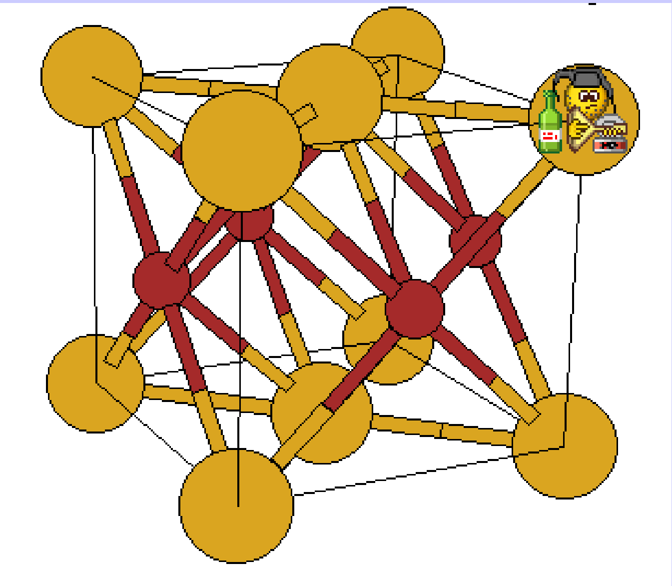
ЛЕКЦИЯ 10

СИММЕТРИЯ КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО МИКРОМИРА.
ЧАСТЬ 1



Прощание с макросимметрией

- 32 класса симметрии
- Символики
- Теоремы взаимодействия операций
- Представления операций симметрии
- Простые формы
- Облик и габитус кристаллов
- Предельные группы Кюри и зачем они нам нужны
- Символы граней и ребер
- Метод зон – «кристаллагрофическое судоку»
- Работа с сеткой Вульфа
- Икосаэдрические группы и зачем они нам нужны

(С) Корзун. «Каждой твари - по паре»

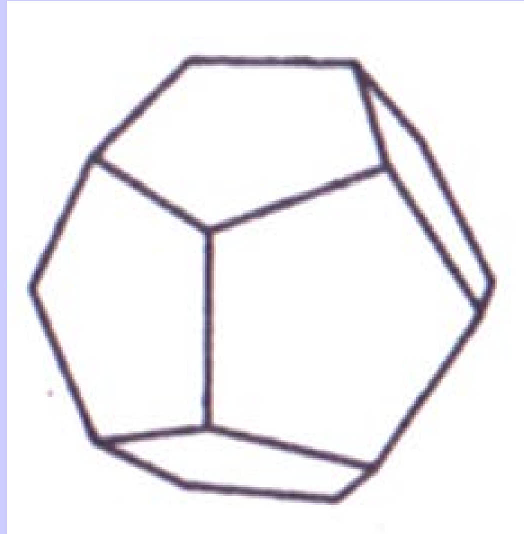
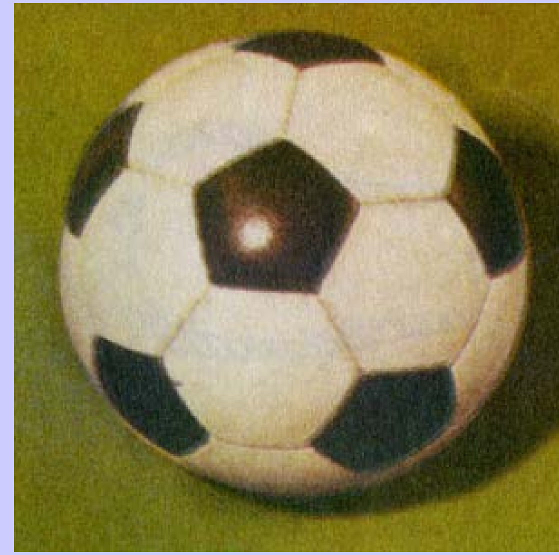
Контрольная работа №1 – первая торжественная порка
(на этой неделе)

На прощание еще один прикладной аспект этих групп

Футбольный мяч

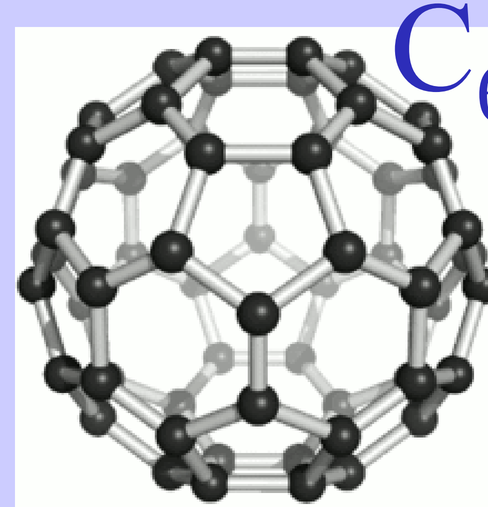
22 человека полтора часа из всех сил пинают его а ему хоть бы что...

Все хотя бы раз видели футбольный мяч. Тысячи людей видят его «в натуре», на стадионе. Все знают, что покрышки мяча состоят из белых и черных фигурок (конечно, если это классический мяч, а не джимбулани – там хуже видно). Но, как ни странно, лишь немногие (включая самих футболистов) могут с уверенностью сказать, из каких именно многоугольников он состоит. Давайте присмотримся к футбольному мячу повнимательнее.

У мячей покрышка состоит из изогнутых многоугольников. Она составляется из 12 черных и 20 белых «полей». Вокруг каждого черного пятиугольника располагается шесть белых шестиугольников.

C_{60}



Футбольный мяч является геометрическим аналогом фуллерена C_{60}, так как представляет собой подкачанный до сферы комбинационный 32-гранник с гранями икосаэдра (20 белых шестиугольников) и додекаэдра (12 черных пятиугольников)

Такая конструкция, кстати, была не всегда и переход на нее оказался для наших футболистов не совсем удачным…

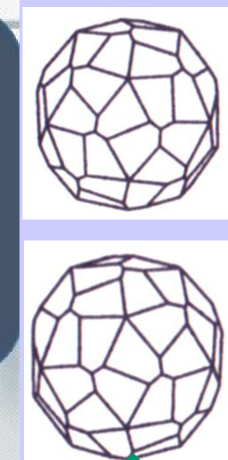
1956 г. – Олимпийские чемпионы

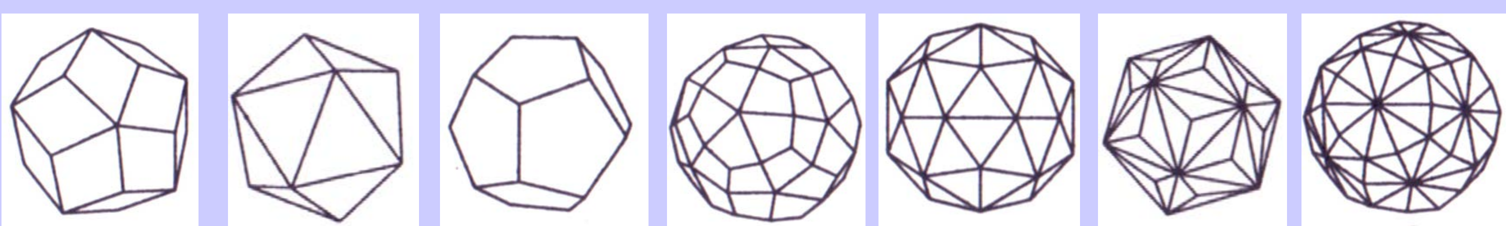
1960 г. – Первые чемпионы Европы

1970 г.
(5-6-ое место)

1966 г. ЧМ
(4-ое место! - лучшее)

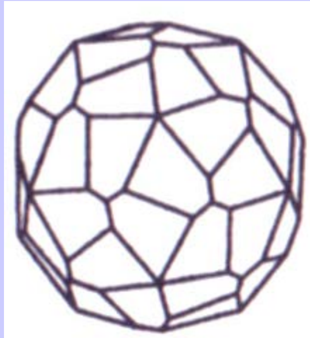
Новые коммерческие идеи в сфере футбола





ХА!

Энантиоморфные группы!
Вратарь, выучивший кристаллографию
знает направление вращения заранее !



Теперь понимаем, что тогда произошло в матче с испанцами

Для других видов спорта тоже что-нибудь придумаем

Кристаллография помогает во всех видах спорта!

	ИТОГО	эстафета	патрули	Москален	Гребля	Фестиваль бега	сумма
1	Кристаллография	4	4	11	9	11	39,0
2	Инженерная геол	2	0,333	13	6	9	30,3
3	Горючие ископаемые	5	3	2	8	10,4	28,4
4	Гидрогеология	0,5	0,5	14		8,5	23,5
5	Полезные ископаемые	1	1	10	1	6	19,0
6	Геофизика			12	3	3	18,0
7	Седиментология			9	7	1,2	17,2
8	Разработка	2	0,667	6	4	1	13,7
9	Минералогия			5		7,2	12,2
10	Петрология			7		3	10,0
11	Региональная геология			3	5	0,8	8,8
12	Динамическая геология			8			8,0
13	Геохимия	0,5	0,5	4	2	0,2	7,2
14	Палеонтология			1		0,6	1,6
15	Геокриология						0,0

ПАТРУЛЬНАЯ ГОНКА
ОКОНЧАТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

МЕСТО ПРОВЕДЕНИЯ: Парк 850-летия Москвы **НАЧАЛО СОРЕВНОВАНИЙ:** 17ч 40 м
ДАТА ПРОВЕДЕНИЯ: 9 февраля 2025 года **ОКОНЧАНИЕ СОРЕВНОВАНИЙ:** 19ч 00м

МЕСТО	СТ.№	НАЗВАНИЕ КОМАНДЫ	ШТРАФ					ВРЕМЯ ЭТАПА	ВРЕМЯ КОМАНДЫ	ОТСТАВАНИЕ
			Л	Л	Л	Л	СУМ			
1	11	**Кристаллография**								
		5-1	1				1	04:52,0	**18:04,0**	+00:00,0
		5-2		0				04:50,0		
		5-3			0			04:08,0		
		5-4				0		04:14,0		
2	15	**Горючка**								
		7-1	3				9	06:28,0	**20:11,0**	+02:07,0
		7-2		0				04:33,0		
		7-3			2			04:51,0		
		7-4				4		04:19,0		
3	12	**Полезка-Петра**								
		6-1	0				9	04:25,0	**24:00,0**	+05:56,0
		6-2		4				06:36,0		
		6-3			4			07:32,0		
		6-4				1		05:27,0		
4	17	**Разработка**								
		4-1	2				14	06:01,0	**28:01,0**	+09:57,0
		4-2		5				07:40,0		
		4-3			4			07:28,0		
		4-4				3		06:52,0		

Ну а судя по меткости стрельбы, в джунглях выживут тоже только одни кристаллографы…

На ЭТОЙ МАЖОРНОЙ НОТЕ ПОШЛИ В МИКРОМИР

1 м – единицы измерения

- Как известно, Пьер Симон Лаплас во время французской революции предложил ввести новую «революционную» единицу длины – метр – равную 1/40,000,000 части длины парижского меридиана.

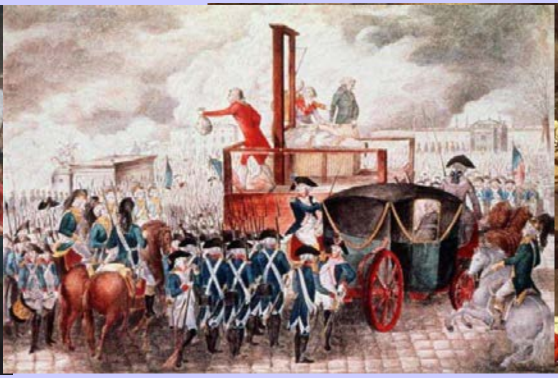
- Именно такая интерпретация метра дала Лапласу возможность изыскать необходимые средства для измерения на самом деле интересовавшей его величины – **длины парижского меридиана**. Результат измерения был принят за эталон единицы длины; он хранится в Палате мер и весов в Париже.

На всех этапах бурной политической жизни тогдашней Франции Лаплас
никогда не вступал в конфликты с властями,
которые почти неизменно осыпали его почестями. Такое поведение Лапласа
не только предохранило его от репрессий революции,
но и позволило занимать высокие должности.
Свои политические взгляды он никогда не афишировал.
(Иногда полезно!)

1 м – единицы измерения

- Много позднее было предложено определение метра, связанное с консервативным природным процессом: 1.650.736.73 длин волн излучения в вакууме при переходе от уровня $2p^{10}$ к уровню $2d^5$ атома криптона-86.

- С самого начала введение новой единицы длины встретило сопротивление, начиная с разнузданной критики книги Н.И. Лобачевского «Геометрия» влиятельными учеными, обвинившего великого геометра в потворстве «***бешенству нации***» за использование метрических мер.

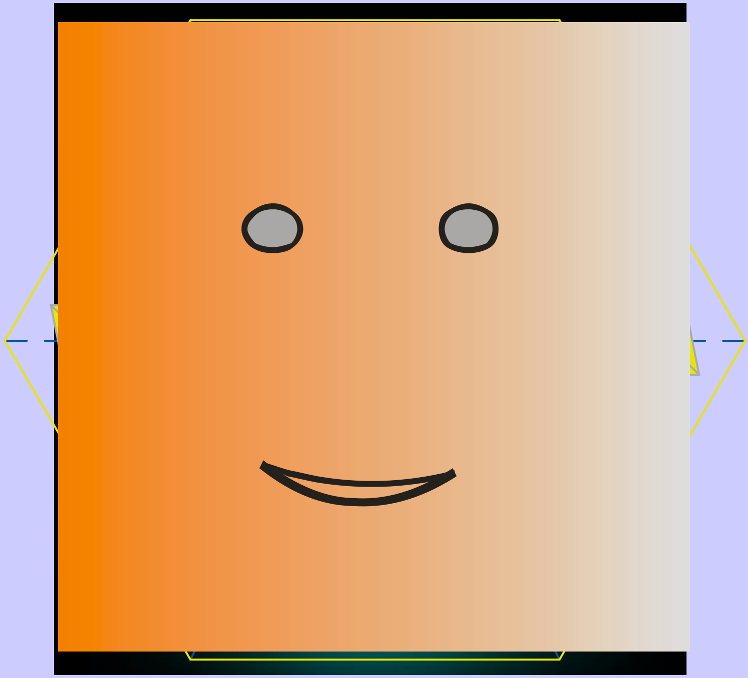

1 м – единицы измерения

- Однако с введением системы СИ использование метра как единицы длины стало обязательным; в нашей стране оно вошло в ГОСТ. Естественно, возникли производные единицы длины: 1 км, 1 см, 1 мкм, 1 нанометр и т. д.

- В настоящее время метрическая система официально принята во всех государствах мира, кроме трех самых отсталых

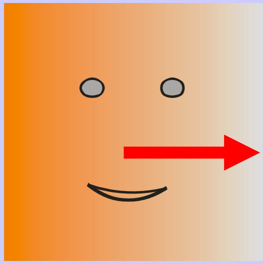
- В оптике, атомной и молекулярной физике, а также при измерении процессов в кристаллических структурах используется единица длины 1 **Å**, равная 10^{-10} м = 10^{-8} см, – ангстрем, наилучшим образом соизмеримая с размерами атомов и длинами межатомных расстояний.

1 м – единицы измерения



1Å

Привет! Я – атом – мельчайшая химически неделимая частица.



Некоторое время вы будете для простоты считать, что я такой

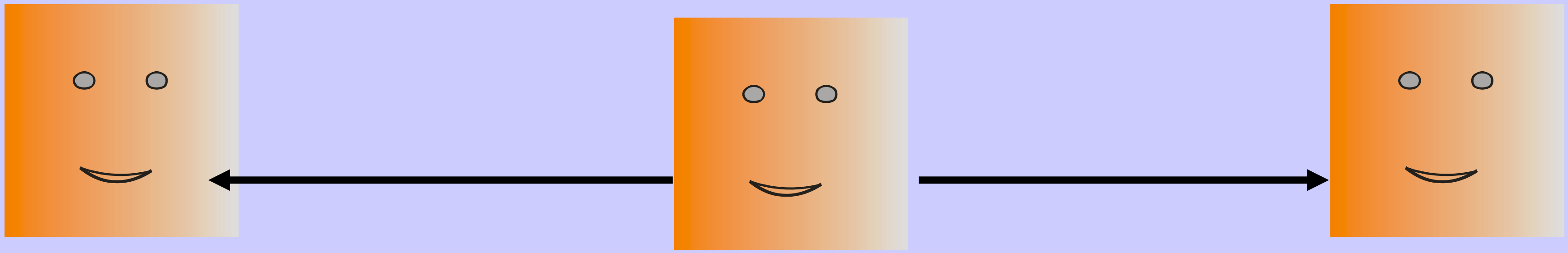
Кругленький (сферический) (хотя это не совсем так)

Иногда немного сжимаемый (как теннисный мячик)

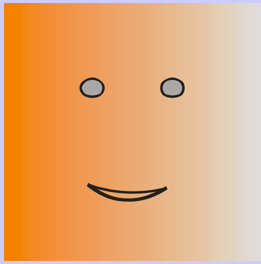
Мой размер в **большинстве** структур соединений определяется **ионным радиусом**, который можно посмотреть в таблице

http://cryst.geol.msu.ru/appliances/pics/rad_a4.jpg

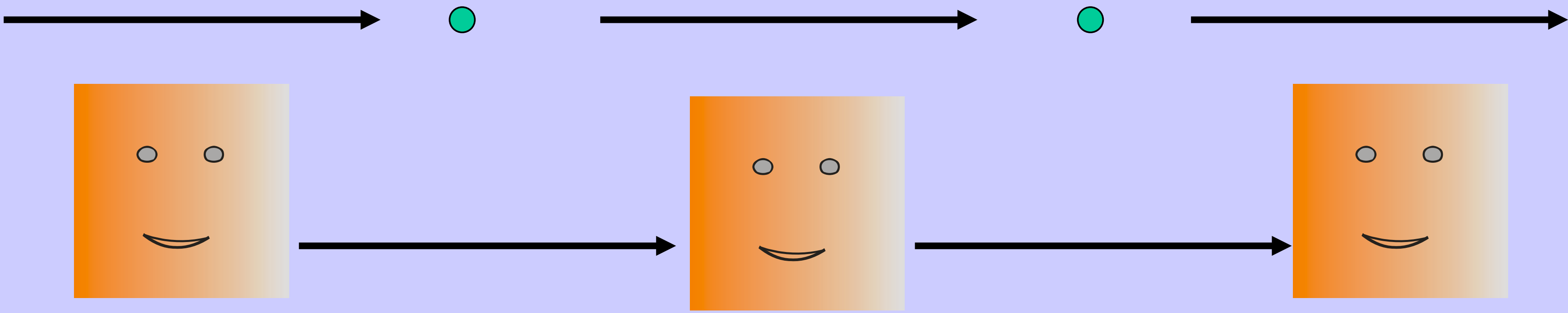
Иногда (когда я живу в кристалле) я с удивлением вижу, что на одинаковом расстоянии слева и справа от себя я вижу приятелей



Возникает ***атомный ряд***

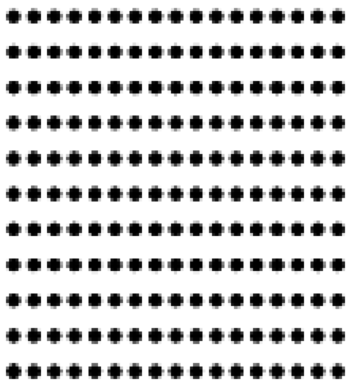


Главная особенность, отличающая кристалл от некристаллических (аморфных) тел, - это ***трехмерная периодичность*** в расположении слагающих его структуру эквивалентных материальных частиц: атомов, ионов, **итд.**

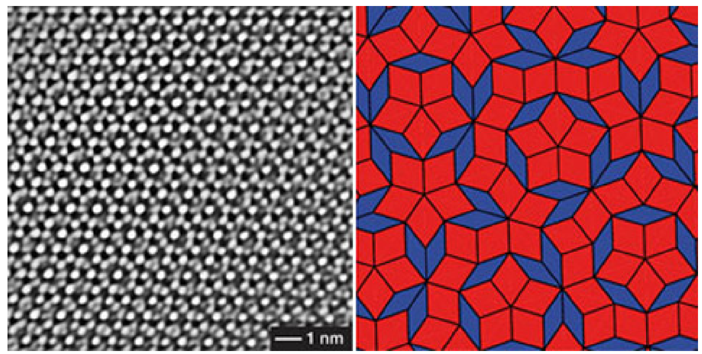


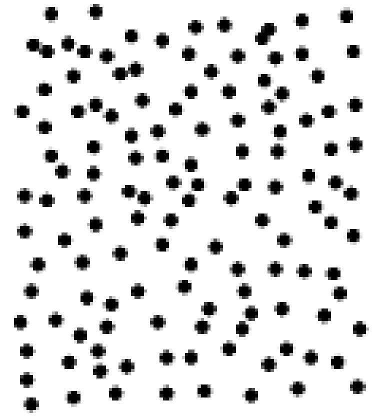
Трехмерная периодичность для эквивалентных точек в пространстве

Аморфные, поликристаллические и кристаллические твердые тела

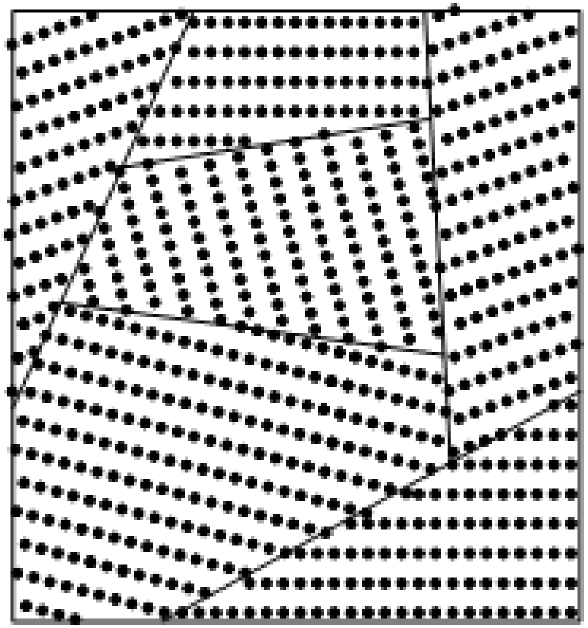


Кристалл (монокристалл)

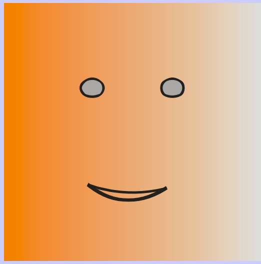




Аморфное состояние



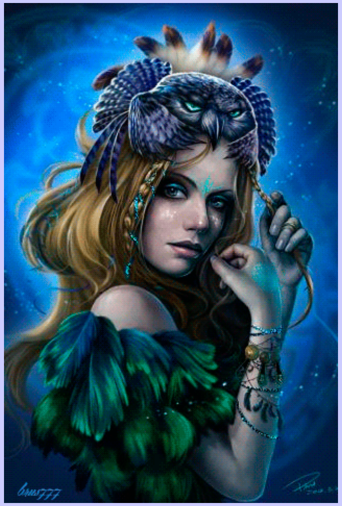
Поликристалл



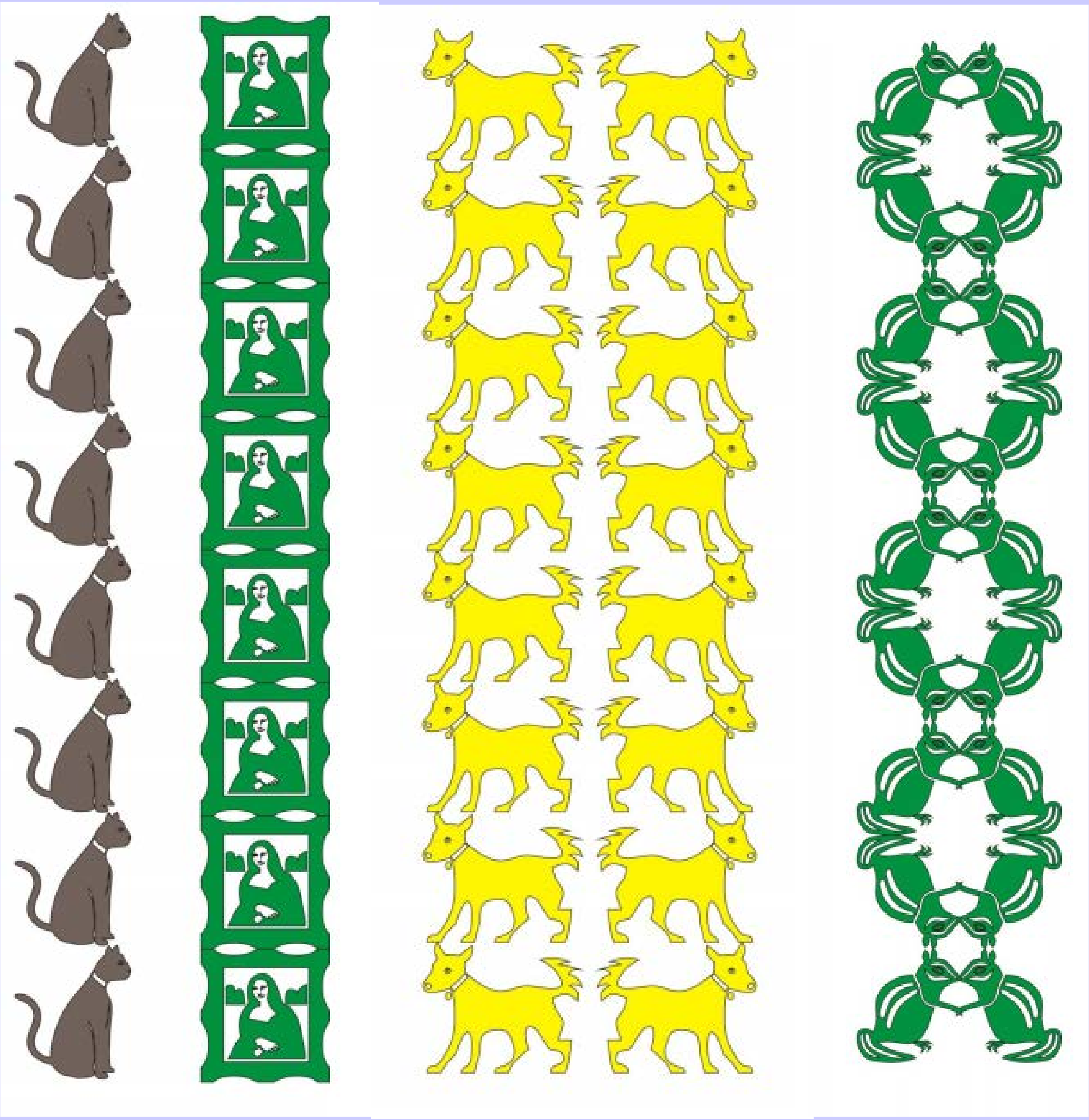
Новая операция симметрии микромира

Привет,
меня зовут <u>Трансляция</u>.
Я не материальное существо и живу только в бесконечном микромире
Красивое имя, правда?
Познакомимся?

$$\vec{T}$$



Я задаю периодичность для эквивалентных точек, а что в них находится, хвост кота или улыбка Джоконды – мне все равно…



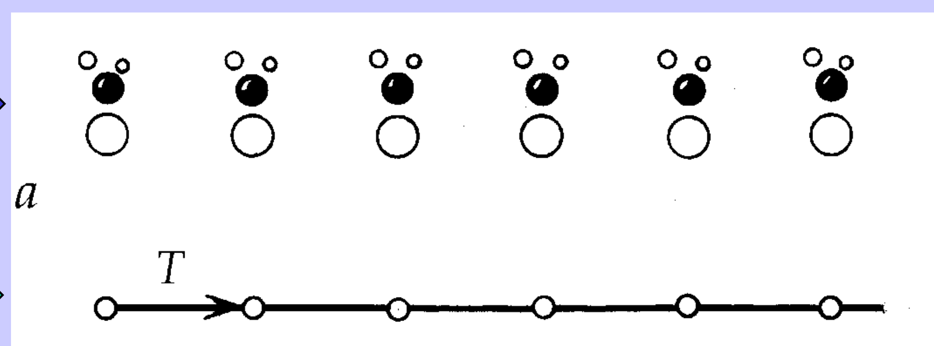
Одномерная решетка – узловой ряд – ряд эквивалентных точек управляется **одной трансляцией**

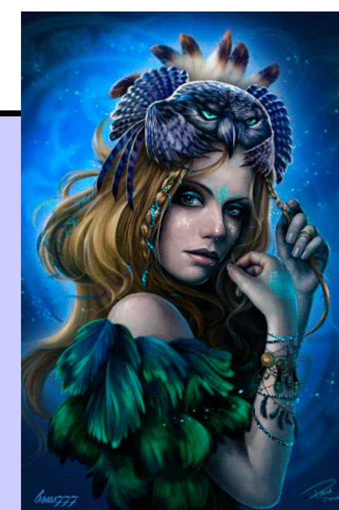
Материальный узор

узловой ряд

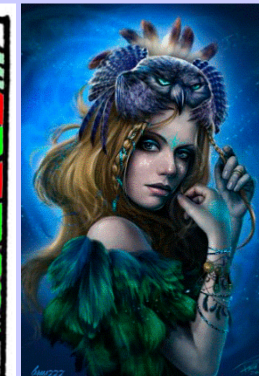
Материальный узор

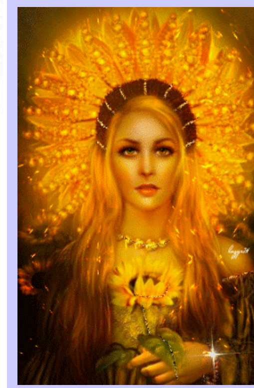
узловой ряд





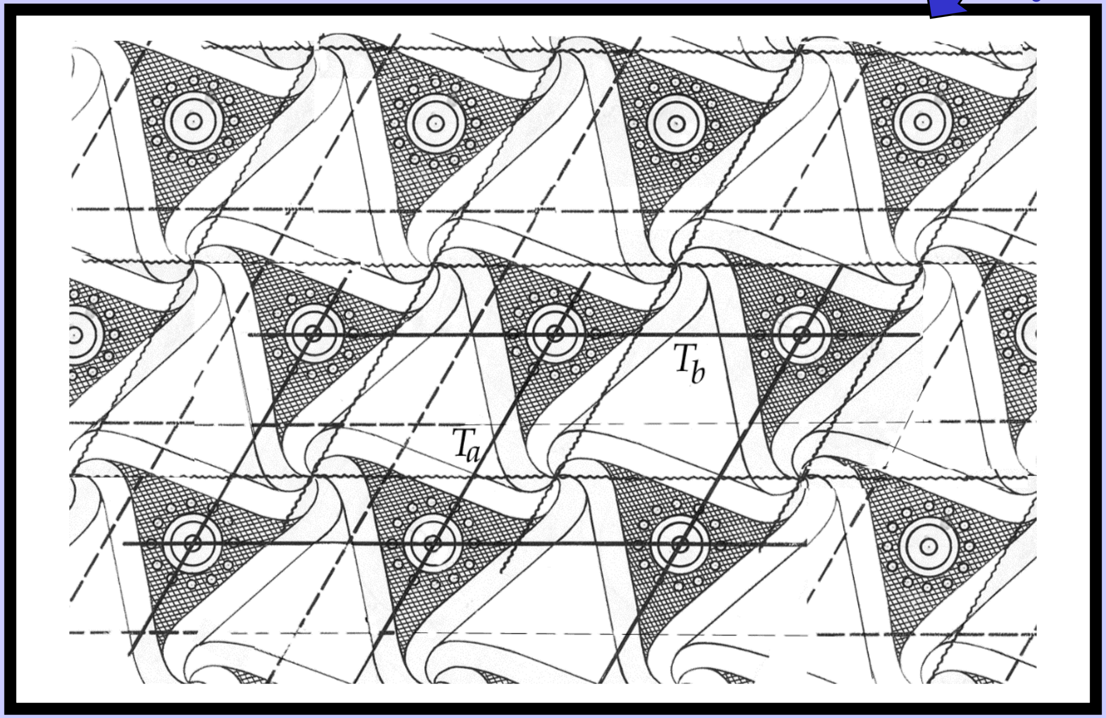
Двумерная узловая сетка – двумерная решетка управляется **двумя разными трансляциями**

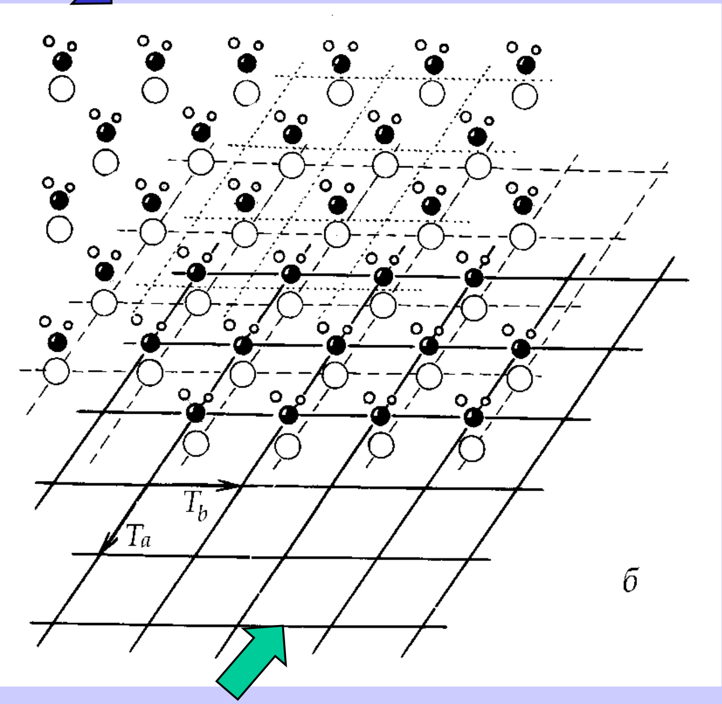




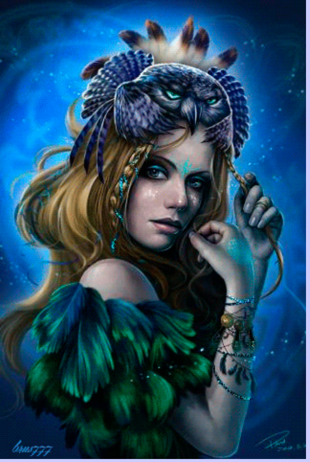
Двумерная узловая сетка – двумерная решетка

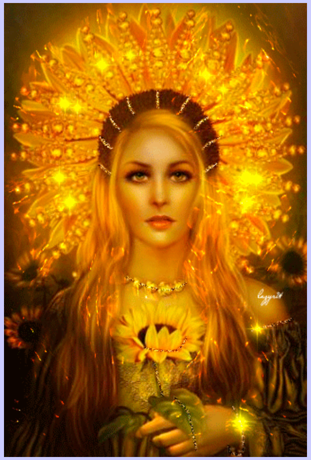
Двумерные узоры





Двумерная решетка



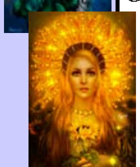


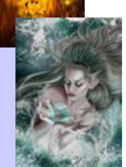
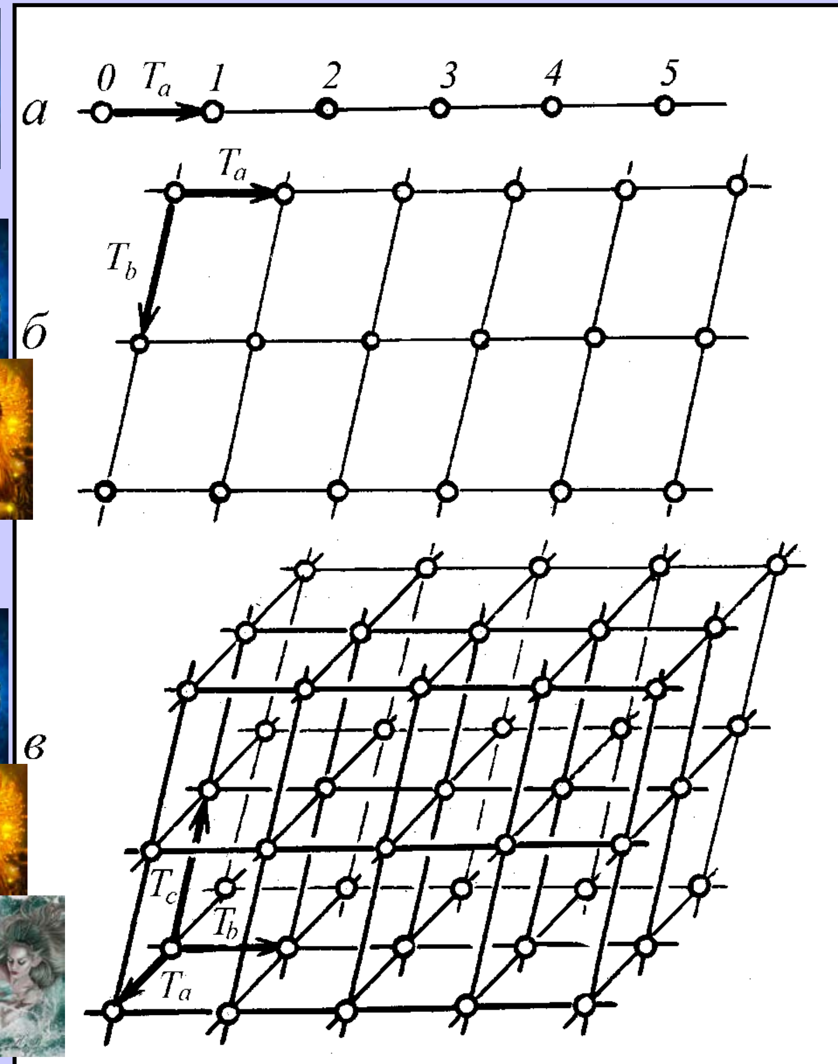
Выразителем трехмерной периодичности является пространственная решетка – **НОВЫЙ элемент симметрии,** задающий и осуществляющий повторяемость эквивалентных точек кристаллического пространства (в физическом и в геометрическом смысле) в **трех** некомпланарных направлениях (**управляется тремя разными трансляциями!**). Решетка как бы **управляет расположением атомов в кристалле** и является тем главным элементом симметрии, без которого нельзя представить строение ни одного кристалла.

СИММЕТРИЯ КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ СТРУКТУР

Пространственная решетка – *своеобразный элемент симметрии*, задающий и осуществляющий повторяемость ***эквивалентных точек кристаллического пространства*** в трех некомпланарных направлениях





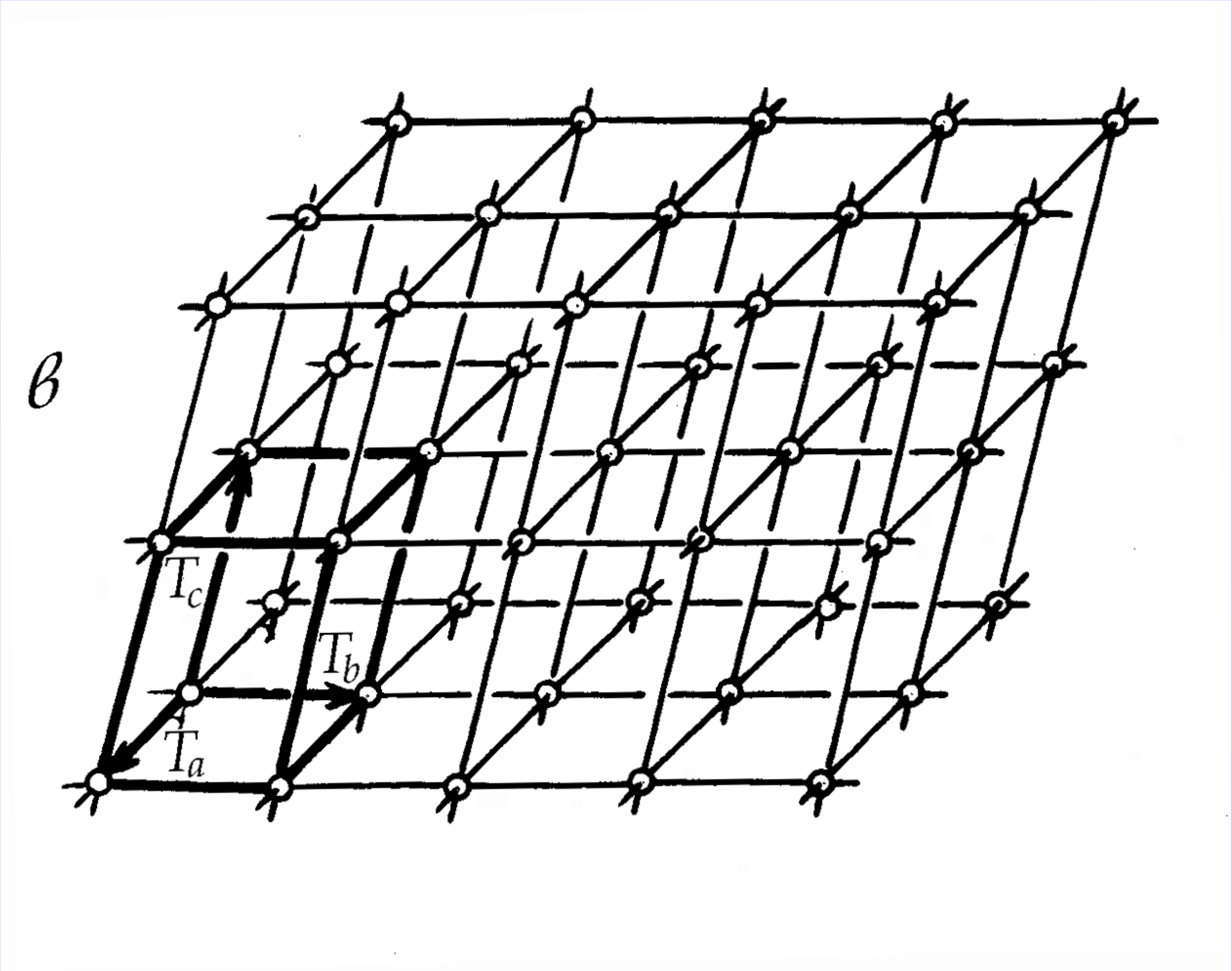




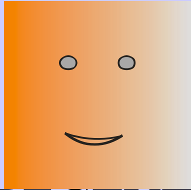
Трехмерная решетка – **выразитель** кристаллического состояния вещества

Решетка не есть нечто материальное – не конкретная структура кристалла, т.е. не конкретная укладка атомов (или фигур) в неподвижных узлах решетчатого каркаса,

а математический образ – схема, с помощью которой мы описываем периодичность кристаллического вещества, не зависящая от того, какая точка трехмерного пространства (узора) принята за исходный узел (три нематериальные трансляции создают решетку).

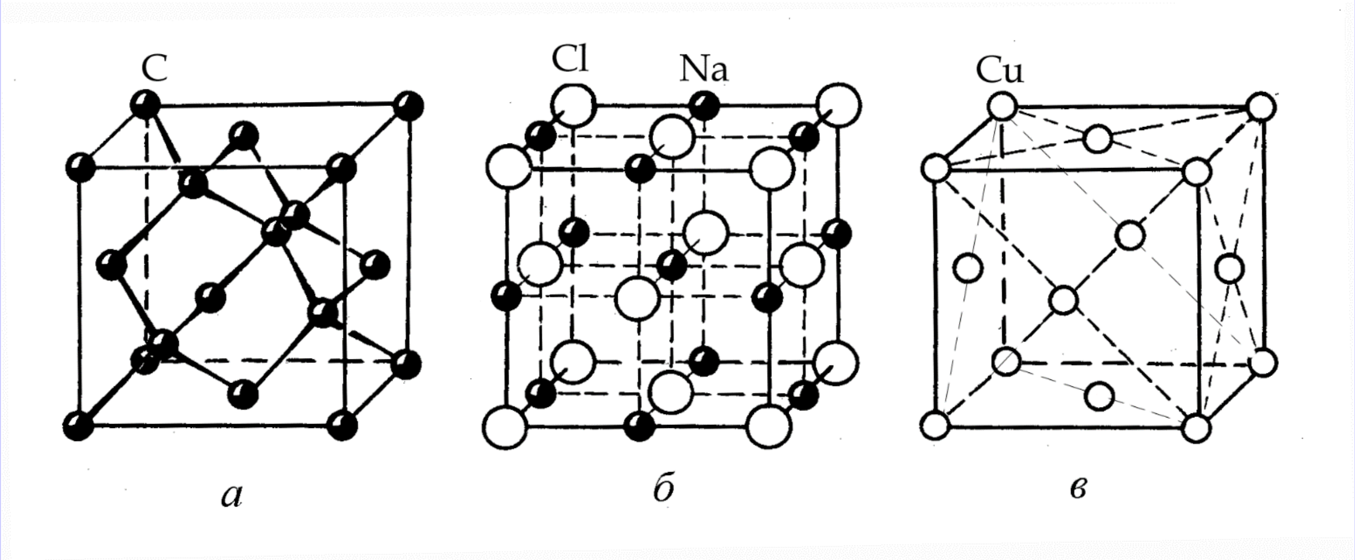
Трехмерная узловая сетка – **трехмерная пространственная решетка** с выделенным параллелепипедом повторяемости



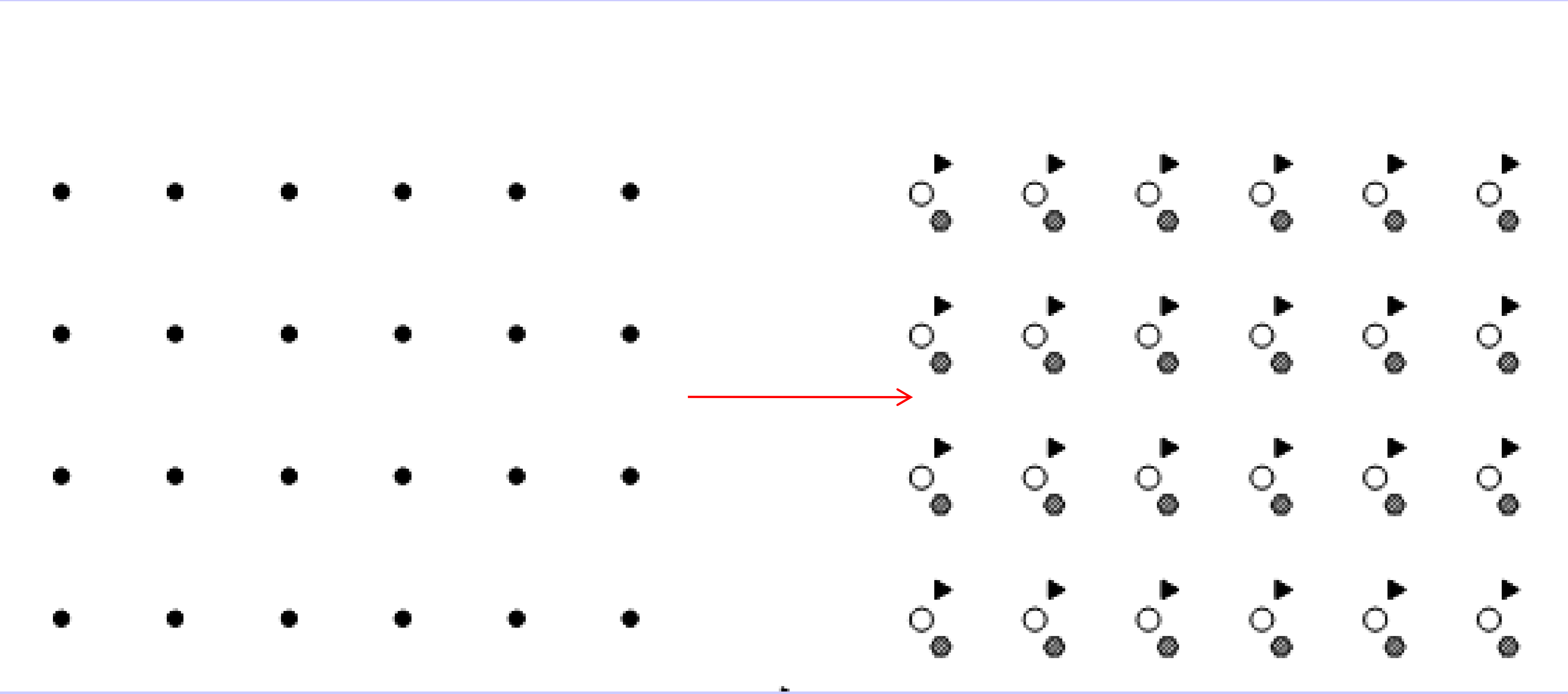


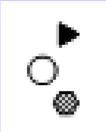
Кстати!

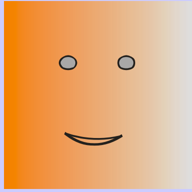
ПРЕСТУПНО! смешивать термины «*кристаллическая решетка*» и «*кристаллическая структура*», ибо первый обозначает **один из элементов симметрии**, с помощью которых можно описать симметрию кристаллической структуры, а второй – конкретное химическое наполнение пространства! Путаников будем жестоко наказывать!



Кристаллические структуры алмаза C (а), галита NaCl (б) и меди (Cu) **описываются одной и той же решеткой**



Решетка + Базис  = Кристаллическая структура



Поэтому *решеток* всего

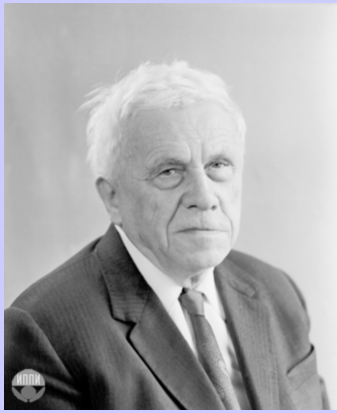
ммм…. вычислим чуть позже

а «*кристаллических структур*»

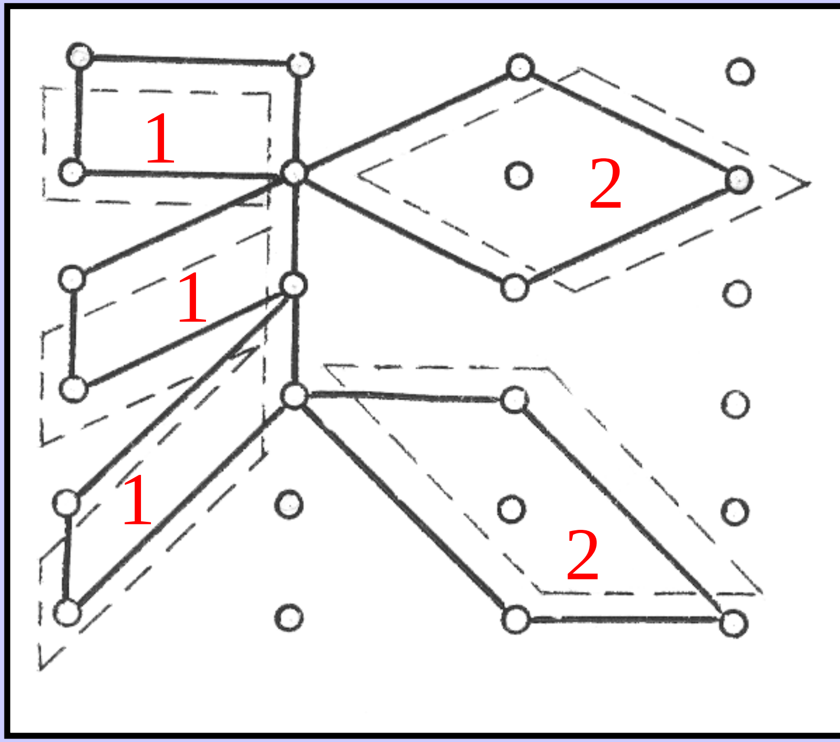
сотни и сотни тысяч

Трехмерная решетка – выразитель кристаллического состояния вещества

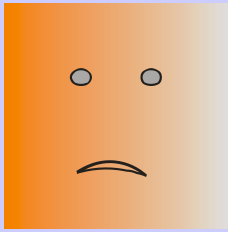
- «Кристалл находится в состоянии решетки»



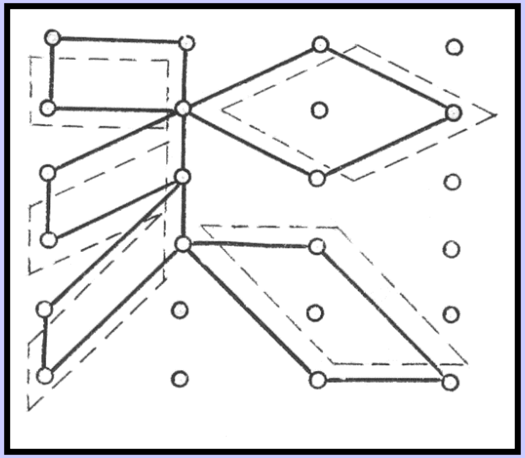
академик Н.В.Белов

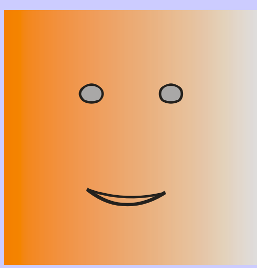


- Все примитивные ячейки равновелики.
- На одну ячейку приходится один узел.
- Число узлов, приходящихся на одну ячейку, показывает **во сколько раз** она больше примитивной ячейки этой же решетки. ***Спорим, что* S(2) любой = 2S(1) любой?**



Как же выбрать параллелепипед (ячейку) правильно?

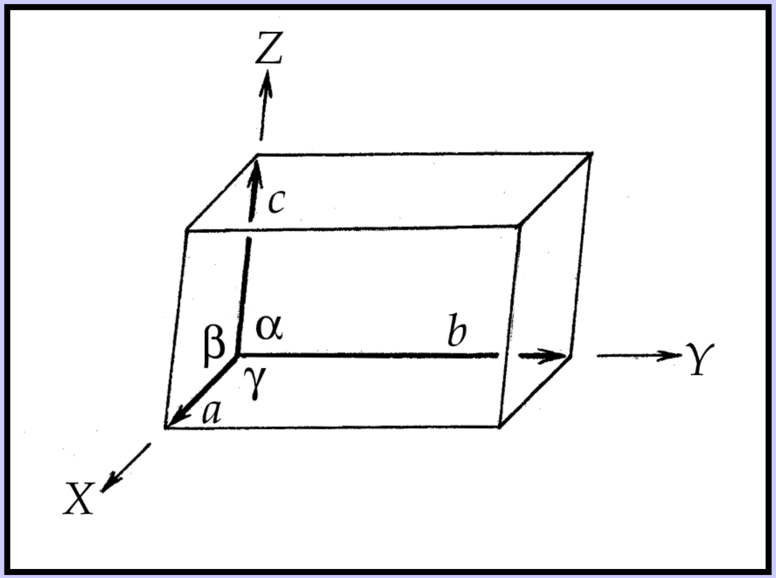




Правила выбора придумал Огюст Браве (*1811-1863 гг.)*

Элементарная ячейка (ячейка Браве) –

это параллелепипед, построенный на трех трансляционных векторах, ***совпадающих с направлениями максимальной симметрии кристалла.***

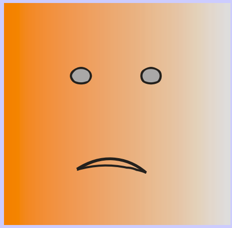


Каждая ячейка Браве характеризуется своими параметрами – константами решетки: тремя координатными векторами T_x, T_y, T_z (или a, b, c) и углами α, β, γ

Основная ячейка построена на трех ***минимальных*** трансляциях решетки: $a_{min} \leq b_{min} \leq c_{min}$

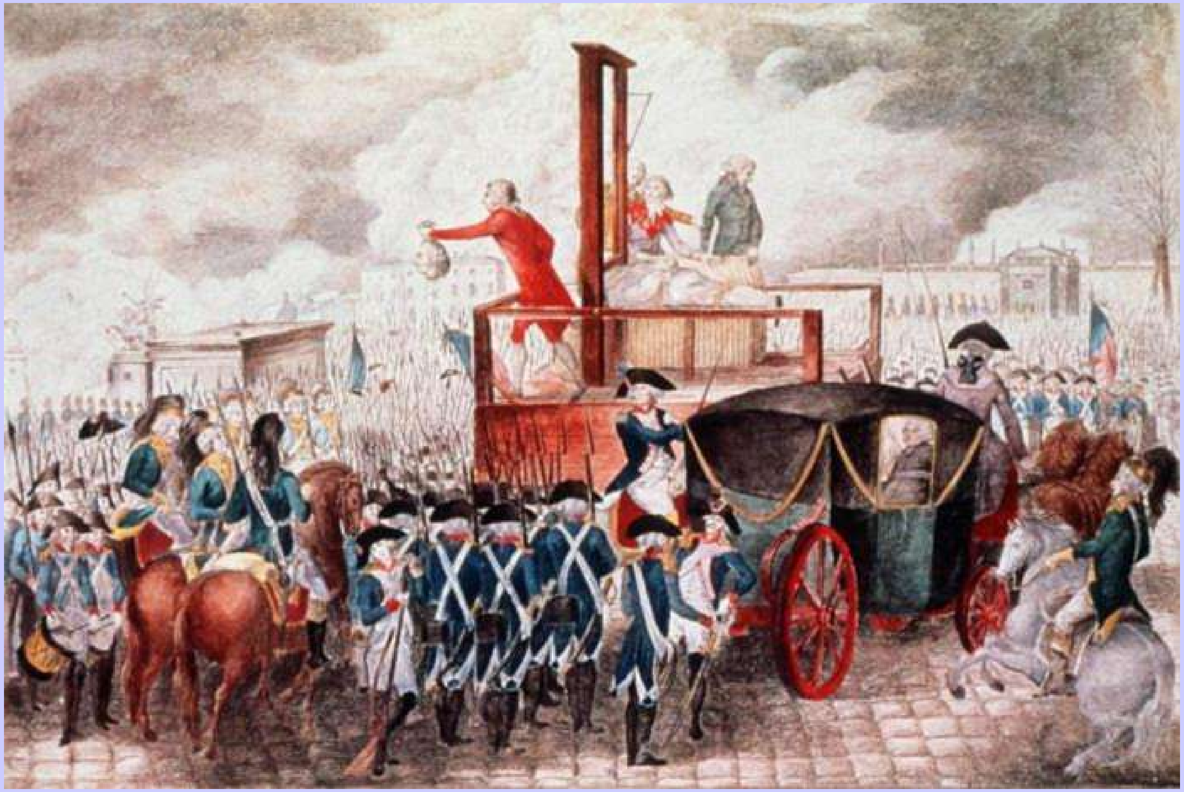
Правила выбора ячейки Браве

1) Построена (по возможности) на трех ***кратчайших*** неколлинеарных трансляционных векторах,
2) Но вектора должны совпадать с особыми направлениями максимальной симметрии
3) При этом число прямых углов должно быть максимальным



(вспомним принцип Кюри) – неправильно выбрав ячейку, можно потерять ряд элементов симметрии объекта, а это ***преступление в микромире!***

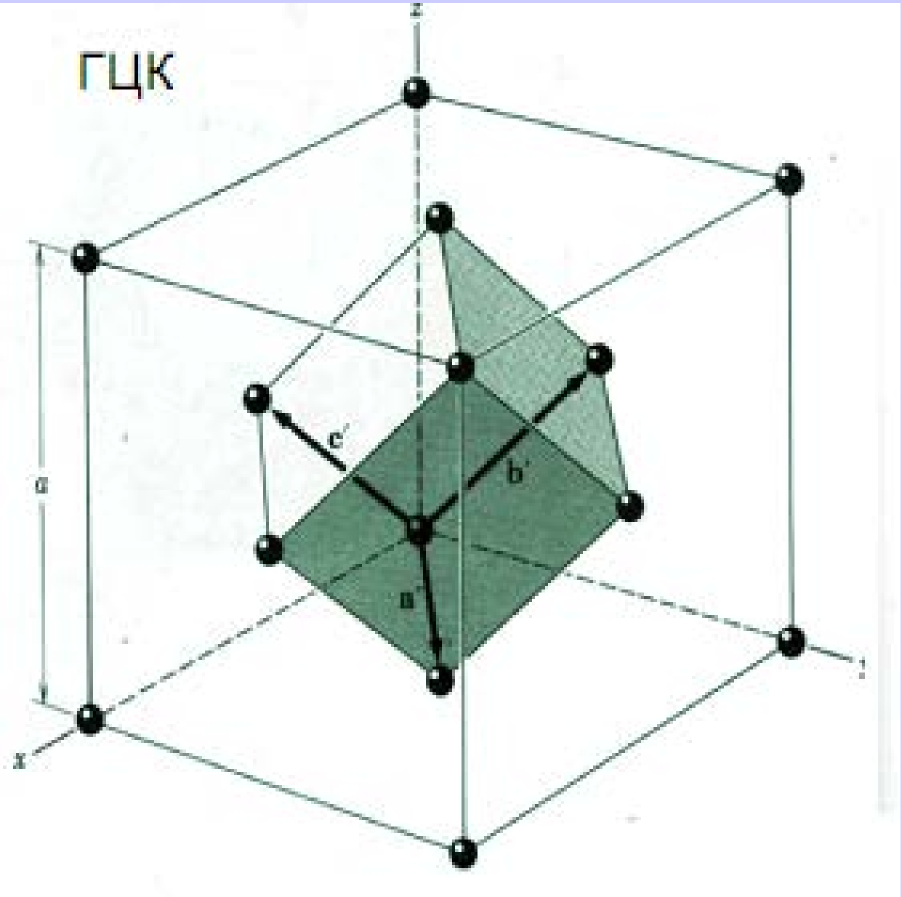
НАРУШИТЕЛЕЙ В МИКРОМИРЕ КАЗНЯТ СРАЗУ



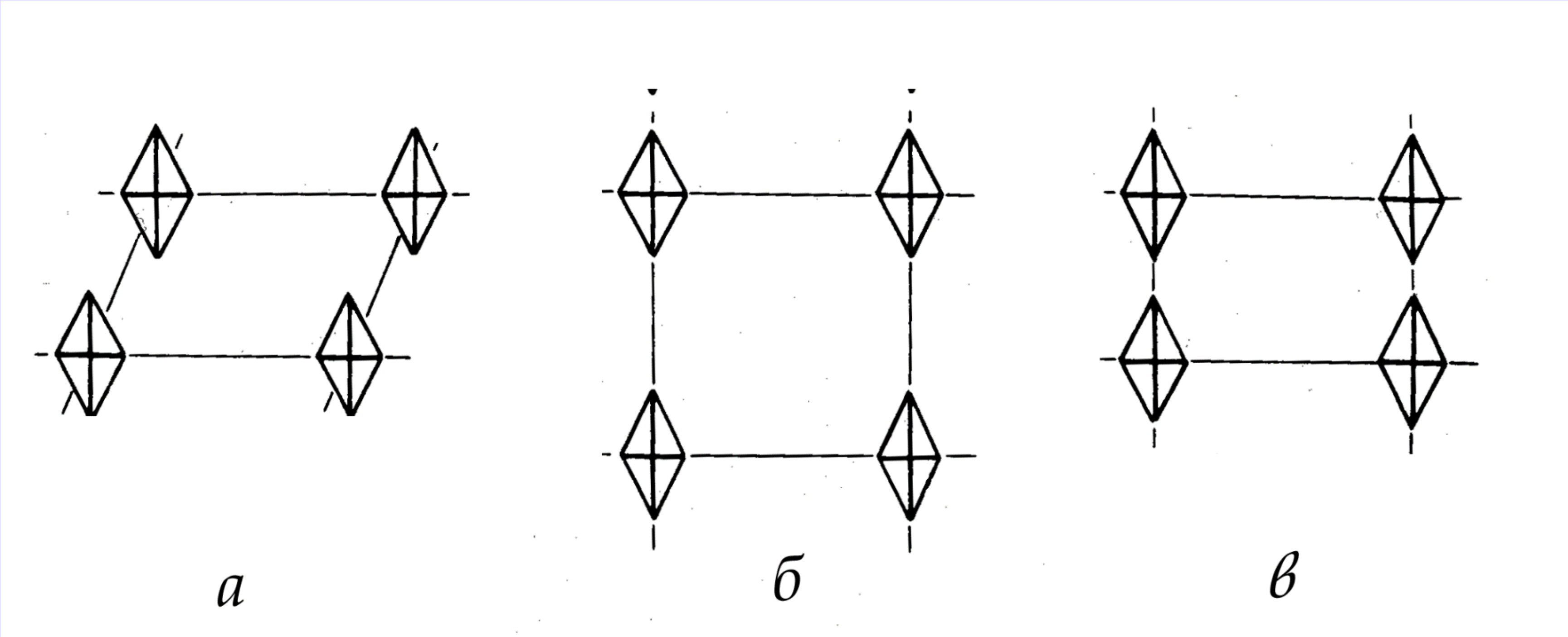
Картина в микро-мирной Третьяковке

«Неправильно выбрал элементарную ячейку»

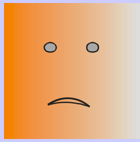
Основная ячейка и ячейка Браве не всегда равны друг другу



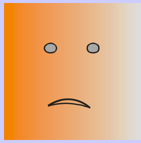
Как прясть двумерные ковры правильно



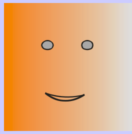
а) – группа симметрии решетки 2 не содержит всех элементов симметрии фигуры *mm*2 – **узор** наследует лишь общий для решетки и фигуры элемент симметрии - ось **2**



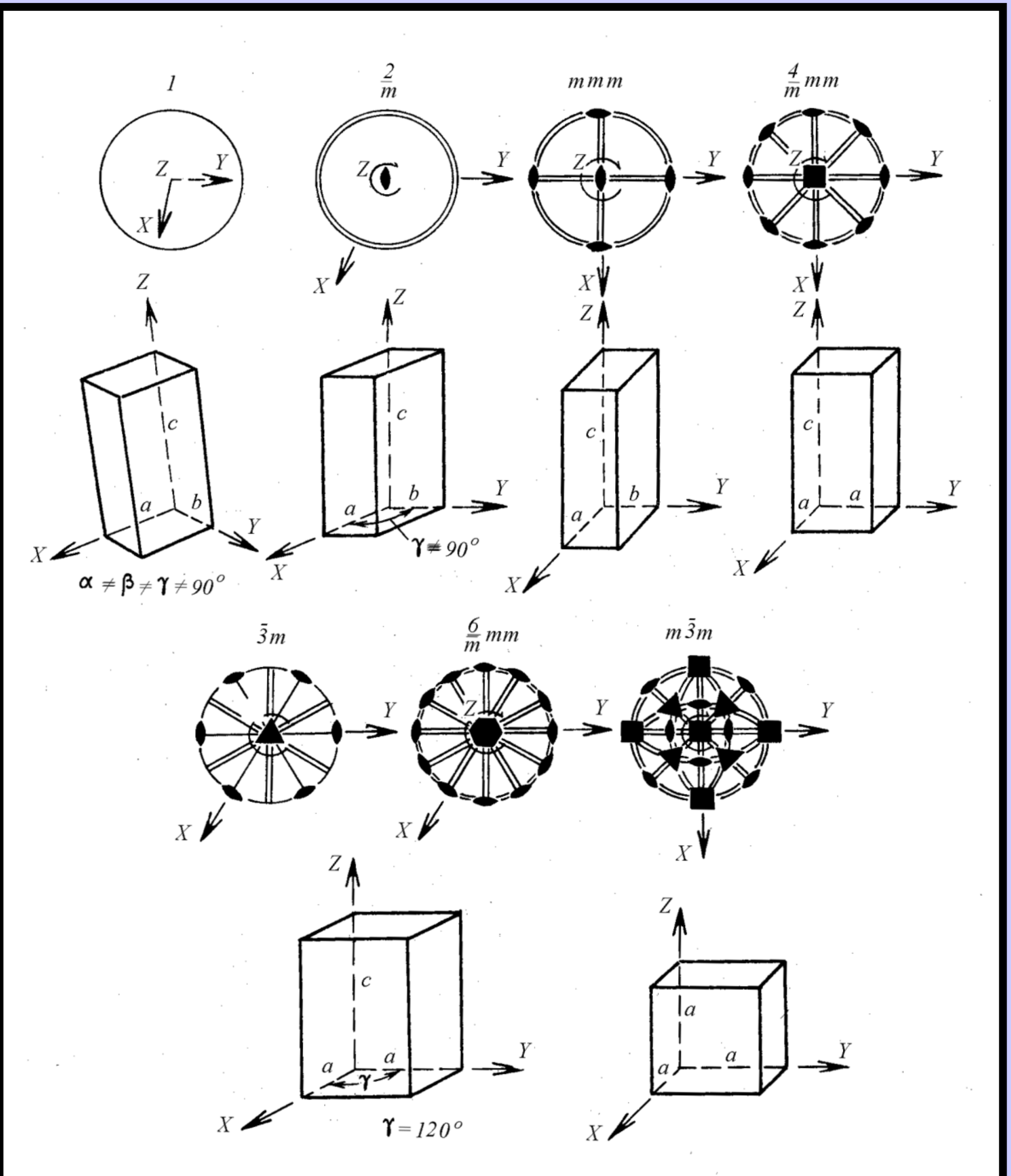
б) - симметрия фигуры *mm*2, и, хотя симметрия решетки выше – 4*mm*, **узор** наследует лишь симметрию фигуры – ***mm*2**



в) – симметрия фигуры *mm*2 и решетки *mm*2 совпадают – **узор приобретает ту же симметрию**

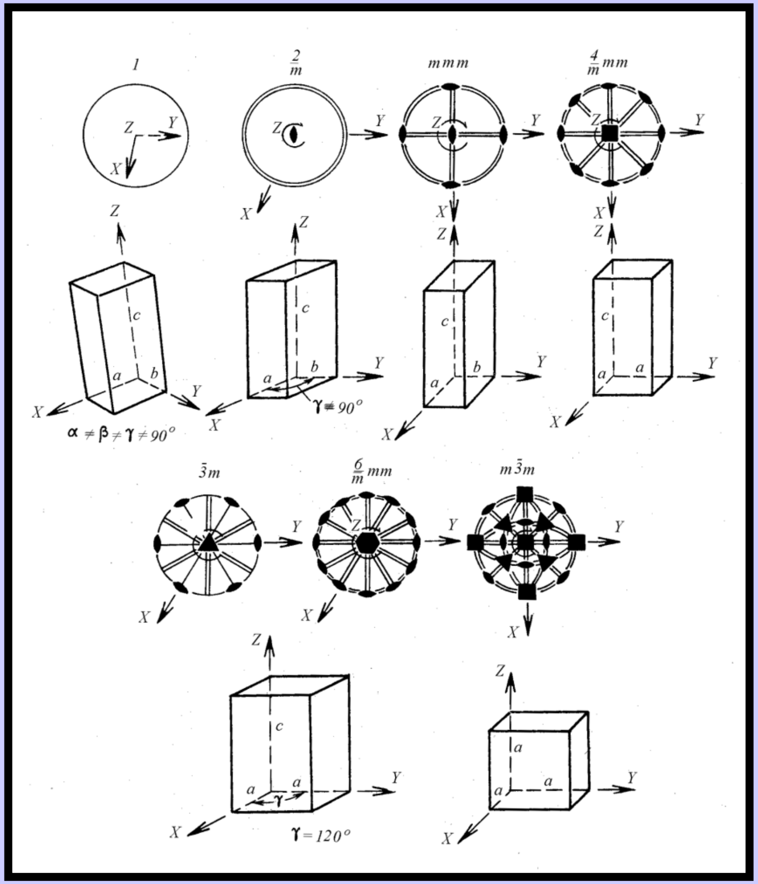


Шесть различных по форме решеток Браве (элементарных ячеек) соответствуют шести сингониям



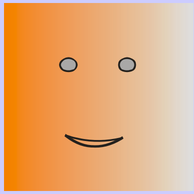
Должна быть «Голоэдрия» (самый симметричный класс)!

Триклинная -1
Моноклинная 2/*m*
Ромбическая *mmm*
Тетрагональная 4/*mmm*
Гексагональная* 6/*mmm*
Кубическая *m*-3*m*



Симметрия всех 12 групп гексагональной сингонии может быть передана бесконечному узору решеткой гексагональной **голоэдрии** *6/mmm*

Однако принцип минимума возможной симметрии позволяет для групп с осями 3-го порядка – групп ***тригональной подсингонии*** использовать решетку пониженной симметрии гексагональной ***геми***эдрии: -3*m* (тригональной «*голоэдрии*»)

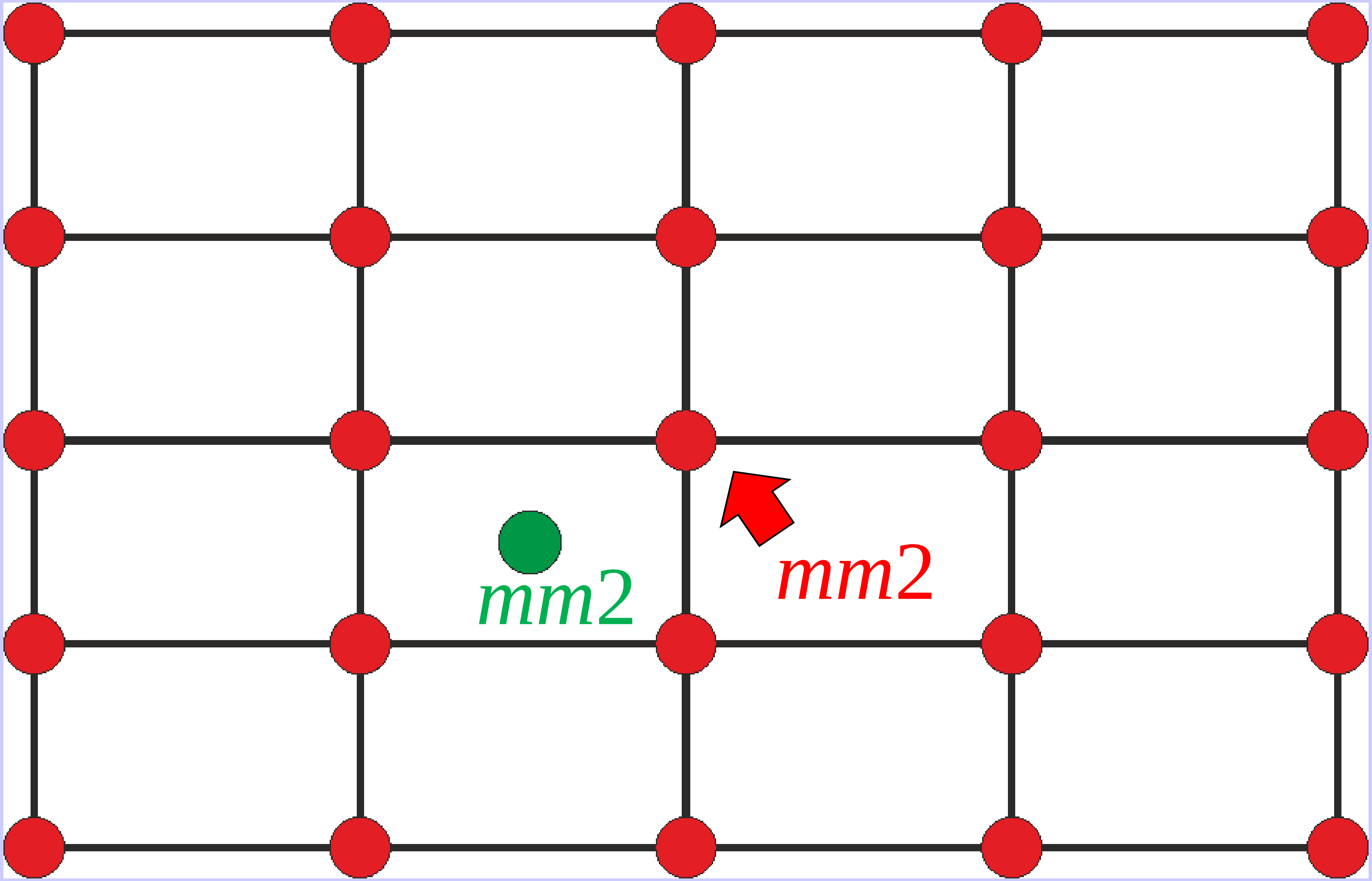


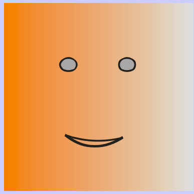
Кстати!

могут быть не только примитивные решетки Браве

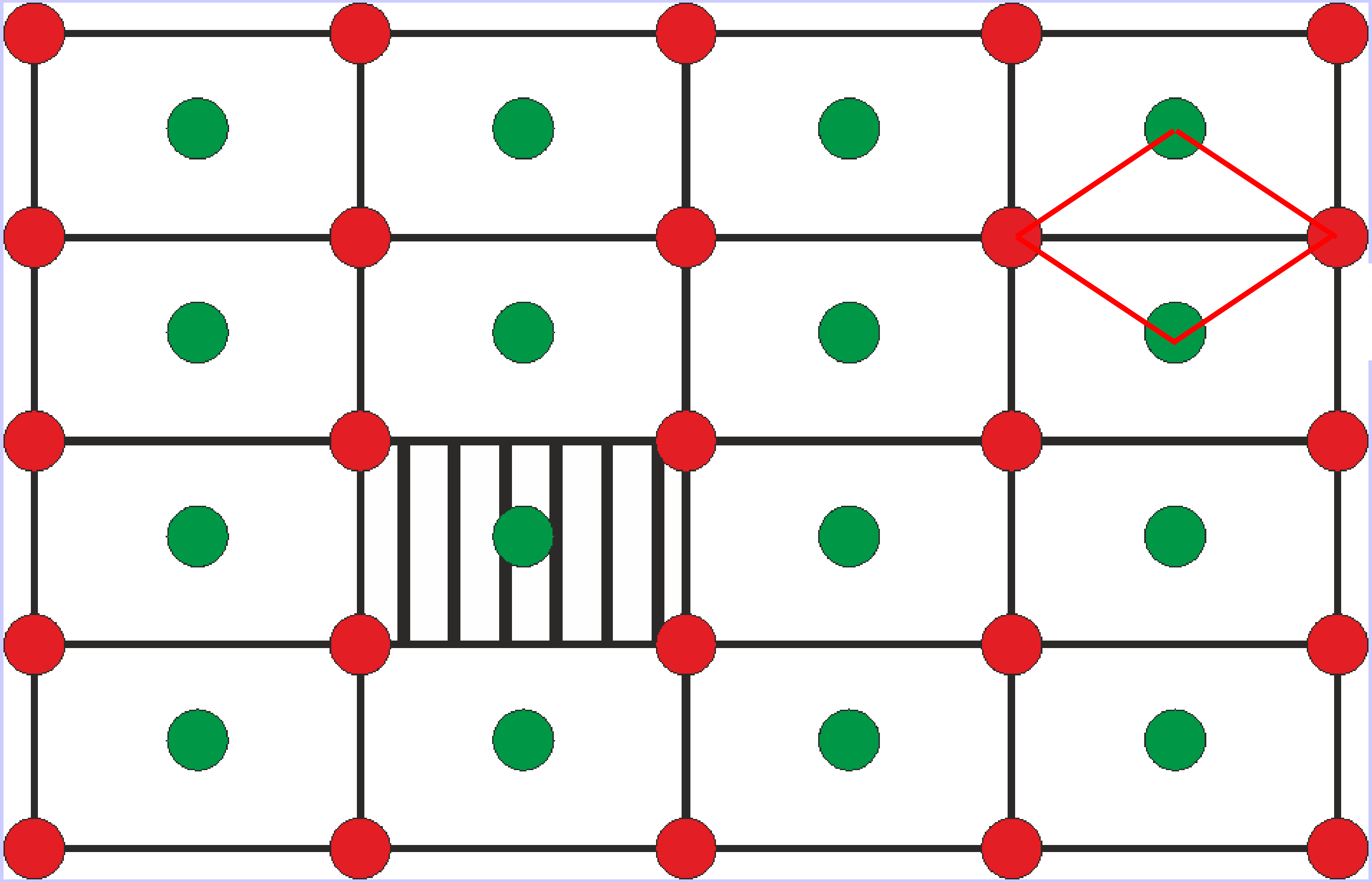
<u>Внутри</u> параллелепипеда Браве могут оказаться узлы с эквивалентной симметрией

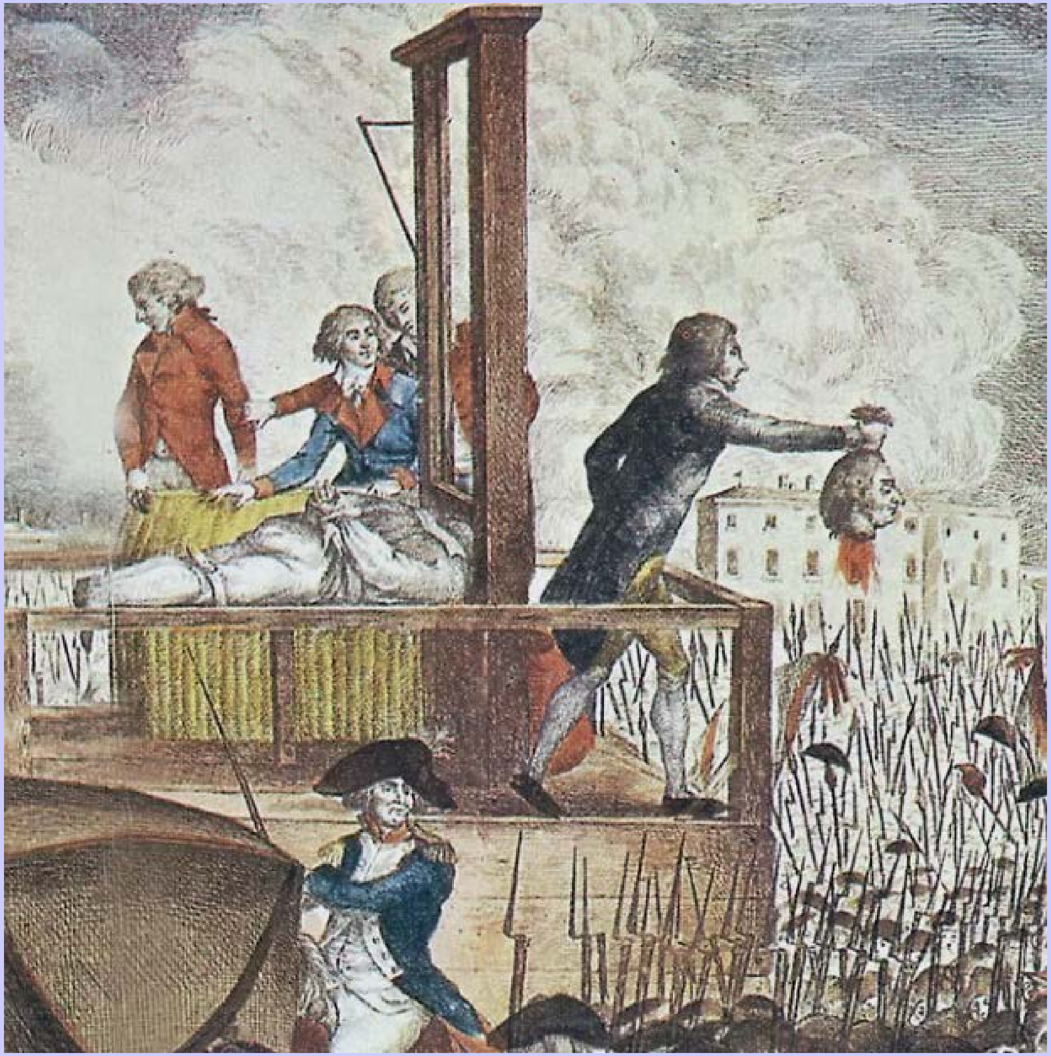
Пример - иллюстрация



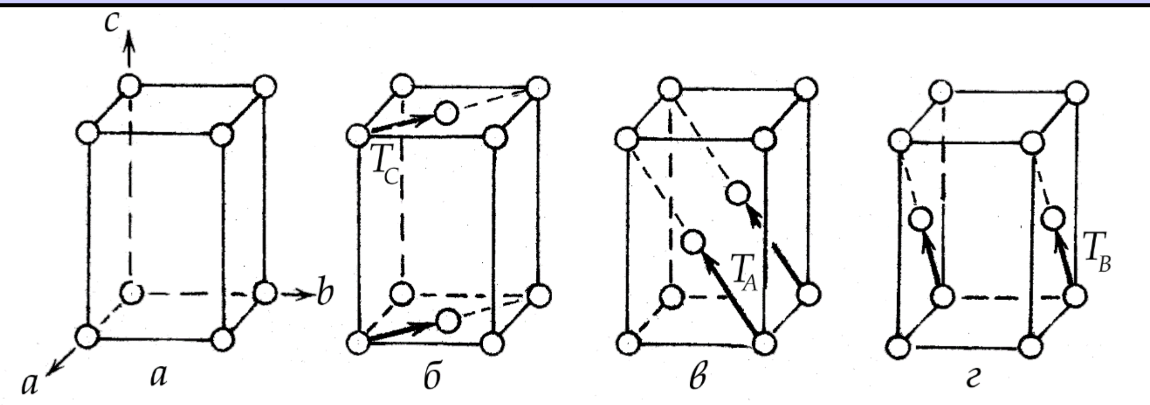


Пример - иллюстрация





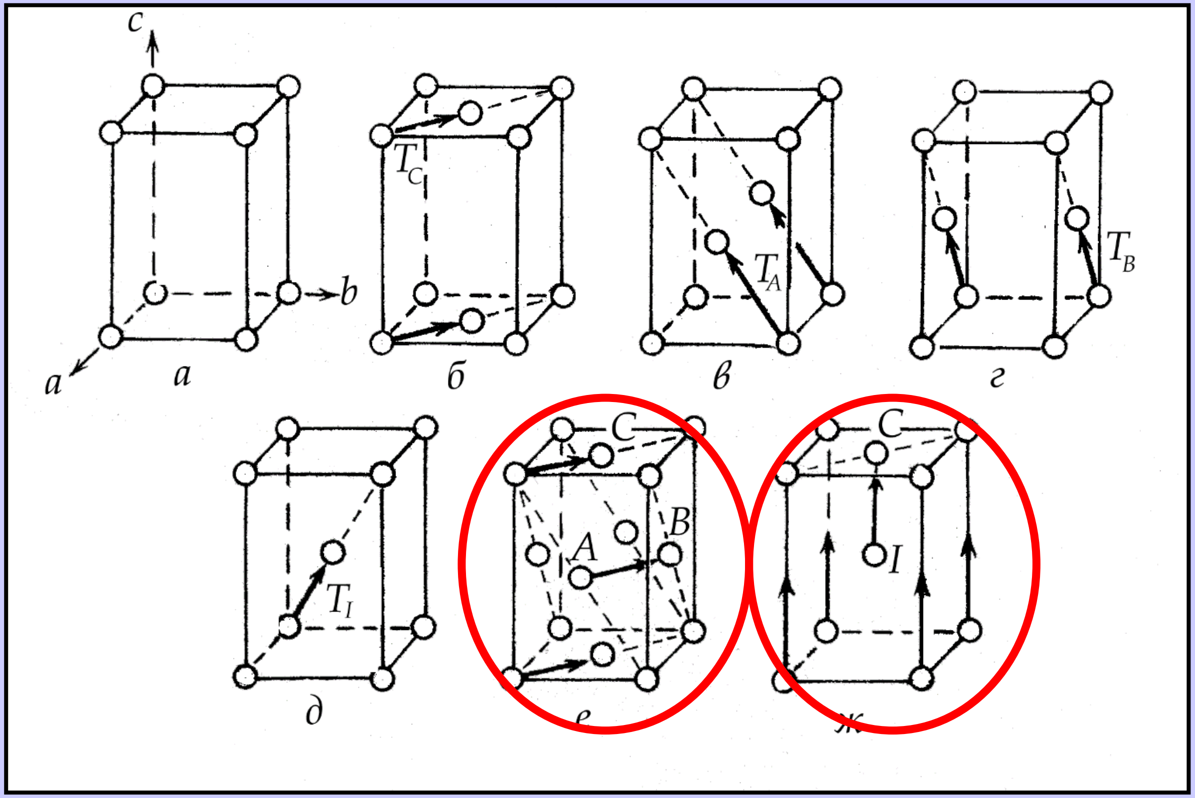
Картина в микро-мирной Третьяковке
«Ушел от прямых углов без разрешения»



а – ***примитивная*** (***P***),

б - ***базоцентрированная*** (***C***),

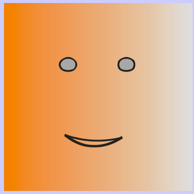
в,г - ***бокоцентрированная*** (***A***, ***B***),



д – ***объемноцентрированная*** (**I**),

е – центрировка граней *А* и *В* приведет центрировке и грани *С*, т.е. к ***гранецентрированная*** ячейке (***F***),

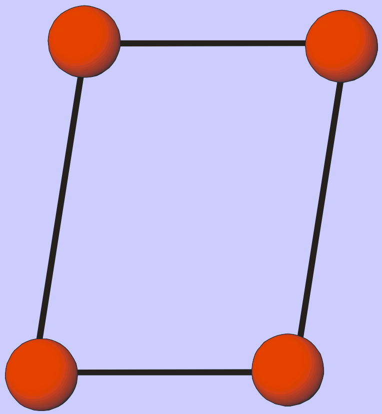
ж – центрировка грани *С* и объема (*I*) приведет к центрировке ребра с ячейки, т.е. к выбору ячейки меньшего размера.



Сколько же всего Браве насчитал решеток ????

Триклинная сингония

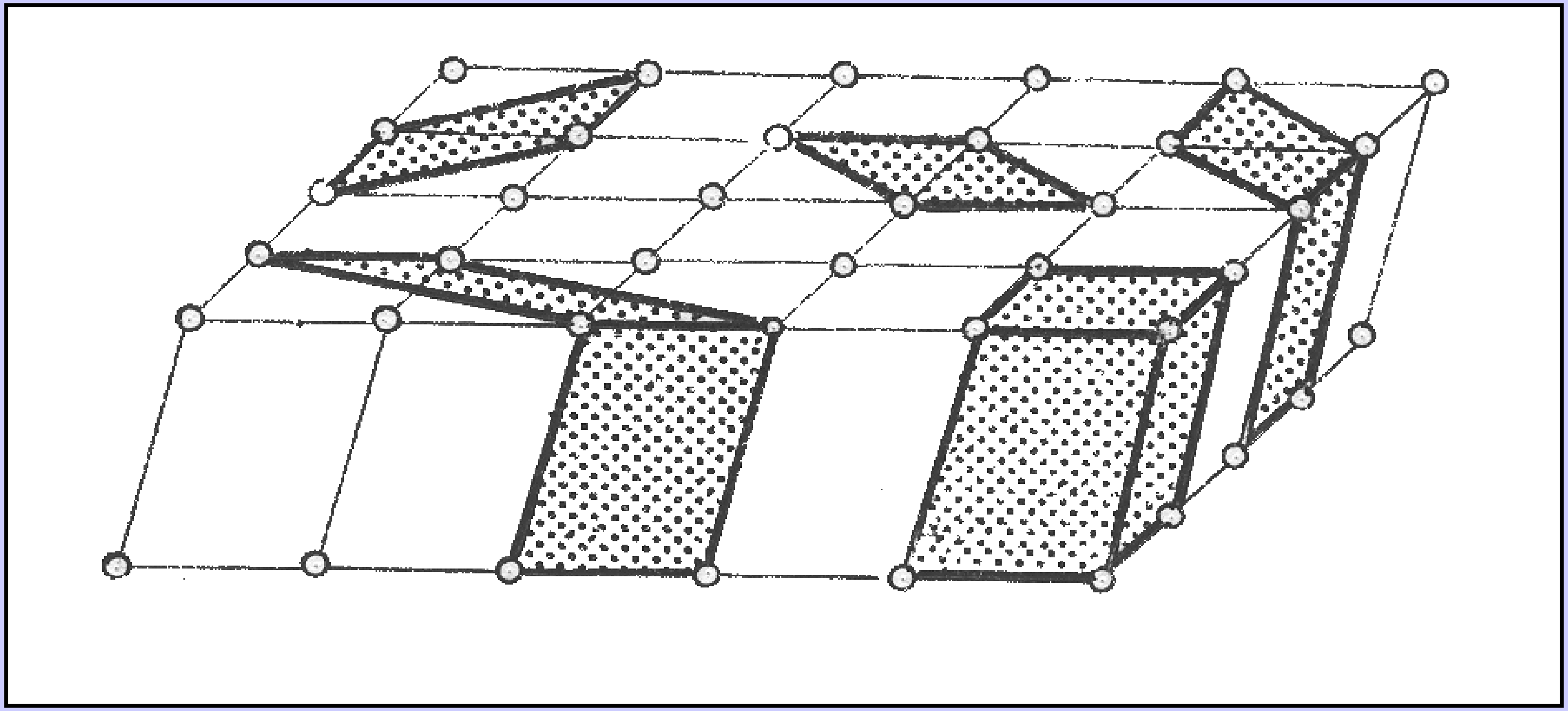
	Примитивная *P - ячейка*	Базо (боко-центрированная) *C - ячейка (A, B)*	Объемно центрированная *I - ячейка*	Гране-центрированная *F - ячейка*



Любая триклинная ячейка может быть представлена одним из косоугольных параллелепипедов минимального объема без дополнительных узлов

ИТОГО - 1

Решетка триклинной симметрии. Выделены различные примитивные параллелепипеды

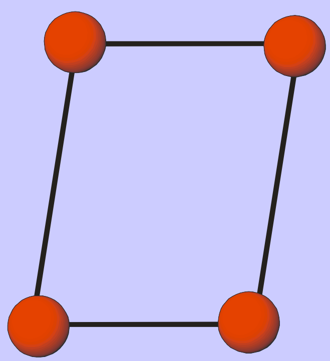


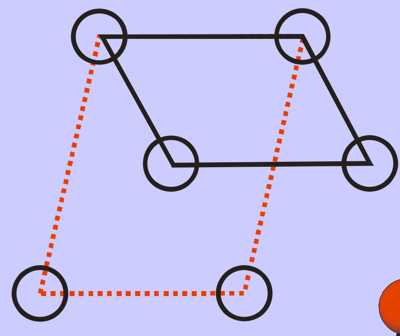
Правила выбора ячейки Браве

Углы приближены к 90 и тупые

Моноклинная сингония

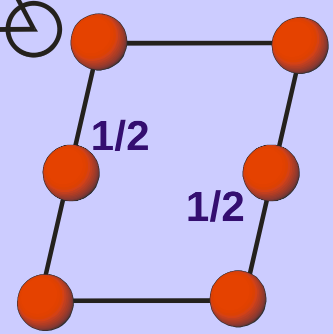
	Примитивная *P - ячейка*	Базо (боко-центрированная) *C - ячейка (A, B)*	Объемно центрированная *I - ячейка*	Гране-центрированная *F - ячейка*

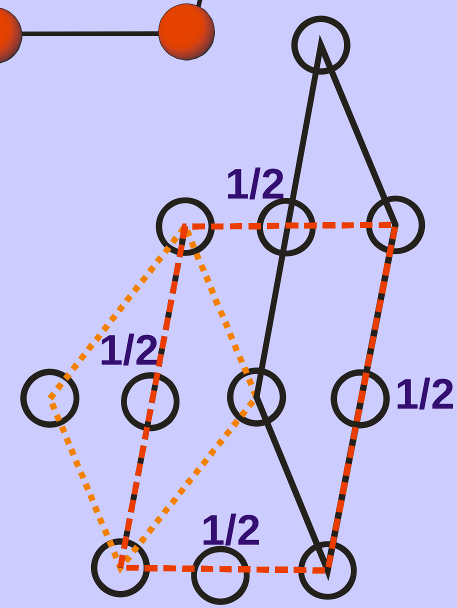




C=P

B(A)



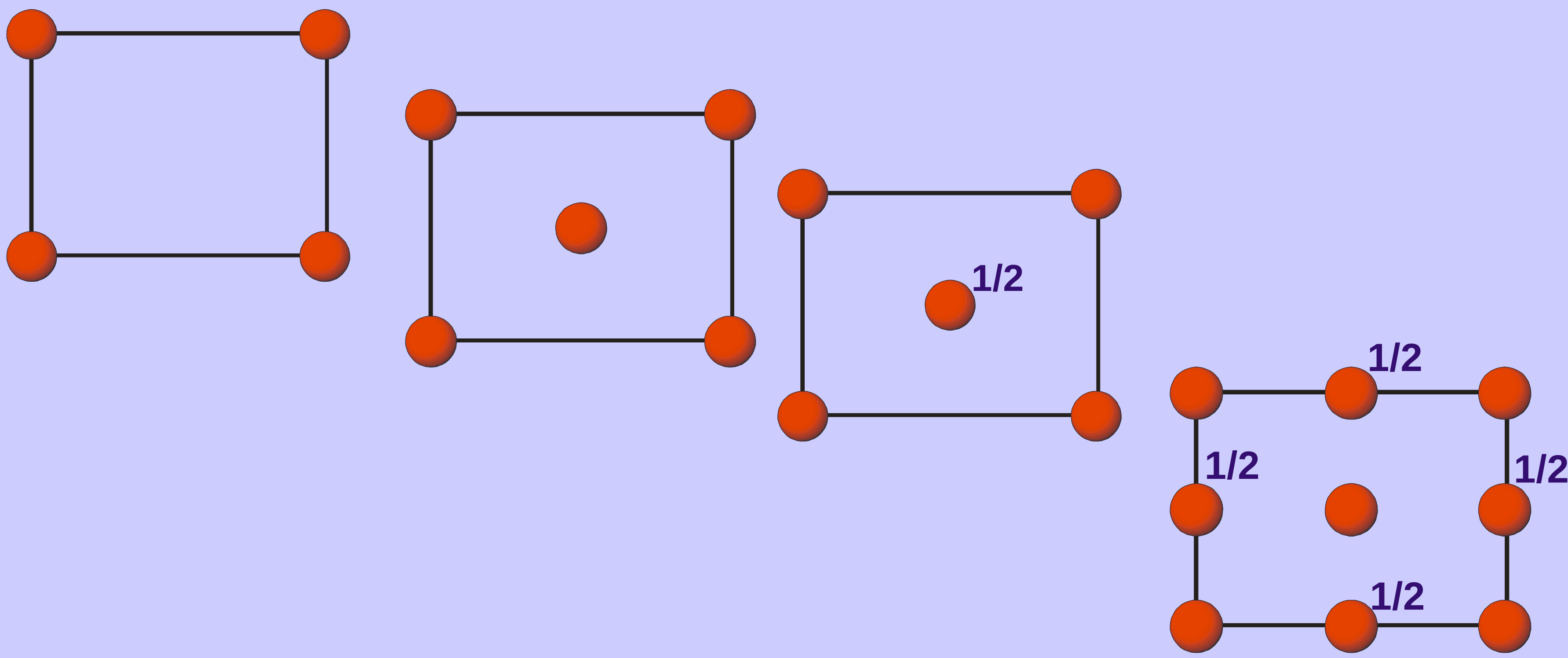


F=I=B

ИТОГО: 2+1=3

Ромбическая сингония

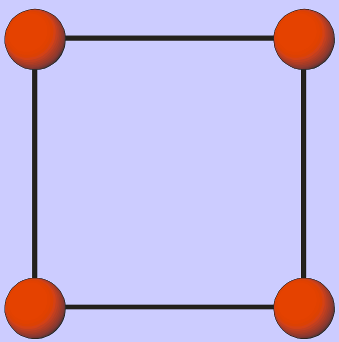
	Примитивная ***P - ячейка***	**Базо (боко-центрированная)** ***C - ячейка (A, B)***	**Объемно центрированная** ***I - ячейка***	**Гране-центрированная** ***F - ячейка***



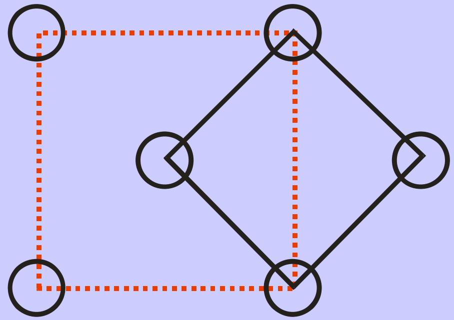
ИТОГО: 4+3=7

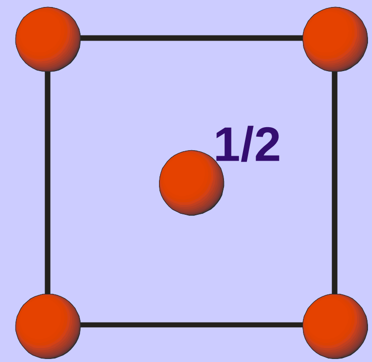
Тетрагональная сингония

	Примитивная *P - ячейка*	Базо (боко-центрированная) *C - ячейка (A, B)*	Объемно центрированная *I - ячейка*	Гране-центрированная *F - ячейка*

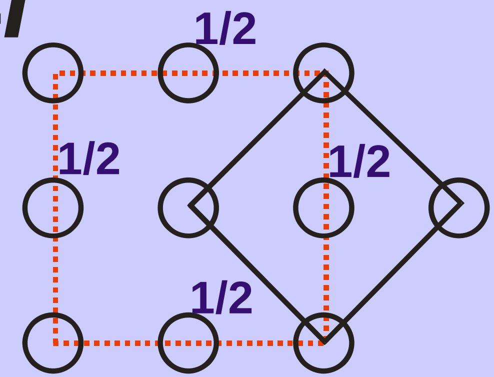


C=P





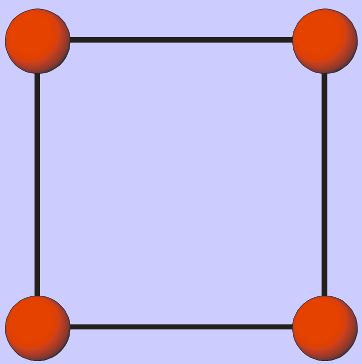
F=I

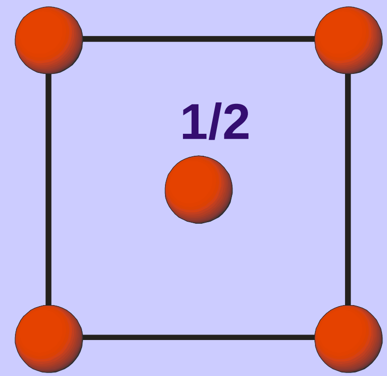


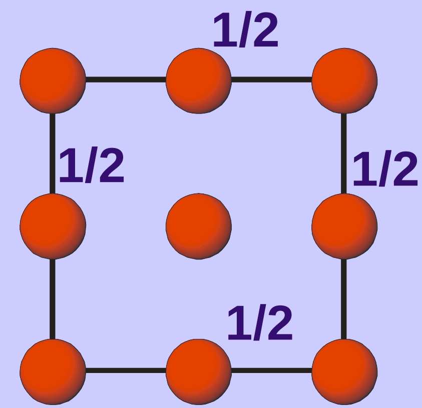
ИТОГО: 2+7=9

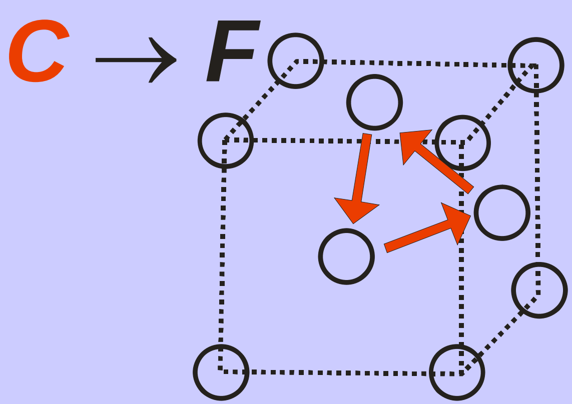
Кубическая сингония

	Примитивная *P - ячейка*	Базо (боко-центрированная) *C - ячейка (A, B)*	Объемно центрированная *I - ячейка*	Гране-центрированная *F - ячейка*



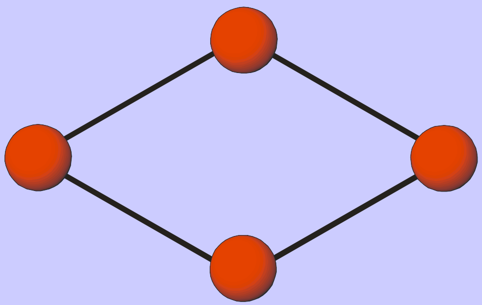






ИТОГО: 3+9=12

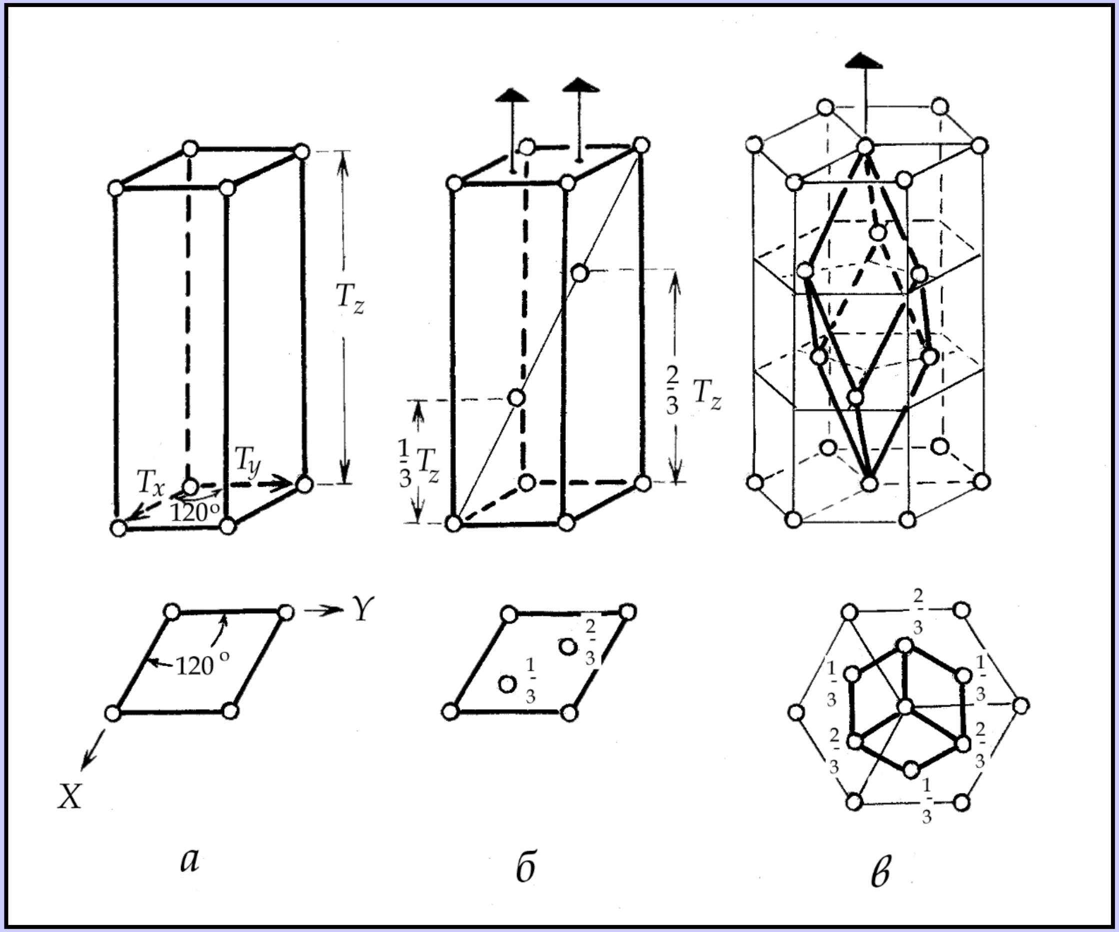
Гексагональная сингония

	Примитивная *P - ячейка*	Базо (боко-центрированная) *C - ячейка (A, B)*	Объемно центрированная *I - ячейка*	Гране-центрированная *F - ячейка*
		Симметрия позиции не соответствует симметрии вершинного узла	?	Симметрия позиции не соответствует симметрии вершинного узла

ИТОГО: 1+12=13?

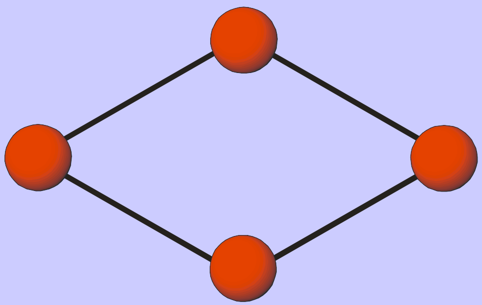
Ячейки Браве гексагональной сингонии:

а – ***примитивная*** (P), *б* – дважды ***объемноцентрированная*** (ромбоэдрическая) R и ее примитивный параллелепипед – ***ромбоэдр*** (*в*)

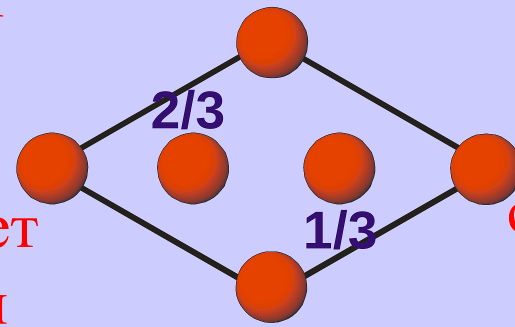


Гексагональная сингония

	Примитивная *P - ячейка*	Базо (боко-центрированная) *C - ячейка (A, B)*	Объемно центрированная *I - ячейка*	Гране-центрированная *F - ячейка*

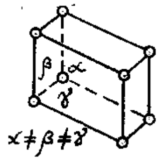
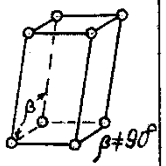
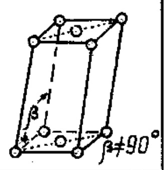
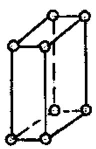
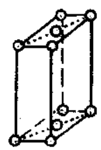
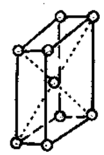
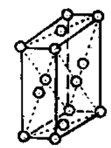
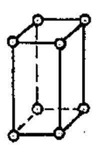
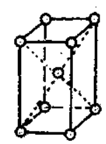
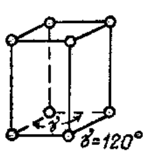
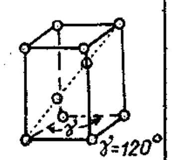
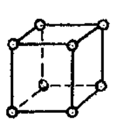
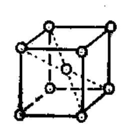
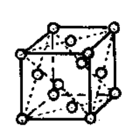


Симметрия позиции не соответствует симметрии вершинного узла

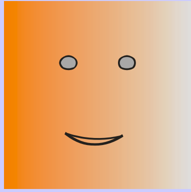


Симметрия позиции не соответствует симметрии вершинного узла

ИТОГО: 2+12=***14***

Сингония	Тип решетки				
	примитивная P	базоцентрированная C (A, B)	объемноцентрированная I	гранецентрированная F	дважды объемноцентрированная (ромбоэдрическая) R
Триклинная					
Моноклинная					
Ромбическая					
Тетрагональная					
Гексагональная					
Кубическая					

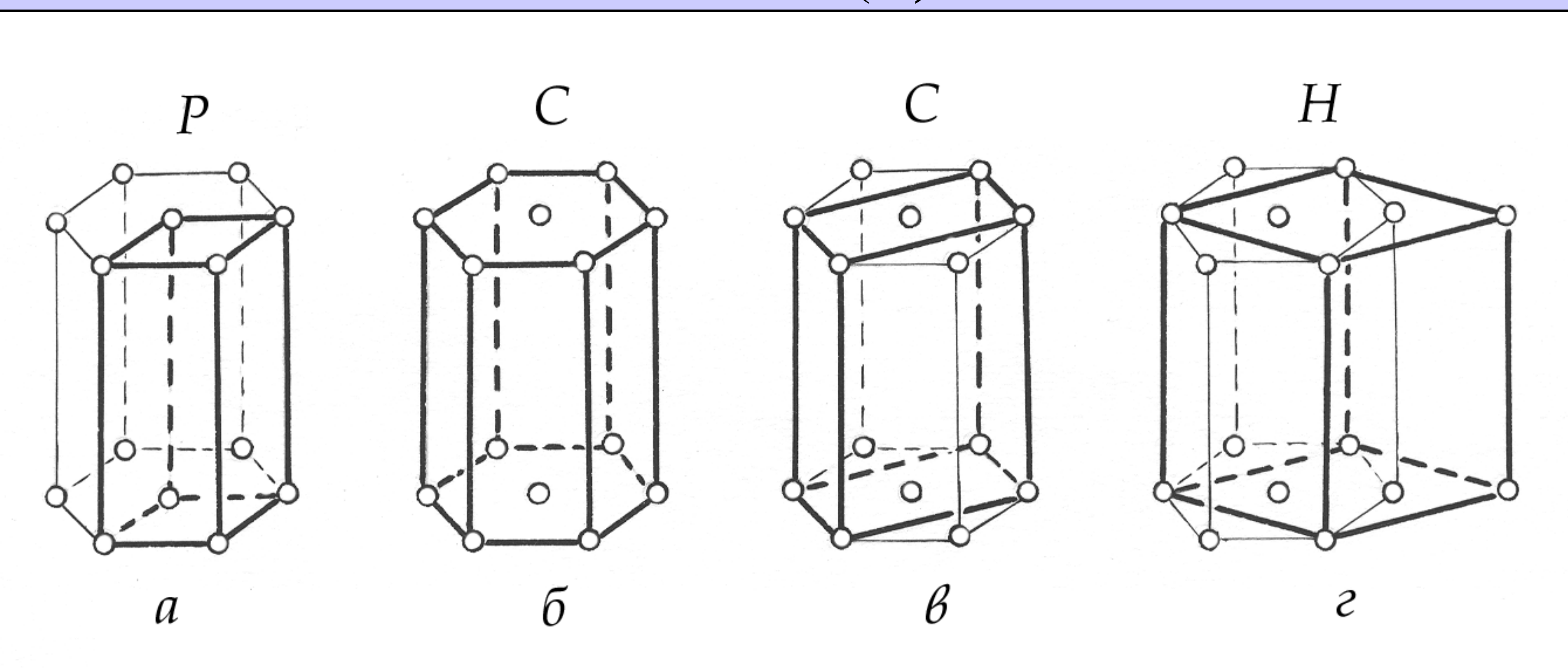
14 ячеек Браве, соответствую-щих 14 решеткам Браве

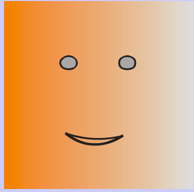


Атавизмы

Различный выбор элементарных ячеек в решетке гексагональной симметрии:

а – примитивная ячейка Браве (***P***), *б* – гексагональная базоцентрированная призма (*C*), *в* – базоцентрированная ортогональная ячейка (*C*), *г* - дважды базоцентрированная ячейка (*H*)





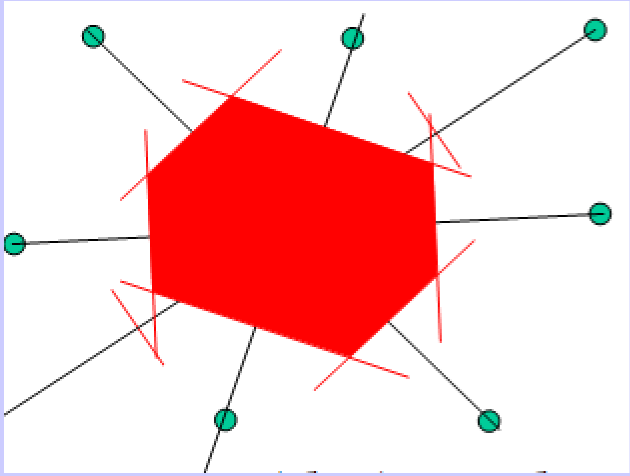
Надо знать (пригодится позже)

В физике твердого тела особенное значение имеет примитивная ячейка Вигнера-Зейтца, которая конструируется следующим образом (*в кристаллохимии это называется по другому – полиэдры Вороного-Дирихле*)

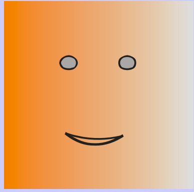
(а) Строятся линии, соединяющие ближайшие узлы решетки

(б) проводим перпендикуляры к этим линиям в их середине

(в) Многогранник наименьшего объема - ячейка Вигнера-Зейтца

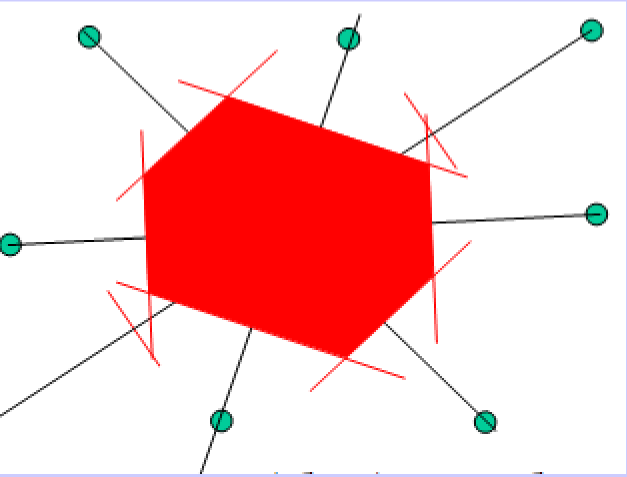


Ячейка Вигнера-Зейтца имеет тот же объем, что и обычная примитивная ячейка и содержит 1 узел. Если подвергнуть эту ячейку трансляциям, определяемым всеми векторами решетки, то она заполнит все пространство без перекрытия и разрывов. ***Симметрия ячейки Вигнера-Зейтца такая же, как и у соответствующей ячейки Браве***!



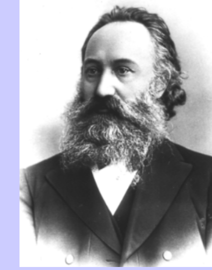
Надо знать (пригодится позже)

Другие названия такого разбиения - ***области Дирихле*** для плоскости (по имени немецкого математика Йохана Петера Густава Лёжена Дирихле (1806-1859)). Для пространства такие области были впервые построены русским математиком Георгием Феодосьевичем Вороным (1868-1908), и поэтому они обычно называются ***областями Вороного – Дирихле***. Разбиение Вороного пространства на «области влияния» играет огромную роль в практических задачах.

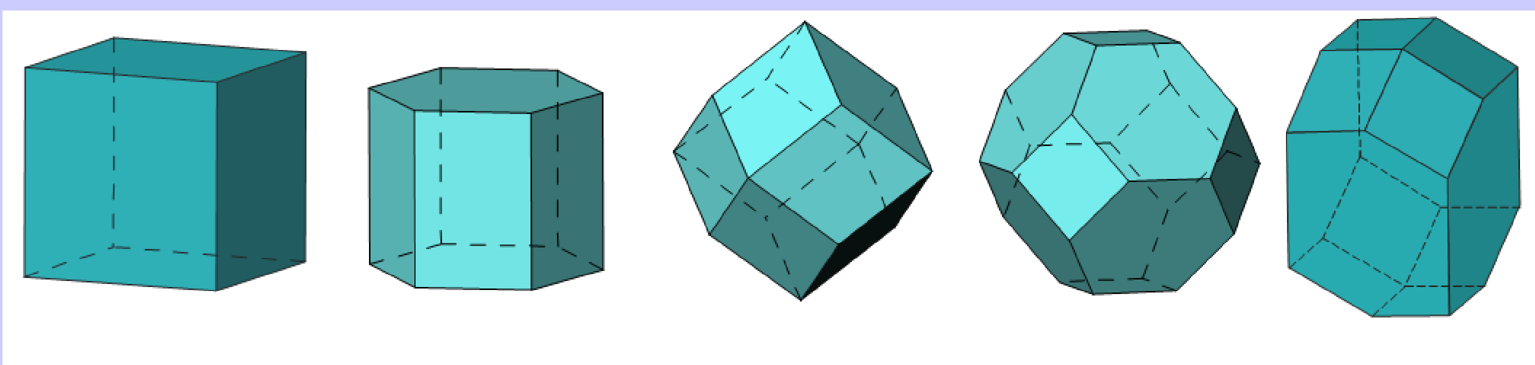


Например, если множество точек *p* будет соответствовать атомным позициям в кристаллической структуре, то вершины многогранников Вороного указывают расположение пустот, максимально комфортных для вхождения атомов другого сорта.

Разбиения на основе параллелоэдров Федорова

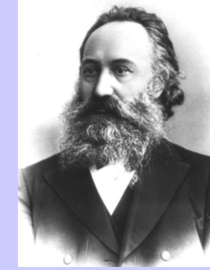


На рубеже 19-20 веков Е.С. Федоров создал теорию **параллелоэдров** - одинаковых выпуклых многогранников, заполняющих пространство в параллельном положении и имеющих попарно равные и параллельные грани. Последние могут быть как четырех-, так и шестиугольными. Федоров показал, что базовыми являются пять основных параллелоэдров с тремя (куб), четырьмя (гексагональная призма), шестью (ромбододекаэдр и многогранник с четырьмя шестиугольными и восемью ромбическими гранями) и семью (кубооктаэдр) парами параллельных граней



Пять основных параллелоэдров Е. С. Федорова: *а* – куб; *б* – гексагональная призма; *в* – ромбододекаэдр; *г* – кубооктаэдр. *д* – многогранник с четырьмя шестиугольными и восемью ромбическими гранями

Разбиения на основе параллелоэдров Федорова (фонетическая пауза)



Шла Саша по шоссе и сосала сушку. Для тех, кто не может выговорить: Продвигалась Александра по автомагистрали и ела хлебобулочное изделие

На **д**воре **т**рава, на **т**раве **д**рова.

О**т** **т**опо**т**а копы**т** пыль по полю ле**т**и**т**.

Ро**д**о**д**ен**д**роны из **д**ен**д**рария.

Тке**т** **т**кач **т**кани на пла**т**ки **Т**ане.

Разбиения Делоне

Предложил классифицировать пространственные решетки в зависимости от строения многогранника Вороного-Дирихле узла решетки и расположения этой области относительно элементов симметрии.

Каждый многогранник Вороного-Дирихле можно охарактеризовать количеством вершин, ребер, граней и их взаимным расположением (топология многогранника).

Делоне подтвердил вывод Федорова, что в 3-х мерном пространстве существует только 5 топологически разных многогранников Вороного-Дирихле. Остальные можно вывести из них путем непрерывного изменения длин ребер и углов между ними.

Разбиения Делоне

При учете возможной кристалло-графической симметрии многогранников получится новая симметрийно - топологическая классификация кристаллических решеток. Установленные таким образом **24** различных симметрийно - топологических класса кристаллических решеток называются теперь

сортами решеток Делоне.

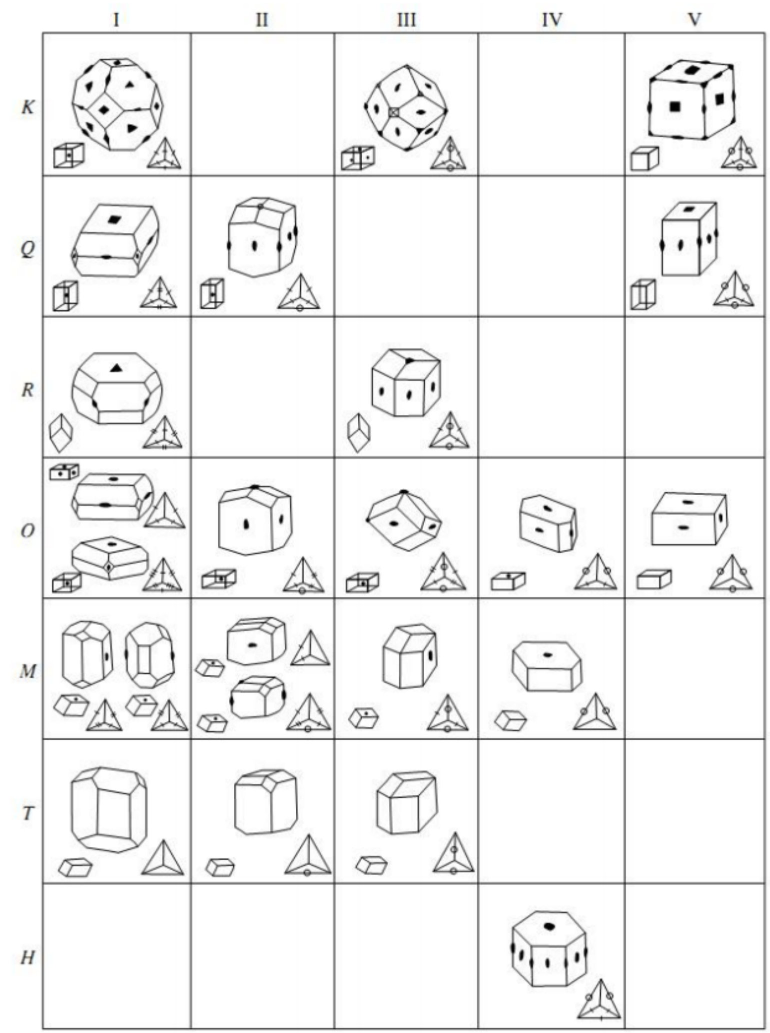
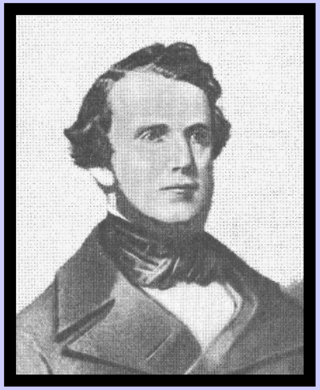
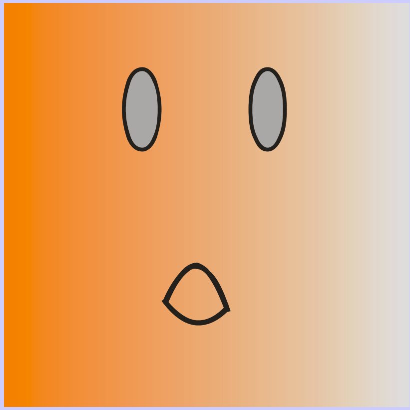


Рис. 2-12. 24 сорта решеток Делоне (согласно *Галиулину*, 1984).

И. Ф. Х. Гессель (1796-1872 гг.)
в 1830 г. вывел ***32 класса симметрии***

В 1855 г. О. Браве вывел ***14 типов пространственных решеток***

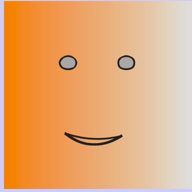




32 + 14 = ???

32 * 14 = ???

32 ↔ 14 = ???



Волшебная арифметика

14 решеток

↔

32 класса

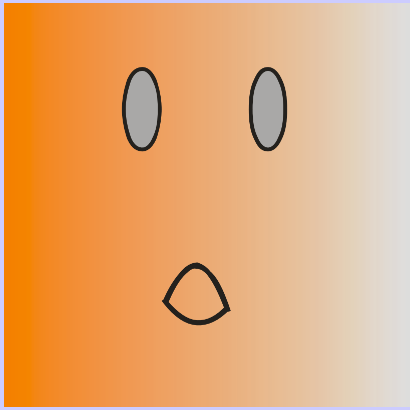
=

230 пространственных групп!

В 1890 г. русский кристаллограф Евграф Степанович Федоров

и независимо от него немецкий математик Артур Шенфлис вывели 230 геометрических законов, которым должно подчиняться расположение частиц в кристаллических структурах.

К чести Шенфлиса, он признал приоритет Федорова в этом открытии, которое по своему значению может быть поставлено в один ряд с открытием Периодического закона.



32 + 14 = 230!

Был точечный набор (А)

Была трансляция (Б)

(А) И (Б) сидели на трубе…

И - что это?

И - займемся с геохимиками после нового года!

Взаимодействие 32 классов точечной симметрии с 14 трансляционными решетками Браве приводит к возникновению особых волшебных (трансляционных) элементов симметрии и в конечном счете к 230 пространственным группам

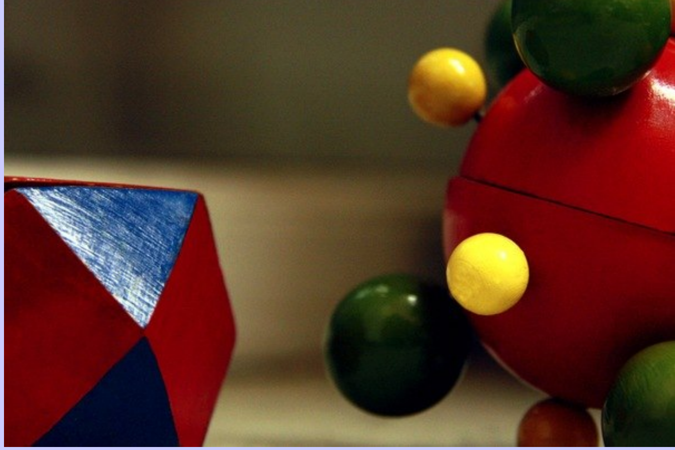
симметрии микромира

(2 семестр у геохимиков)

Основы кристаллографической магии

В следующий раз

Кристаллический мир в полиэдрах



Теория плотнейших упаковок, ее использование для описания кристаллических структур