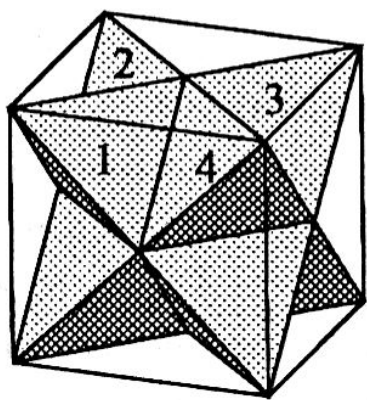
Чрезвычайно характерны такие фазы для оксидов редкоземельных элементов с о структурой **флюорита**.

Кристаллические структуры некоторых оксидов 4-валентных лантаноидов (например, **PrO₂**) кристаллизуются в структурном типе флюорита.

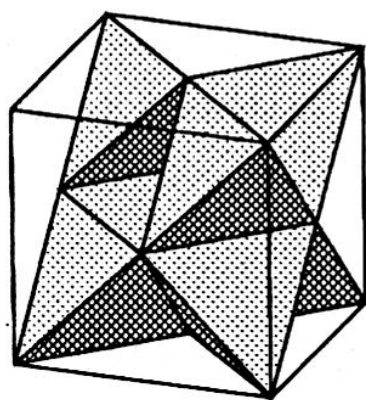
В случае переменной валентности катиона возникают катиона возникают гомологические ряды оксидов REE с общей формулой A_nO_{2n-m} ($n=7-8$, $M=1-8$) структуры со сложным распределением кислородных вакансий.

Фазы вычитания и внедрения (дефектные и заполненные структуры)

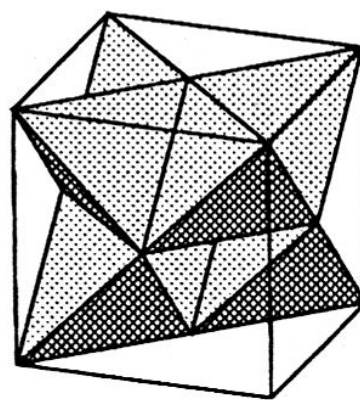
Для описания таких структур Кангом и Эрингом был предложен элегантный метод, основанный на использовании флюоритовых модулей с различным количеством вакансий. Структура флюорита в анион-центрированном аспекте представляет собой плотный каркас из тетраэдров, соединяющихся по ребрам.



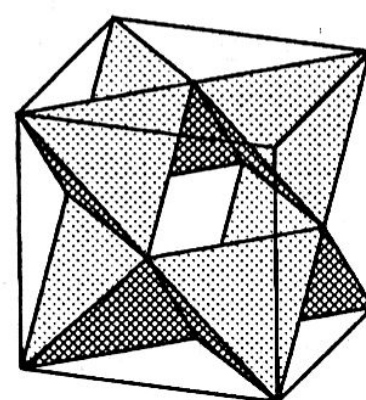
F



U¹



D₄



W₂⁴

2. Структурный прототип и его производные

1) Усложнение
состава

2) Упорядочение
состава

3) Усложнение
структуры

2. Структурный прототип

Усложнение прототипа может происходить за счет замены части атомов одной правильной системы на атомы другого химического элемента (усложнение состава).

2. Производные структуры», «вырожденные структуры

Пришли веселые
ГНОМЫ

Добрые гномы
делают структуры
производными



Понятие производных и вырожденных структур

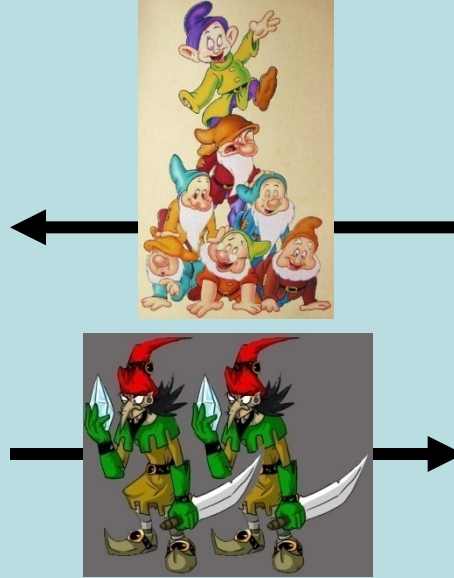
Пришли злые гномы



Злые гномы делают
структуры
вырожденными

Понятие производных и вырожденных структур

Сфалерит



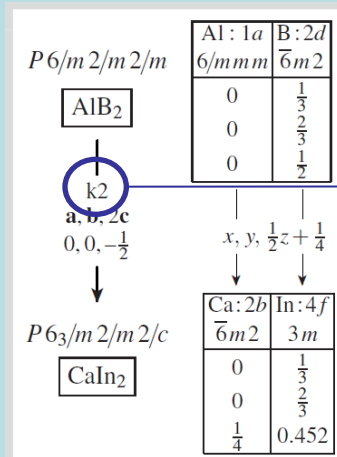
Алмаз!

структура типа **алмаза** - ZnS (**сфалерит**) - CuFeS_2 (**халькопирит**) - $\text{Cu}_2\text{FeSnS}_4$ (**станнин**).

Симметрия в этом ряду понижается от кубической (алмаз, сфалерит) до тетрагональной.

Понятие производных и вырожденных Деревья Бернигаузена

Схема взаимосвязи группа-подгруппа между структурами



t-Translationnengleiche

(трансляции равны, подгруппы относятся к более низкосимметричному классу)

k-klassengleiche

(“одноклассники”, относятся к одному и тому же классу, однако у подгруппы может быть примитивная решетка большего размера)

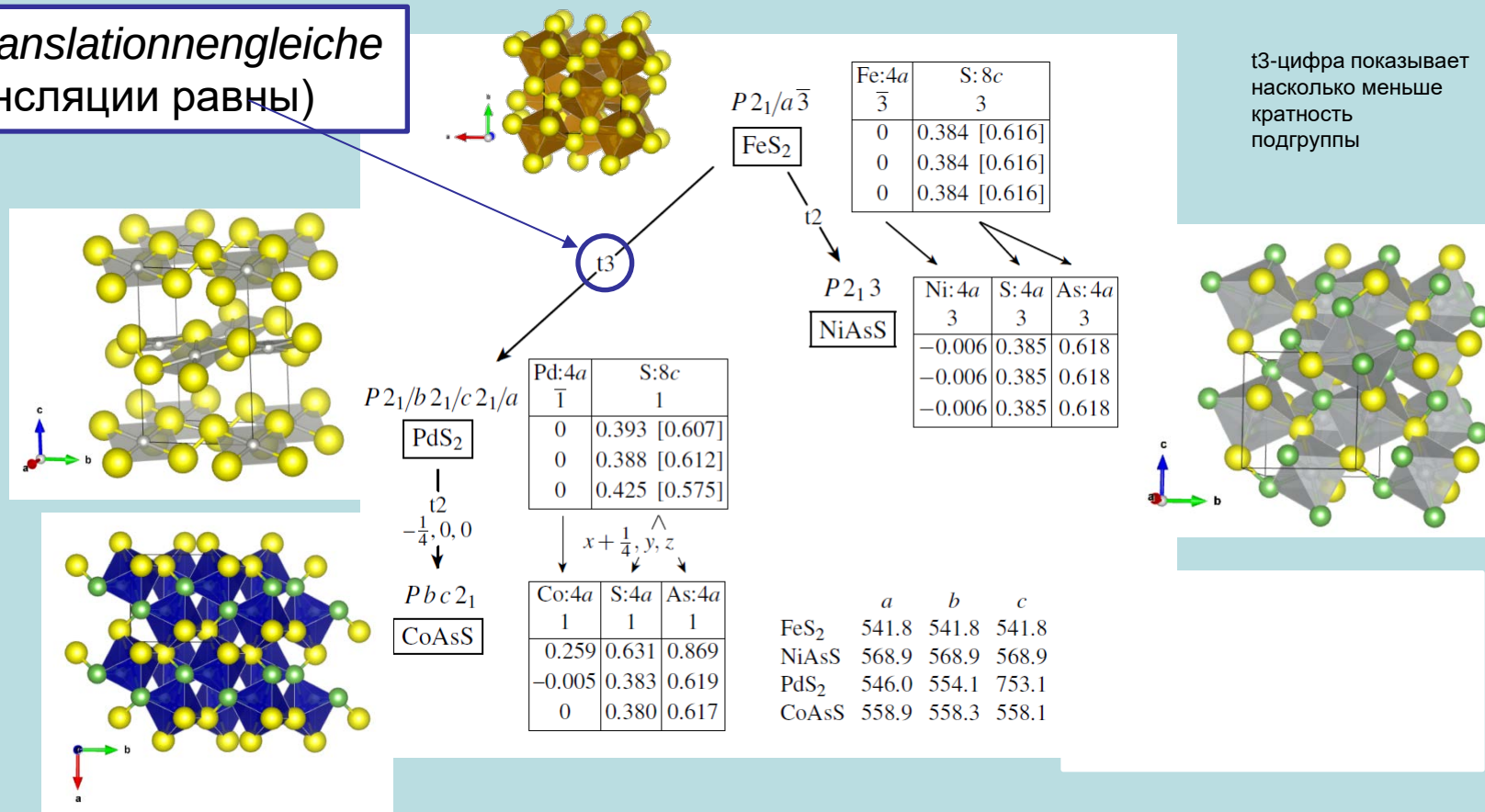
i-isomorphic

(изоморфные или энантиоморфные, однако у подгруппы может быть примитивная решетка большего размера)

Пространственные группы структур являются максимальными подгруппами группы самой высокосимметричной структуры, параметры ячеек практически совпадают

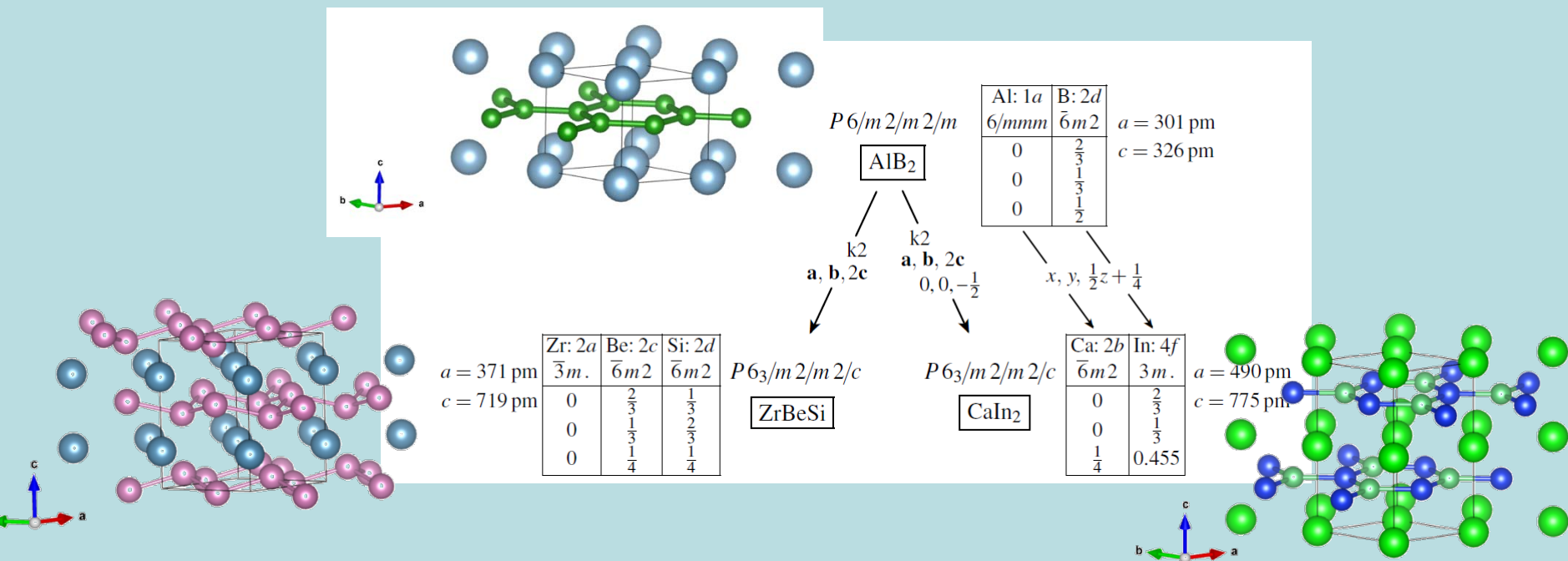
Схема группа-подгруппа для семейства структур пирита

t - Translationengleiche
(трансляции равны)



k-klassengleiche

(“одноклассники”, относятся к одному и тому же классу, однако у подгруппы может быть примитивная решетка большего размера)

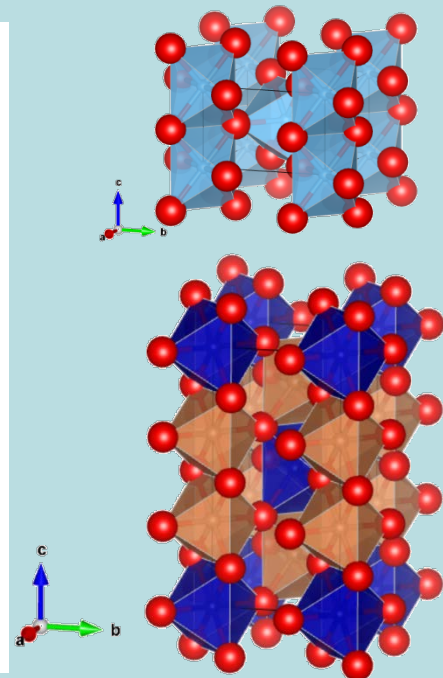
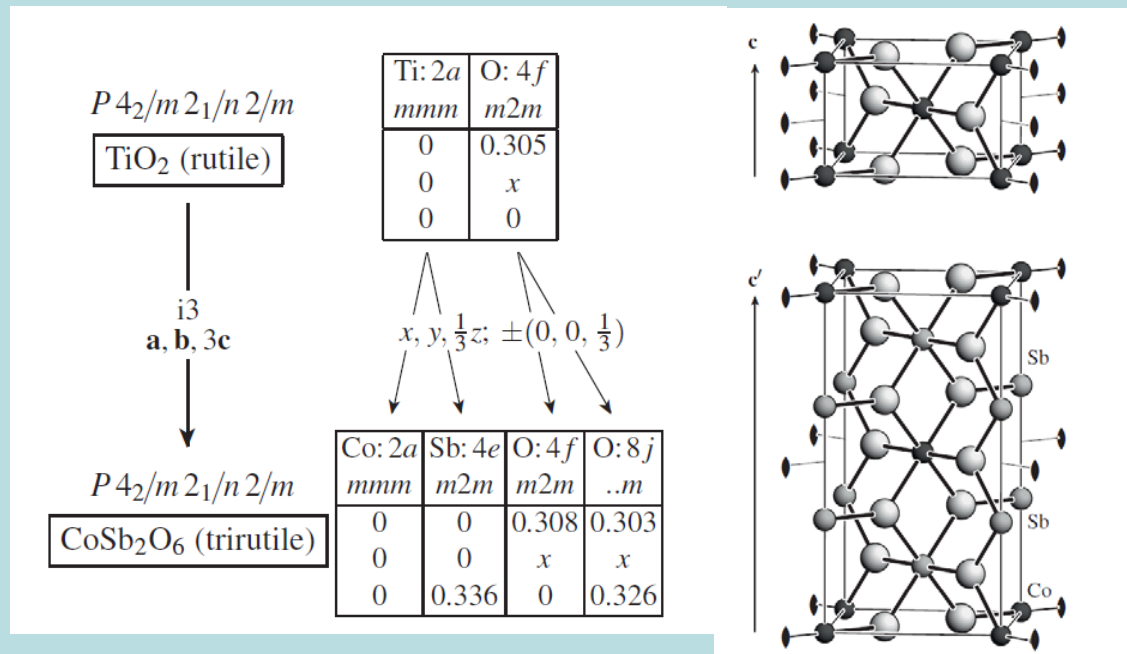


i-isomorphic

(изоморфные или энантиоморфные, однако у подгруппы может быть примитивная решетка большего размера)

Максимальная подгруппа является изоморфной

Схема группа-подгруппа для рутила (TiO_2) и **трирутила** (CoSb_2O_6)



*дирутил не может существовать, параметр можно увеличить минимально в 3 раза чтобы сохранилась та же группа симметрии

Fd-3m

F-43m

I-42d

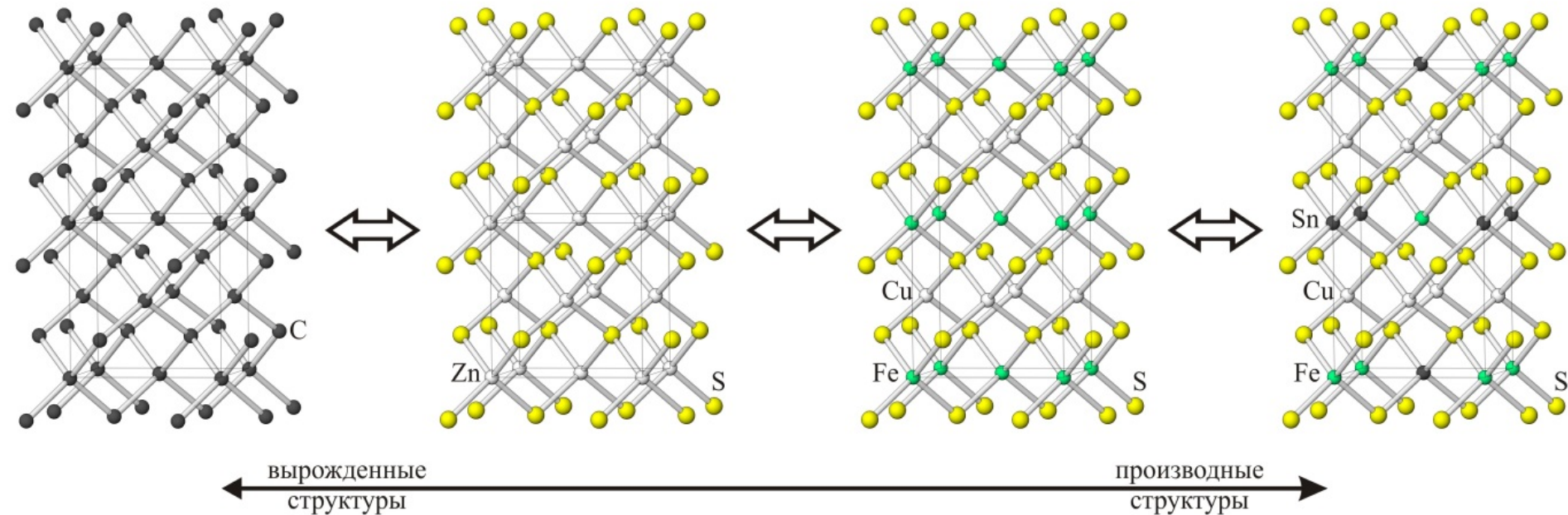
I-42m

алмаз C

сфалерит ZnS

халькопирит CuFeS₂

станнин Cu₂FeSnS₄

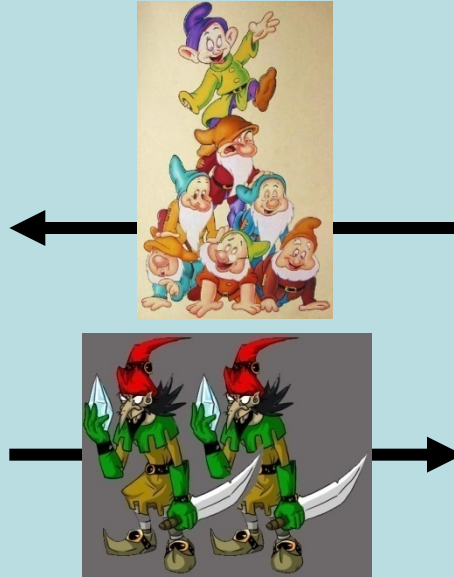


Ряд производных структур, имеющих в качестве прототипа структуру алмаза

Понятие производных и вырожденных структур

Вюртцит

Лонсдейлит



Структура типа **лонсдейлита** - ZnS (**вюртцит**) - CuFe_2S_3 (**кубанит**)
Симметрия понижается от гексагональной у лонсдейлита до ромбической у кубанита. 1 правильная система точек, занятая углеродом в исходных структурах алмаза и лонсдейлита, расщепляется сначала на 2 (в сфалерите и вюртците), затем на 3 (в халькопирите и кубаните).

Лонсдейлит

Dame *Kathleen Lonsdale* (1903-1971)

- In 1945 she became the first woman elected to the Royal Society of London,
- in 1956 she was created Dame of the British Empire



Коллега по образованию



- Премьер-министр Великобритании в 1979—1990 годах.
- Баронесса с 1992 года.
- Первая женщина, ставшая премьер-министром европейского государства
- **Ярая антисоветчица**
- Кристаллограф по образованию

Margaret Hilda Thatcher
(1925-2013)

Еще коллега и подруга предыдущей



- Лауреат Нобелевской премии по химии (1964) («за определение с помощью рентгеновских лучей структур биологически активных веществ»).
- Член Лондонского королевского общества
- Иностранный член Академии наук СССР.
- Первооткрыватель структур инсулина, пенициллина и витамина В12, соавтор структурных расшифровок морфина и антибиотика ферровердина.
- Она ездила в Китай и Вьетнам, была принята Хо Ши Мином и Мао Цзэдуном, поддерживала научные связи с китайскими учеными.
- Принимала активное участие в движении за ядерное разоружение,
- Была награждена орденом Ленина.

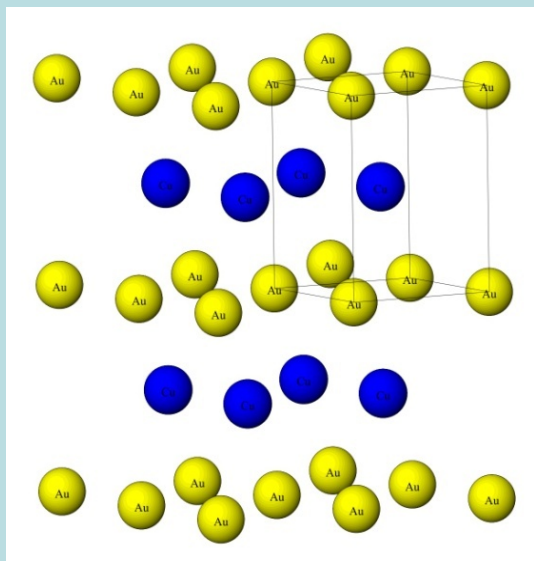
Dorothy Mary Crowfoot Hodgkin
(1910-1994)

Упорядочение. Сверхструктуры

Если состав фазы с производной структурой тот же, что и у исходной, то такой переход от прототипа к производной структуре принято называть образованием *сверхструктуры*.

Сверхструктуры

Он сводится к упорядочению атомов в структуре твердого раствора. Классическим примером является полиморфный переход ниже критической точки в 408° С сплава (Cu,Au) со случайным размещением Cu и Au по узлам гранецентрированной кубической ячейки с соотношением атомов 1:1 в сверхструктуру тетрагональной симметрии с послойным чередованием атомов обоих сортов



Послойное упорядочение атомов в твердом растворе (Cu,Au) как пример образования сверхструктуры **CuAu**. Выделена тетрагональная ячейка упорядоченной структуры.

Сверхструктуры

Другой, хорошо известный в минералогии пример - упорядочение атомов Al и Si в структуре калиевого полевого шпата с переходом от моноклинного **санидина** к триклинному **микроклину** через структуру **ортоклаза** с промежуточной степенью упорядочения.

Геоспидометрия

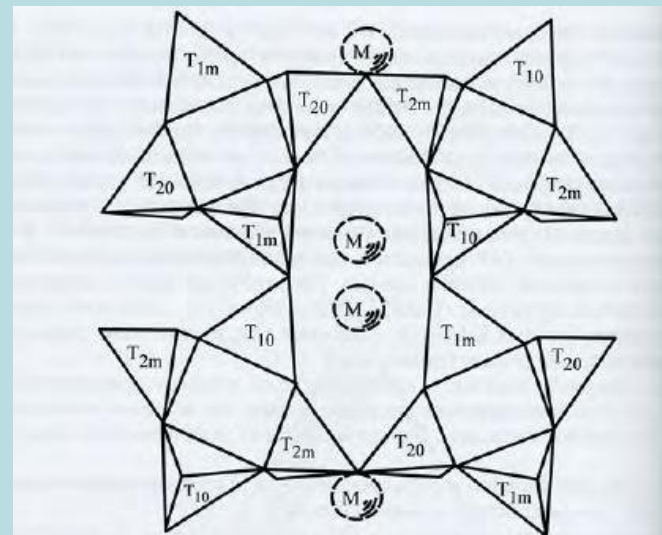


Рис. 1.87. Структура триклинного полевого шпата в проекции на кристаллографическую плоскость (201), показывающая четыре типа кремне-алюмоокислородных тетраэдров, по которым возможно упорядочение Si и Al. X – катионы K, Na и Ca.

2. Структурный прототип

Усложнение прототипа может происходить путем изменений метрических характеристик структуры (смещением атомов из частных позиций, искажением параметров ячейки).

Так, моноклинная структура CrS , ромбические структуры MnP и NiP являются результатом той или иной деформации прототипной гексагональной структуры никелина NiAs .

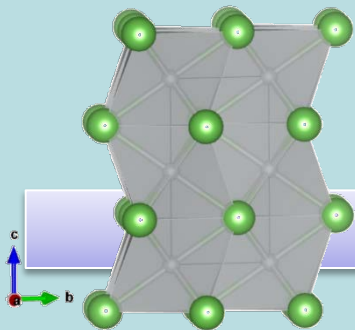
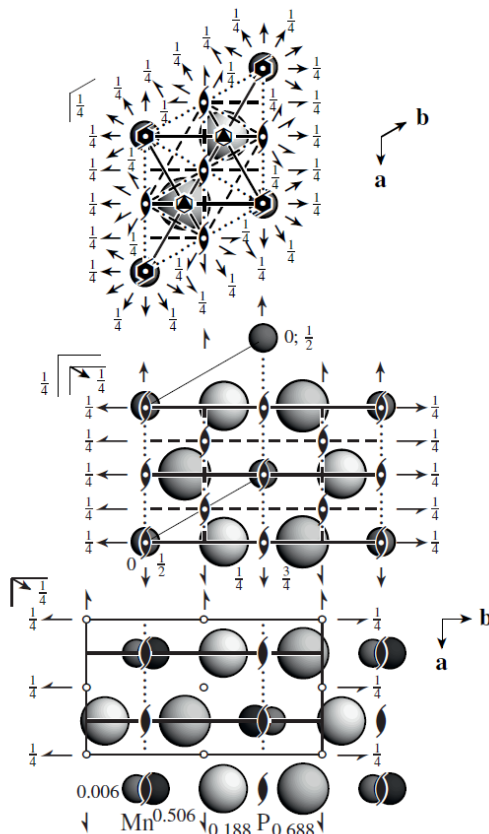
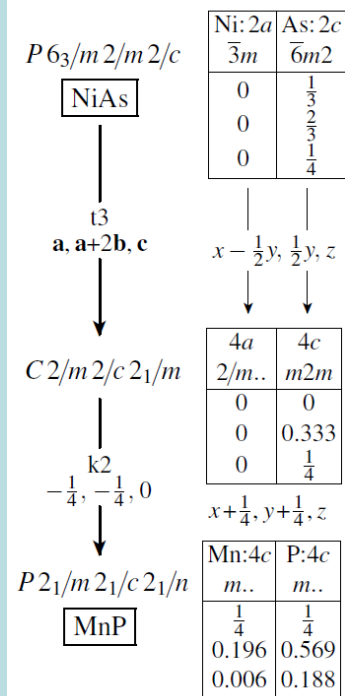
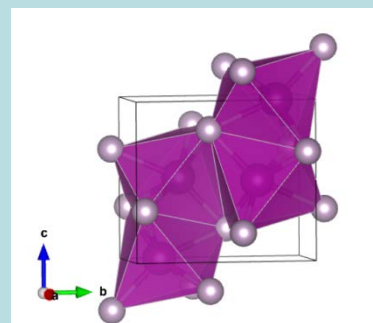


Схема группа-подгруппа NiAs и MnP



Переход от NiAs к **MnP** происходит в 2 шага:

- 1) Гексагональная ячейка представляется в ромбическом аспекте с центрированной решеткой
- 2) Переход от центрированной решетки в 2 раза большего объема к примитивной (*klassengleiche*)



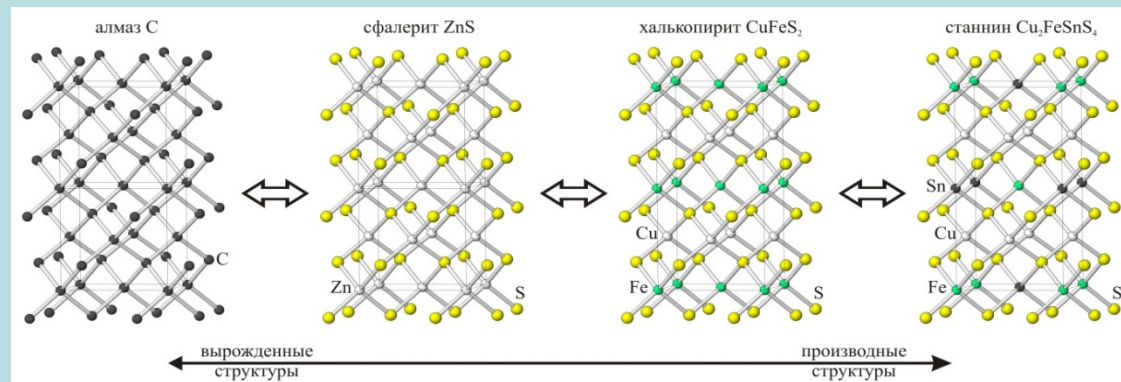
2. Структурный прототип

Структура SnS является ромбически, а SnSe - ромбоэдрически искаженными формами структуры типа NaCl и т. д.

Похожая ситуация наблюдается в моноклинном арсенопирите FeAsS , прототипом которого является марказит.

Такие «почти симметричные» относительно некоторой исходной группы симметрии структуры называют *псевдосимметричными*.

Более точное количественное определение псевдосимметрии кристаллических структур можно дать, если рассматривать кристалл не как набор точек, а как непрерывную *функцию распределения электронной плотности в кристалле*



Если рассмотреть с этих позиций ряд производных структур, изображенных на рис. то можно сказать, что значительная часть структуры халькопирита инвариантна (неизменна) относительно переноса на вектор, равный половине ребра элементарной ячейки. Кроме того, значительная часть функции $\rho(\vec{r})$ инвариантна относительно переноса и на вектор $0\ 0\ 0 \rightarrow \frac{1}{2}\ \frac{1}{2}\ 0$, который для структуры сфалерита был бы «чистой» F-трансляцией. Количественное определение параметров псевдосимметричности возможно как на основании анализа функции $\rho(\vec{r})$, так и на простейших точечных моделях атомной структуры.

В этом случае мерой псевдосимметричности служит величина, определяемая отклонением отдельных точек-атомов от некоторых симметричных позиций. Алгоритм, основанный на таком анализе атомных смещений реализован в программе **PSEUDO**, которая является частью кристаллографического сервера Бильбао <http://www.cryst.ehu.es/>. Для более точного определения меры псевдосимметричности с учетом функции $\rho(\vec{r})$ используются функционалы $\eta(\rho(\vec{r}))$, подробно описанные в работах [Чупрунов и др. 1988; Чупрунов, 2015]. Описанный подход реализован в программе **PSEUDOSYMMETRY** [Сомов и Чупрунов, 2014].

Чупрунов Евгений Владимирович



(род. 10 марта 1951, — российский физик, ректор Нижегородского государственного университета имени Н. И. Лобачевского с 2008 по 2019 годы. С 2019 года — научный руководитель ННГУ.

В 1979 году защитил кандидатскую, в 1991 году — докторскую диссертацию на тему «Симметрия, особенности физических свойств и методы расшифровки атомных структур псевдосимметричных кристаллов».

Член международного союза кристаллографов.

Состоит в секции «Образование и структура кристаллов» Научного Совета РАН по Физике Конденсированных Сред.

Симметрия и
псевдосимметрия
кристаллов

Чупрунов Евгений Владимирович
2015 год

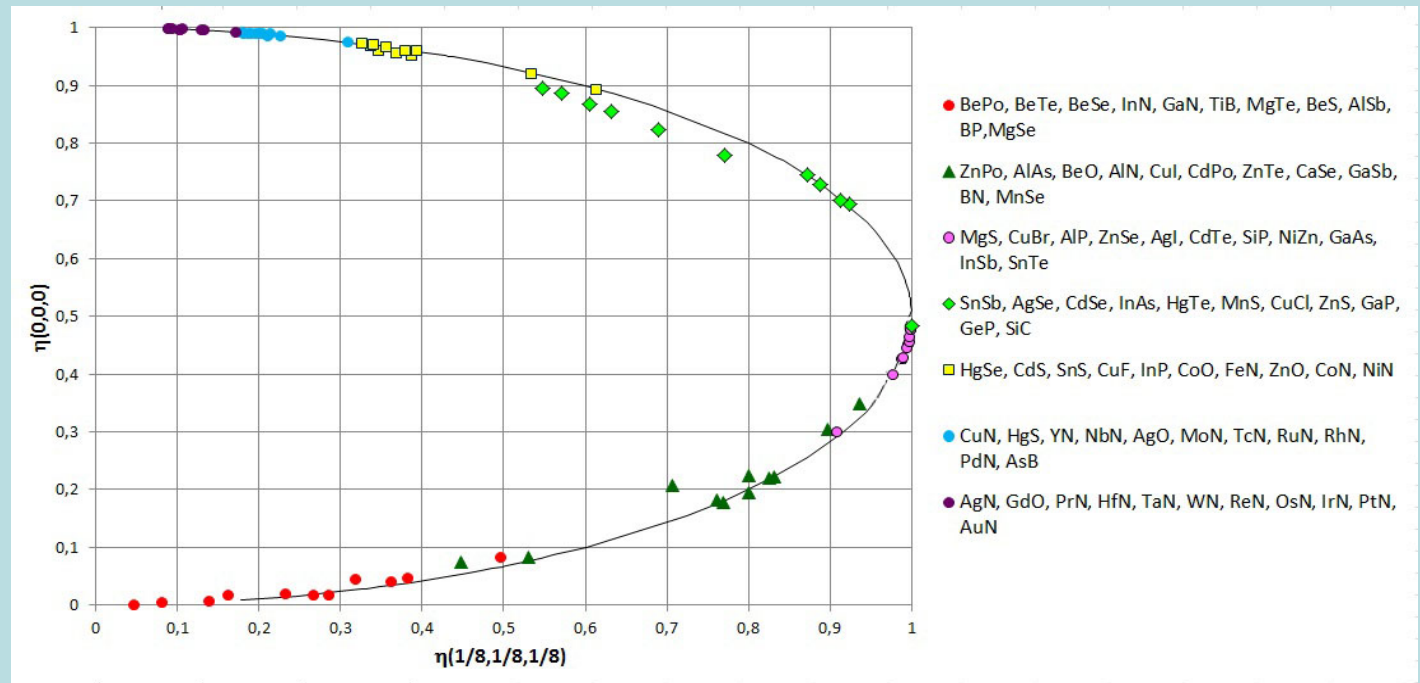
ННГУ им Н.И.Лобачевского, Нижний Новгород, 2015 г., 658 стр.,
УДК: 548.0 (02), ISBN: 978-5-91326-305-6

Книга содержит описание групп классической симметрии кристаллов, а также псевдосимметрии — повышения симметрии отдельных структурных фрагментов по отношению к группе симметрии атомной структуры кристалла в целом.

Рассмотрим в качестве первого примера результаты анализа псевдосимметричных соотношений для структурного типа сфалерита. Кристаллические структуры, принадлежащие этому структурному типу содержат в элементарной ячейке два независимых атома с атомными номерами Z1 и Z2 в частных позициях группы Fm-3m:

Позиция	Симметрия позиции	Координаты			
$4a$	$-43m$	0 0 0	$\frac{1}{2} \frac{1}{2} 0$	$\frac{1}{2} 0 \frac{1}{2}$	$\frac{1}{2} \frac{1}{2} 0$
$4c$	$-43m$	$\frac{1}{4} \frac{1}{4} \frac{1}{4}$	$\frac{3}{4} \frac{3}{4} \frac{1}{4}$	$\frac{3}{4} \frac{1}{4} \frac{3}{4}$	$\frac{1}{4} \frac{3}{4} \frac{3}{4}$

На рис. представлена двумерная диаграмма степени инвариантности функции при отражении в центрах инверсии (000) и $(1/8 \ 1/8 \ 1/8)$ для различных псевдосимметричных кристаллов структурного типа сфалерита

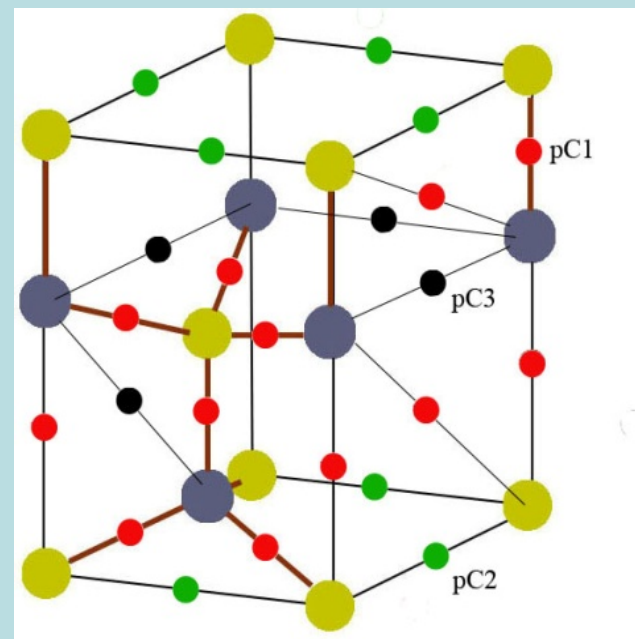


η -диаграмма структурного типа сфалерита для степени инвариантности 77 атомных структур относительно инверсии в точках (000) и $(1/8, 1/8, 1/8)$ [Чупрунов, 2015]. Сплошная линия – расчет в приближении точечных атомов

В качестве второго примера разберем результаты анализа псевдосимметричных соотношений для структурного типа вюрцита, который описывается пространственной группой $R\bar{6}_3mc$ и описывается как гексагональная плотнейшая упаковка анионов с заполнением половины тетраэдрических пустот одной ориентации катионами. Элементарная ячейка этого структурного типа содержит два аниона X (атомы серы) и два катиона A (атомы цинка), которые располагаются по частным правильным системам точек $2b$ с разными значениями свободного параметра z : $1/3$ $2/3$ z и $2/3$ $1/3$ $z+1/2$. Для одного из атомов величина z полагается равной нулю, а для другого – приближаться к высоте тетраэдрической пустоты в двухслойной ПУ = $3/8$ (0,375).

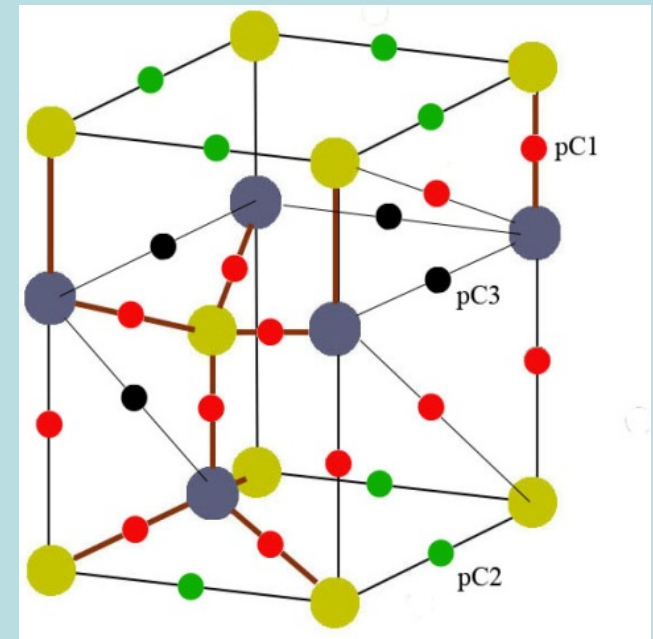
Расположение трех типов центров псевдоинверсии в элементарной ячейке кристаллов этого структурного типа приведено на рис. Согласно Чупрунову структурный тип вюрцита, характеризуется наличием трех типов центров псевдоинверсии.

Первый тип, обозначаемый на рис как pC1 (8 центров на ячейку), соответствует случаю, когда центры атомов А при действии операции инверсии накладываются на центры атомов Х и наоборот. Эти центры лежат на серединах связей и на серединах отрезков, соединяющих центры валентно несвязанных атомов А и Х



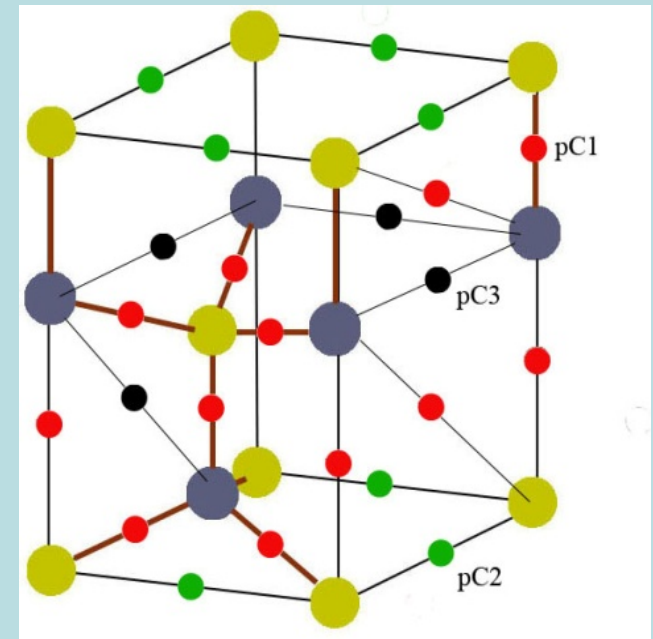
Расположение трех типов центров псевдоинверсии в элементарной ячейке кристаллов этого структурного типа приведено на рис. Согласно Чупрунову структурный тип вюрцита, характеризуется наличием трех типов центров псевдоинверсии.

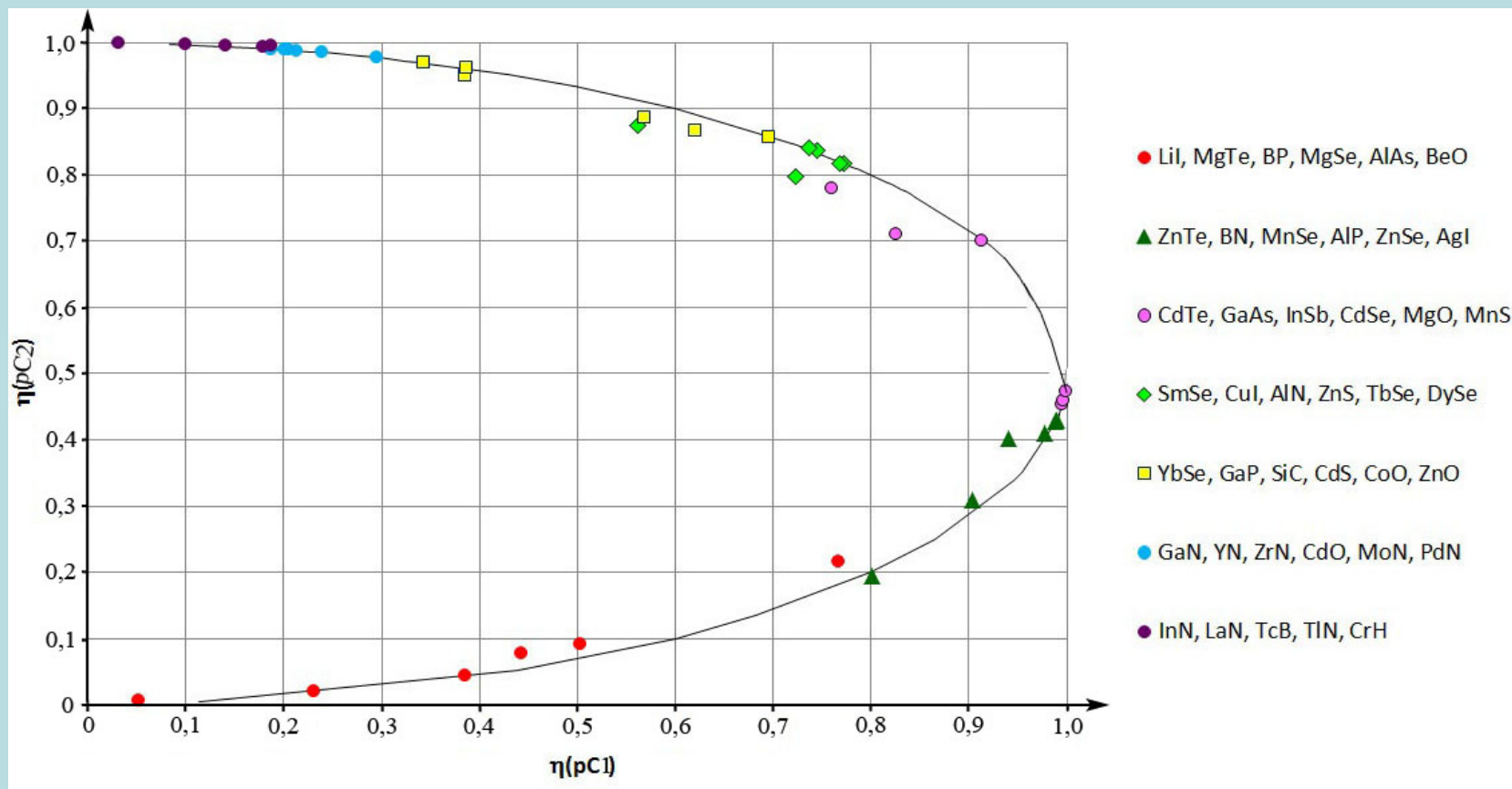
Второй тип центров инверсии $pC2$ (2 центра на ячейку), соответствует центрам инверсии подрешетки атомов А, и лежит на серединах отрезков, соединяющих эти атомы.



Расположение трех типов центров псевдоинверсии в элементарной ячейке кристаллов этого структурного типа приведено на рис. Согласно Чупрунову структурный тип вюрцита, характеризуется наличием трех типов центров псевдоинверсии.

Третий тип центров псевдоинверсии $pC3$ (2 центра на ячейку), соответствует центрам инверсии подрешетки атомов X, и лежит на серединах отрезков, соединяющих атомы X.

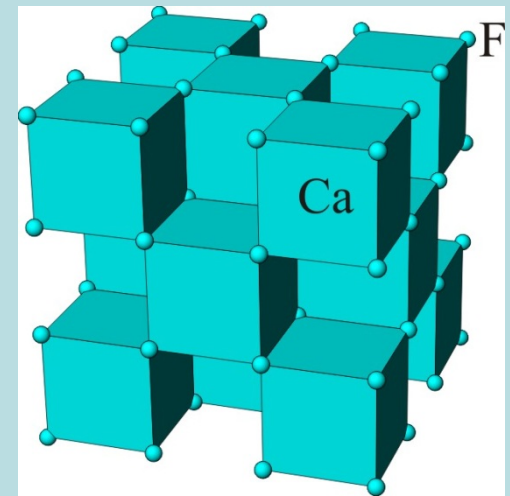




η -диаграмма структурного типа вюрцита для степени инвариантности относительно 2 центров вседоинверсии 41 атомных структур [Чупрунов, 2015]. Сплошная линия – расчет в приближении точечных атомов

Производные (вторичные) мотивы

Особенно благоприятной для построения различных производных (вторичных) мотивов является структурный тип флюорита, причем как во фторидном (CaF_2), так и оксидном (ZrO_2 , CeO_2) варианте химических составов

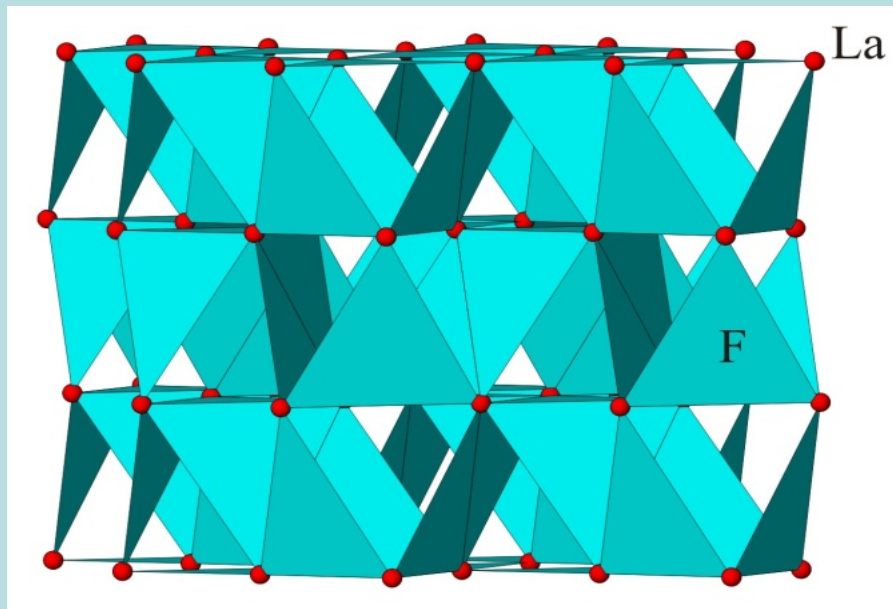


Так, близкородственными структуре флюорита являются тригональный *тисонит* LaF_3 и ромбический $\beta\text{-YF}_3$. Если в этих структурах в роли ведущих ионов, выстраивающих достаточно плотную упаковку, рассмотреть не анионы, как обычно, а достаточно крупные катионы Y^{3+} и La^{3+} , то обнаружится, что они образуют гексагональную (двухслойную) упаковку с заполнением $3/8$ тригональных пустот анионами F^-

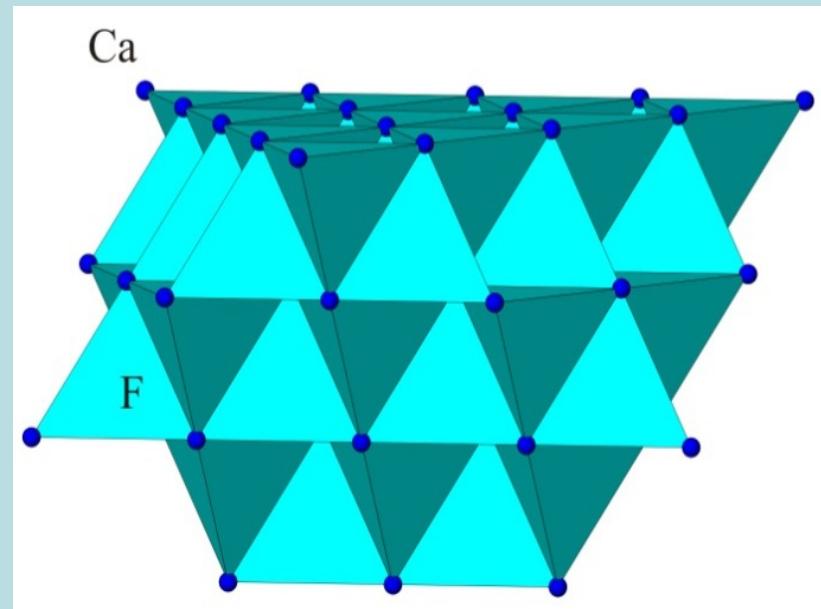
Производные (вторичные) мотивы

Во флюорите катионы Ca в таком представлении образуют кубическую трехслойную плотнейшую упаковку, при этом ионы F^- смещаются из тригональных в тетраэдрические пустоты, занимая их полностью. Родственность этих структур (LaF_3 и $\beta-YF_3$ можно считать «заполненными» по отношению к флюориту, поскольку общее число анионов в «пустотах» в 1,5 раза больше) обеспечивает возможность изоморфизма по следующей схеме: $2CaF_2 + F_2 \leftrightarrow 2LaF_3$ с образованием многочисленных промежуточных составов

Производные (вторичные) мотивы



Структура тисонита в
анион-центрированном
аспекте



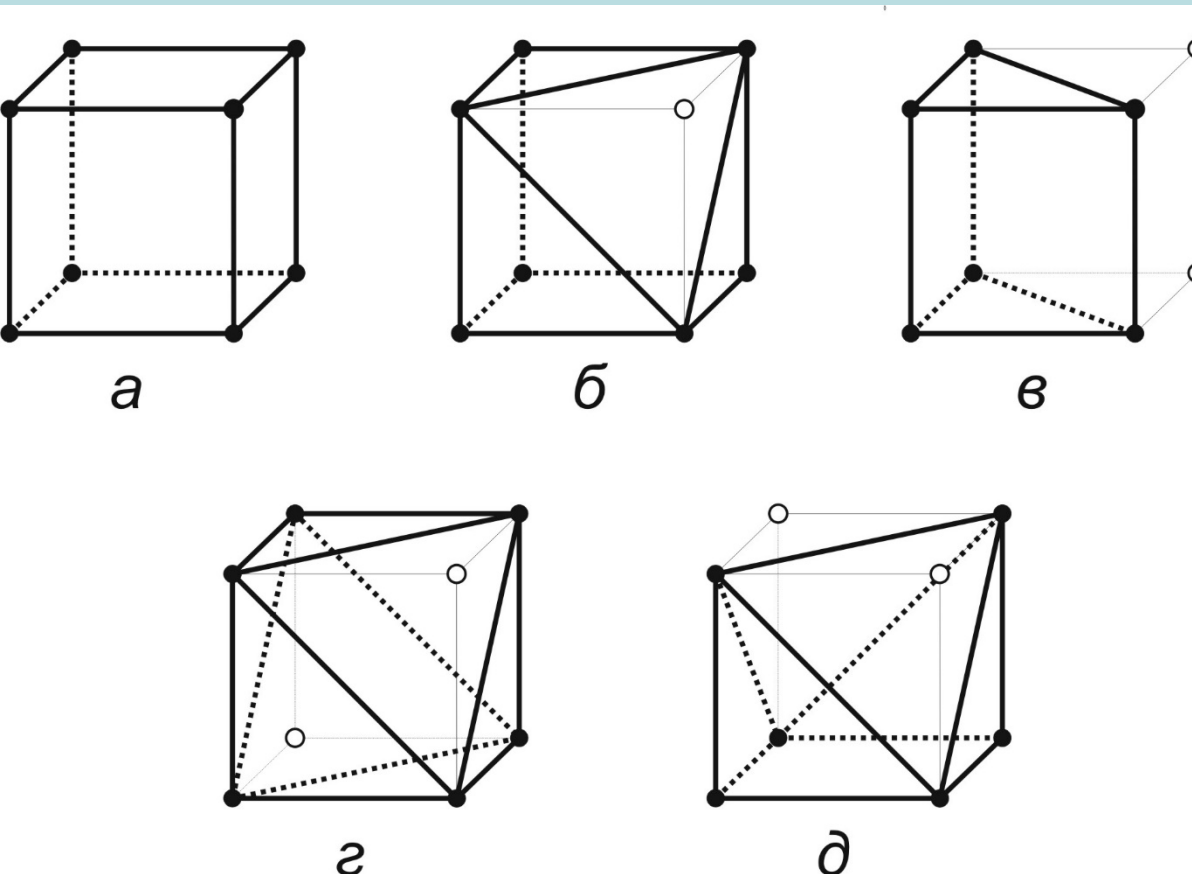
Структура флюорита в
анион-центрированном
аспекте

Родство структур CaF_2 и LaF_3 , YF_3 сказывается в образовании между ними твердых растворов $\text{Ca}_{1-x}\text{Ln}_x\text{F}_{2+x}$ (Ln – лантаноид). Этот случай был назван В. М. Гольдшмидтом изоморфизмом с заполнением пространства (ср. - заполненные структуры) из-за появления в пустых кубах структуры флюорита добавочных ионов F^- .

Подобным образом становятся объяснимыми и обычные твердые растворы $\text{ZrO}_2(\text{CeO}_2, \text{UO}_2) - \text{Ln}_2\text{O}_3$, которые, однако, приводят к образованию дефектных структур (вакансии в кислородных позициях).

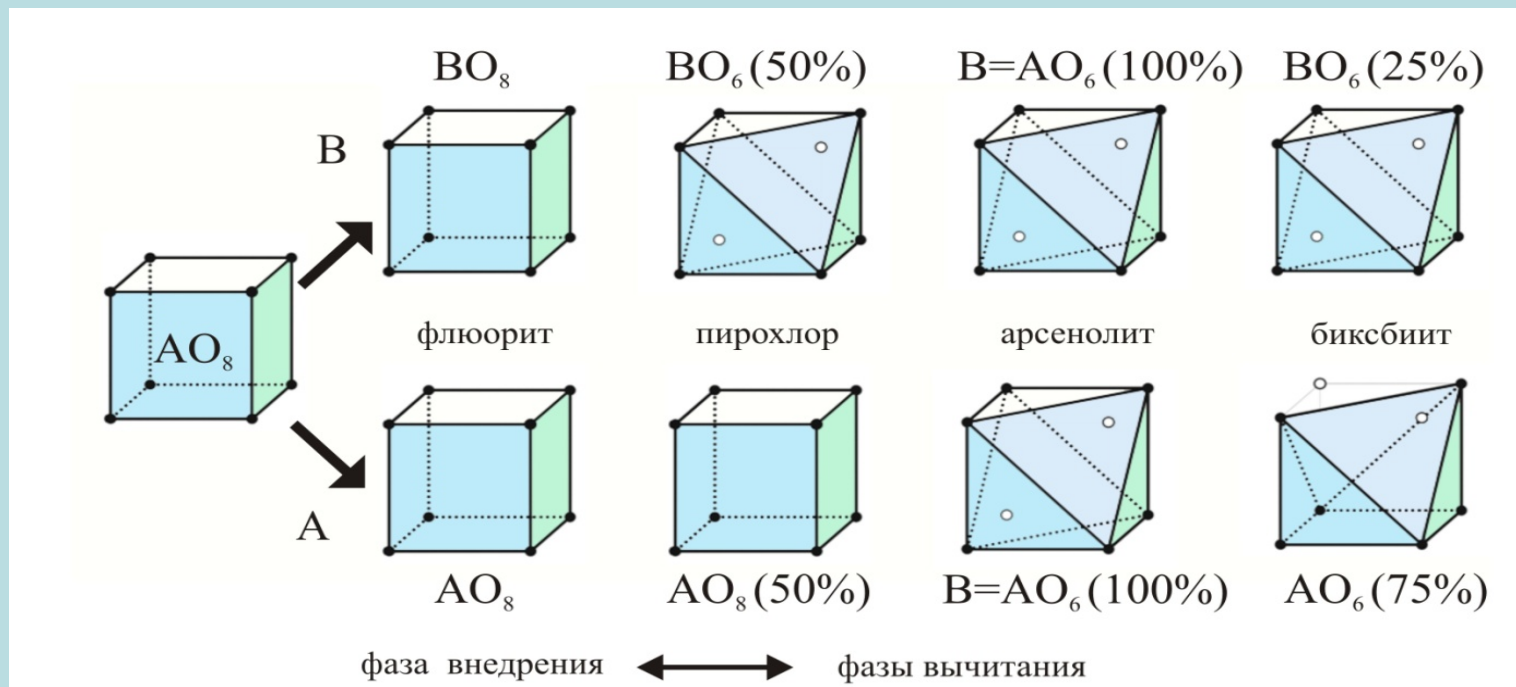
Интересный анализ гомологических связей в группе флюоритоподобных структур дал Н.В. Белов

Рассмотрим флюорит, пироклоры с общей формулой $A_2B_2X_7$, сенармонтит Sb_2O_3 и арсенолит As_2O_3 , биксбиит $(Mn, Fe)_2O_3$

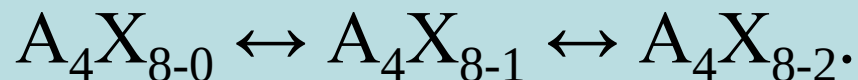


Многогранники, возникающие из куба за счет усечения вершин (удаления анионов):
а - куб,
б - семивершинник,
в - тригональная призма,
г - уплощенный октаэдр,
д - шестивершинник с одной квадратной гранью.

Гомологические связи в группе флюоритоподобных структур



Общая схема гомологического ряда
дефектных структур на основе флюорита



Гомологические связи в группе флюоритоподобных структур

В структуре *пироклоров* в половине кубов срезаны две вершины и из них получились уплощенные октаэдры. В сохранившихся кубах располагаются более крупные катионы Ca, Na, TR, а в уплощенных октаэдрах – более мелкие (Nb, Ta, Ti и др.).

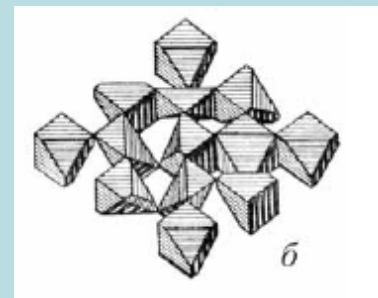
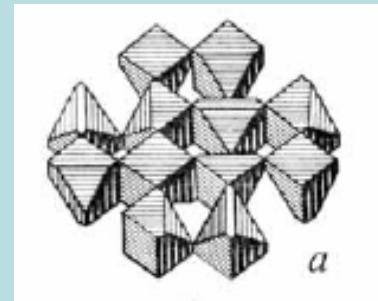
В структуре *сенармонтита* Sb_2O_3 - *арсенолита* As_2O_3 все кубы структуры флюорита срезаны до уплощенных октаэдров. Внутри каждого четырех уплощенных октаэдров образуется крупный правильный пустой октаэдр. Атомы Sb(As) несколько сдвинуты из центров уплощенных октаэдров к тому из оснований, которое является гранью крупного пустого октаэдра.

Гомологические связи в группе флюоритоподобных структур

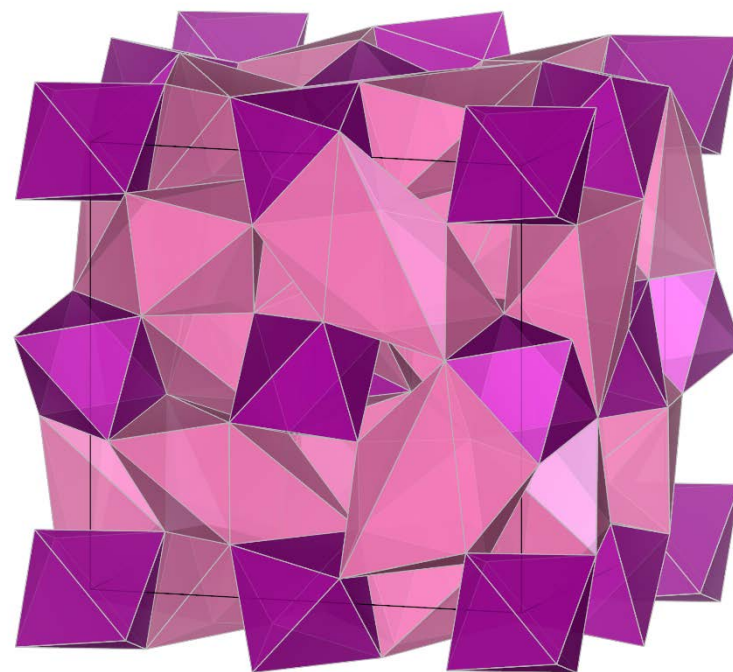
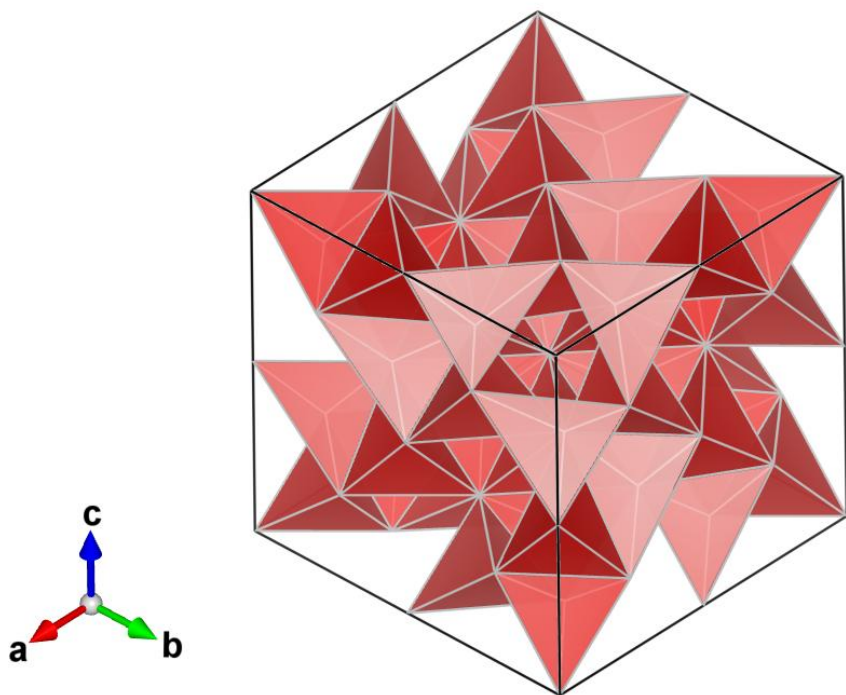
В структуре *биксбиита* $(\text{Mn,Fe})_2\text{O}_3$ только четверть кубов исходного флюорита срезана по двум вершинам до уплощенного октаэдра. У прочих кубов исходного мотива CaF_2 усекаются по две вершины, связанные не телесной диагональю куба, а диагональю одной из его граней. При этом возникает шестивершинник с одной квадратной гранью

Эти КП располагаются через слой: в одном слое все кубы усечены по диагонали грани

в следующем - половина по телесной диагонали и половина по диагонали грани



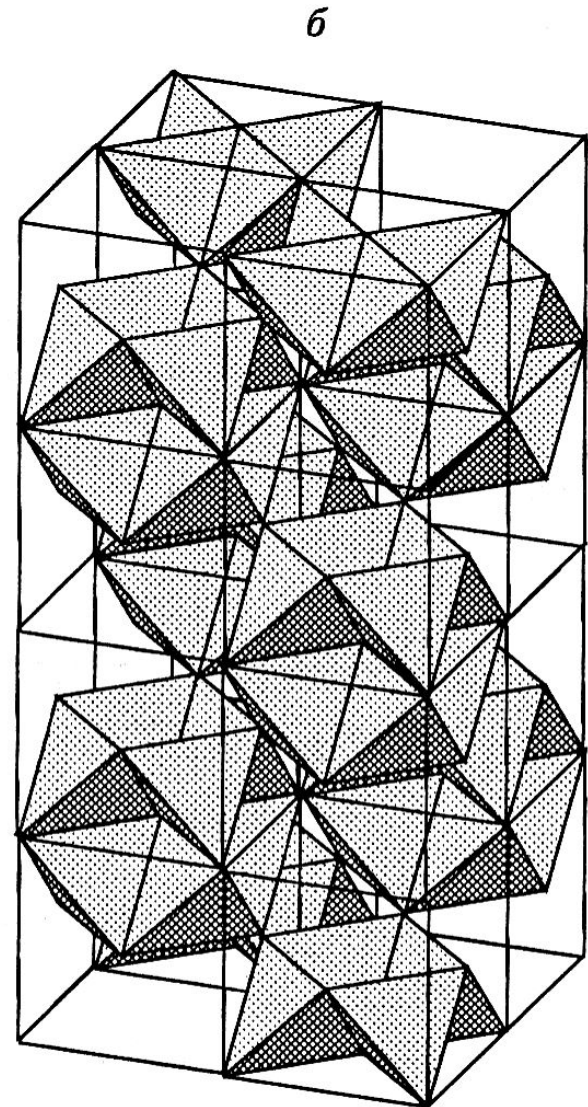
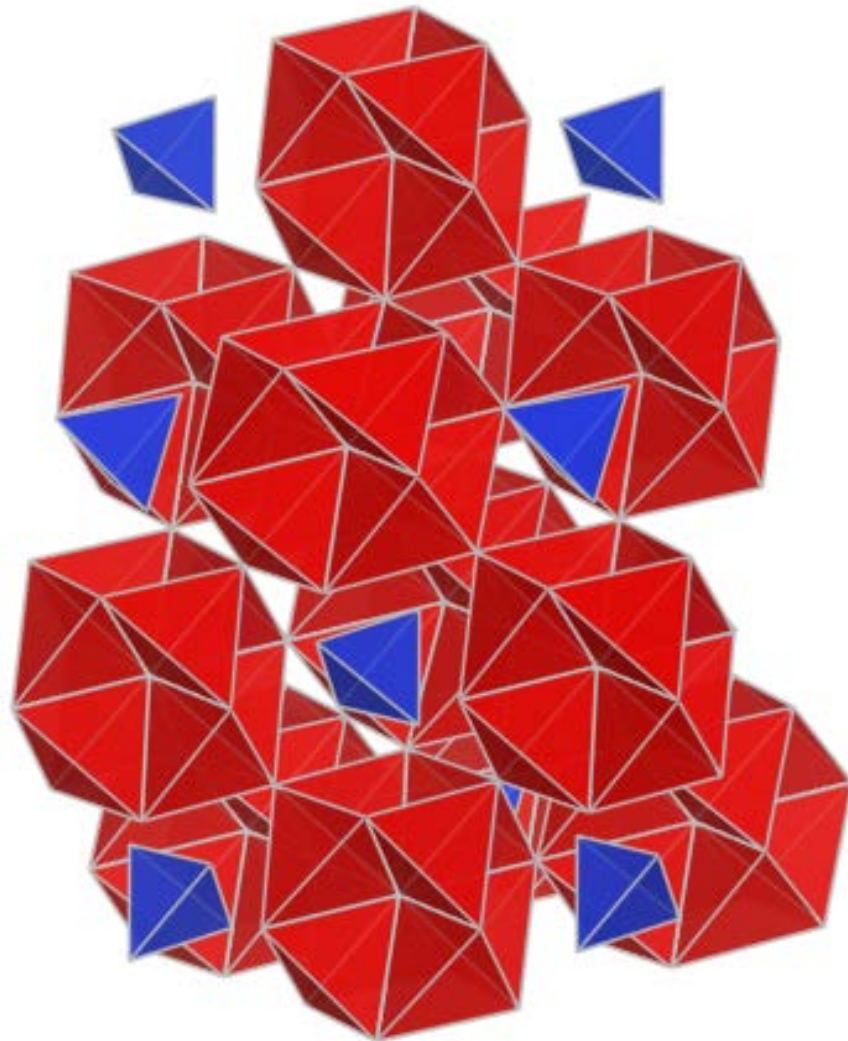
Биксбиит Mn_2O_3 в анионоцентрированном и катиноцентрированном аспекте

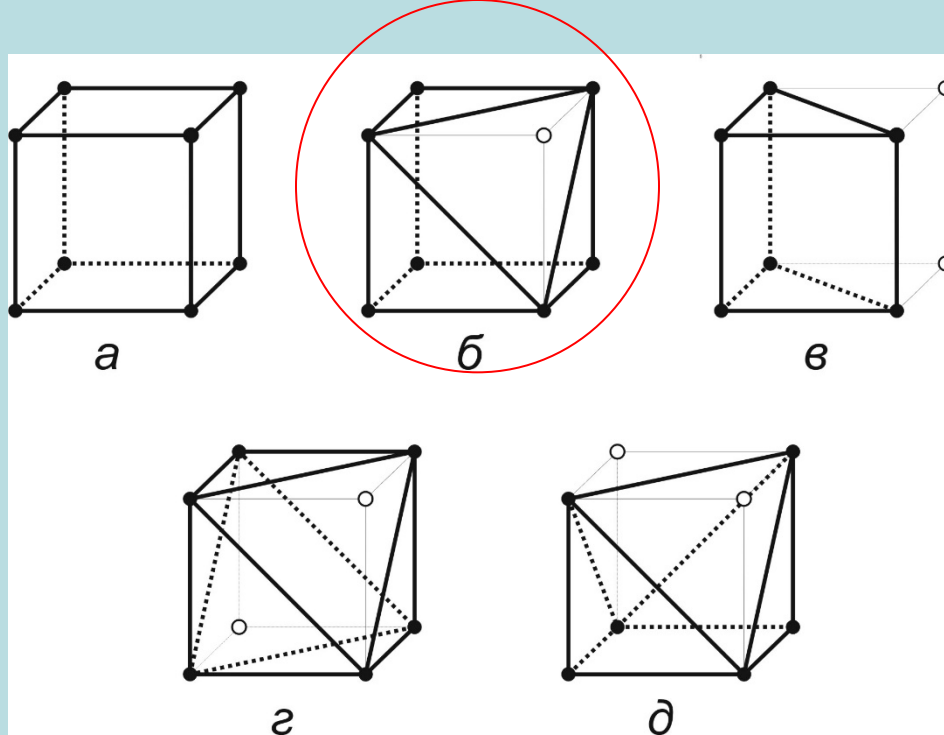


Близкое родство к структуре биксбиита обнаруживает сложный марганцевый оксид **браунит** и один из трех лунных минералов (на Земле он найден только в 2011) – **транквиллит** (сложный оксид титана, железа и кремния) $(\text{Fe}^{2+})_8\text{Ti}_3\text{Zr}_2\text{Si}_3\text{O}_{24}$. Таким образом, можно сказать, что флюоритоподобные структуры оказались чрезвычайно разнообразными и гибкими в выборе вариантов химического наполнения.

Гомологическое родство вышеперечисленных структурных типов проявляется не только в геометрическом сходстве полиэдров, но сказывается и на возможности образования между ними протяженных твердых растворов при закономерном изменении химического состава.

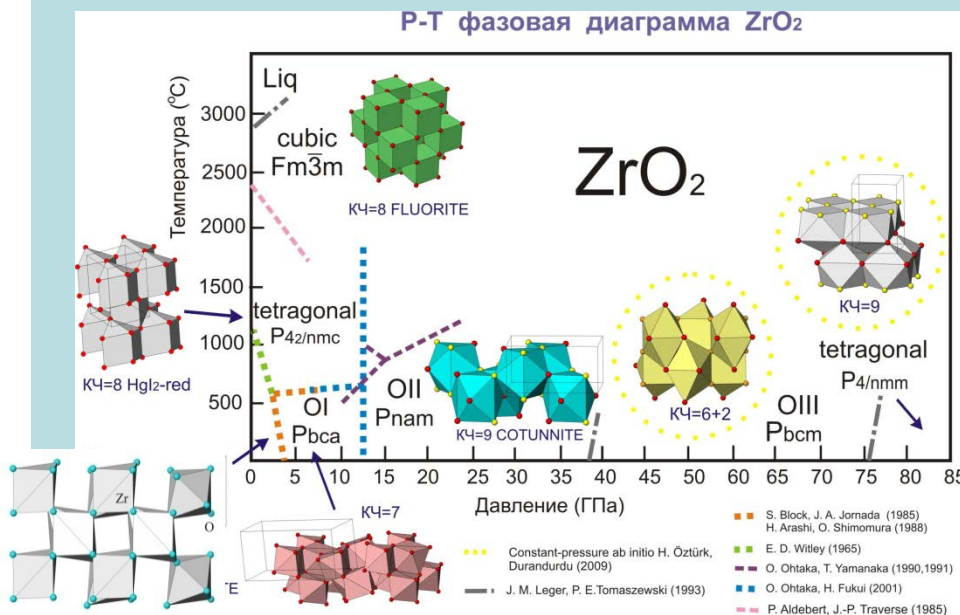
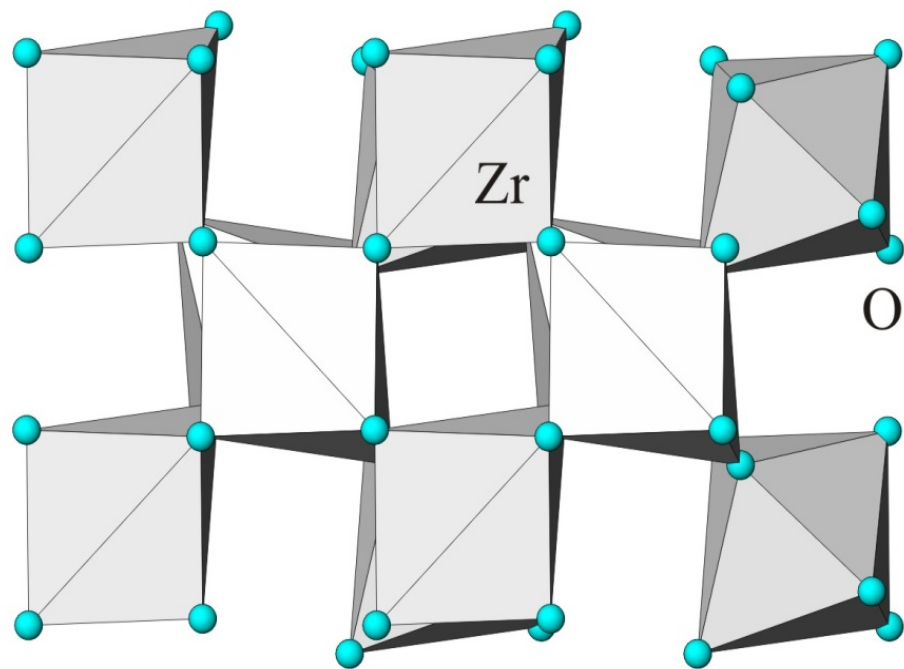
Флюоритоподобный каркас *браунита*
 $\text{Mn}_7\text{O}_8(\text{SiO}_4)$ и его супер-модуль





Отметим, что вариант «б», представленный на рис. также физически реализуется в кристаллической структуре одной из многочисленных модификаций ZrO_2 - *бадделеите*

В этой структуре укладка ZrO_7 -полиэдров, связанных между собой вершинами и ребрами, осуществляется колонками в шахматном порядке, что позволяет рассматривать этот структурный тип как переходный от флюорита к рутилу TiO_2 , в котором сходным образом происходит сочленение октаэдров TiO_6 .



Как видно из формулы соотношение катионов и анионов равно 1:2, что не позволяет рассматривать бадделеит в $A_4X_{8-0} \leftrightarrow A_4X_{8-1} \leftrightarrow A_4X_{8-2}$ гомологическом ряду. Поскольку КЧ Zr в бадделеите равно 7, то такой ZrO_7 -многогранник имеет два разных сорта кислородных вершин и два набора Zr-O межатомных расстояний.

Ю. В. Ворошилов
В. И. Павлишин

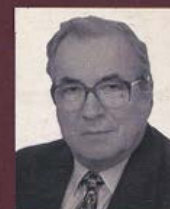
ОСНОВЫ кристаллографии и кристаллохимии



Рентгенография кристаллов



ВОРОШИЛОВ ЮРИЙ ВИТАЛЬЕВИЧ
Выпускник геологического факультета Львовского национального университета имени Ивана Франко (1960) — один из ведущих руководителей Закарпатской научной школы химии полупроводников и электронных материалов. Автор более 300 публикаций, в том числе 4 монографий, 6 учебников и учебных пособий, 10 патентов на изобретения; научно обосновал правило обусловленности перспективности материалов для электронной техники дефицитностью или избыточностью электронного состояния их соединений, определяемых числовыми коэффициентами. Опыт преподавания курсов кристаллографии, кристаллохимии, минералогии, симметрии и свойств материалов — 10 лет во Львовском им. И. Франко и более 30 лет в Ужгородском национальных университетах (геологический, химический и физический факультеты). Ю. В. Ворошилов — доктор химических наук, профессор, академик АН высшей школы Украины, отличник образования и лауреат государственной премии Украины в области науки и техники.



ПАВЛИШИН ВЛАДИМИР ИВАНОВИЧ
Окончил Львовский государственный университет имени Ивана Франко (1960). Ныне профессор Киевского национального университета имени Тараса Шевченко, в котором читает основной курс минералогии с основами кристаллографии. Научные исследования охватывают проблемы региональной, генетической и прикладной минералогии. Автор более 500 публикаций, в том числе 18 научных монографий и 5 учебников. Лично и совместно со своим коллективом выполнил фундаментальные исследования минералов из горнорудных районов Украины, обосновал новые генетические типы минеральных образований, усовершенствовал онтогенетический метод минералогии, В. И. Павлишин — доктор геолог-минералогических наук, профессор, Заслуженный деятель науки и техники Украины, академик Академии наук высшей школы Украины, Президент Украинского минералогического общества (1991–2001), почетный член РМО, лауреат премии Н. Островского.

КНТ, Киев, 2011 г., 568 стр., УДК: 539.5, ISBN: 978-966-373-656-3

Учебник адресован студентам геологических, горных, физических и химических специальностей. Он состоит из четырех частей:

- 1) Основы геометрической кристаллографии;
- 2) Рентгеновский анализ кристаллов;
- 3) Основы кристаллохимии;
- 4) Симметрия и свойства кристаллов.

Книга завершается Практикумом, в состав которого входит более тысячи вопросов и задач для практических занятий и семинаров.

<https://www.geokniga.org/bookfiles/geokniga-osnovy-kristallografii-i-kristallohimii-rentgenografiya-kristallov.pdf>