План

Часть 1. ***Что такое решетка, почему их 14, откуда берутся микроэлементы симметрии, почему осей 6-ого порядка – шесть разных)***

Часть 2. ***Заклинания взаимодействия «клон», «поиск портала» и другие. Этапы построения простых графиков группы симметрии. Характеристики ПСТ.***

- БОНУС (для желающих в мае) – **Бесконечная Лайнландия и Флатландия**

Группы симметрии бордюров и узоров. Практическое руководство для проектировщиков персидских ковров и тротуарной плитки.

ЛЕКЦИЯ

Из макромира в микромир. Часть 1

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.

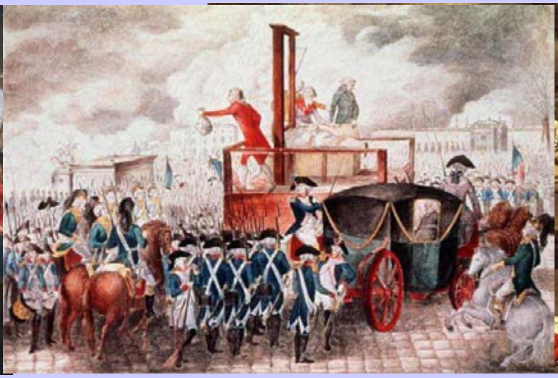
Результат измерения был принят за эталон единицы длины; он хранится в Палате мер и весов в Париже.

На всех этапах бурной политической жизни тогдашней Франции Лаплас никогда не вступал в конфликты с властями, которые почти неизменно осыпали его почестями. Простонародное происхождение 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.



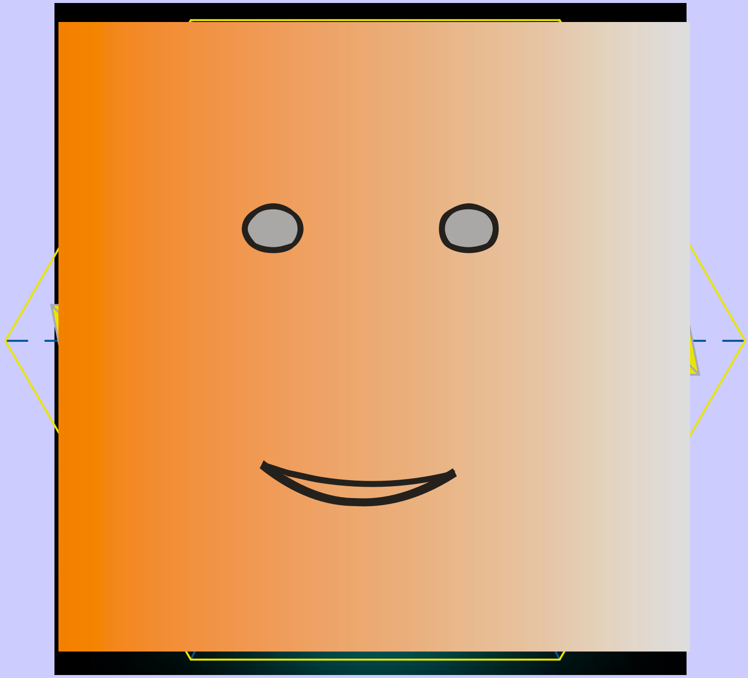
1 м – единицы измерения

- 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 отсталых -

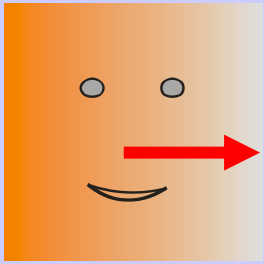
- В оптике, атомной и молекулярной физике, а также при измерении процессов в кристаллических структурах используется единица длины 1 **Å**, равная 10^{-10} м = 10^{-8} см, – ангстрем, наилучшим образом соизмеримая с размерами атомов и длинами межатомных расстояний.

1 м – единицы измерения



1Å

Привет! Я – атом – мельчайшая химически неделимая частица.



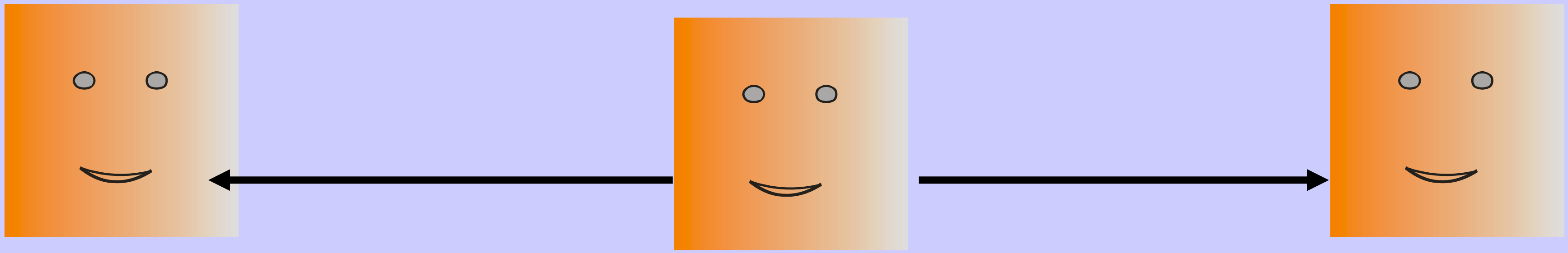
Некоторое время вы будете для простоты считать, что я такой

Кругленький (сферический) (хотя это не совсем так)

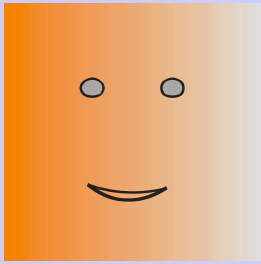
Иногда немного сжимаемый (как теннисный мячик)

Мой размер в **большинстве** структур соединений определяется **ионным радиусом**, который можно посмотреть в таблице
http://cryst.geol.msu.ru/appliances/pics/rad_a4.jpg

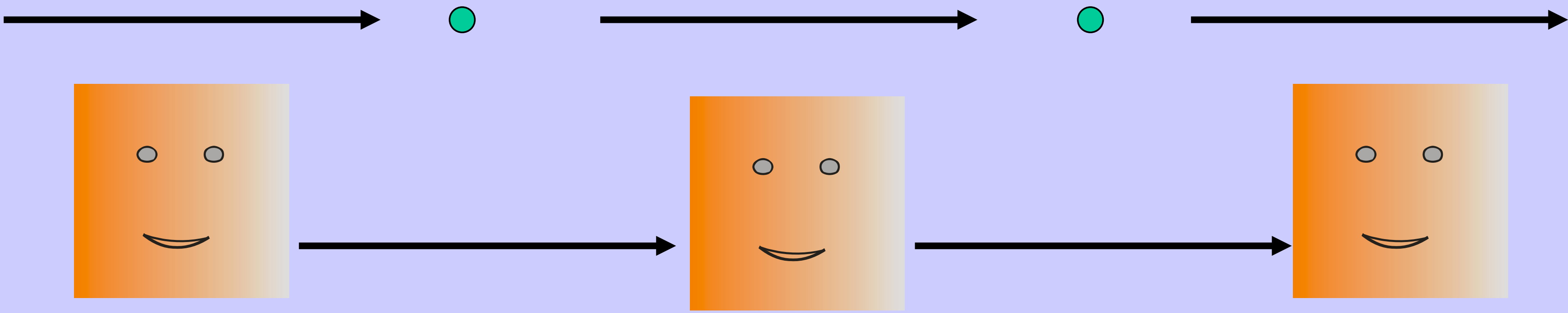
Иногда (когда я живу в кристалле) я с удивлением вижу, что на одинаковом расстоянии слева и справа от себя я вижу приятелей



Возникает ***атомный ряд***

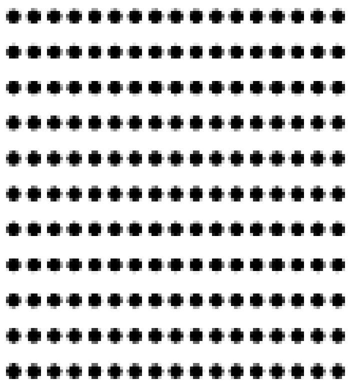


Главная особенность, отличающая кристалл от некристаллических (аморфных) тел, - это ***трехмерная периодичность*** в расположении слагающих его структуру эквивалентных материальных частиц: атомов, ионов, **итд.**

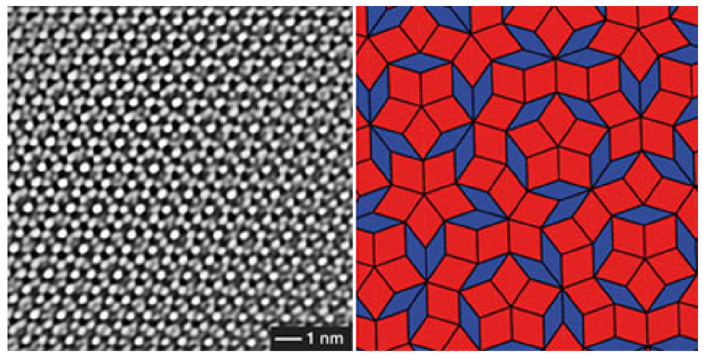


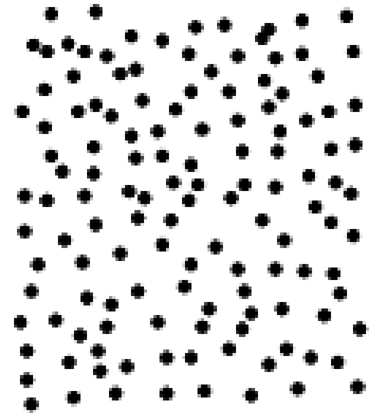
Трехмерная периодичность для эквивалентных точек в пространстве

Аморфные, поликристаллические и кристаллические твердые тела

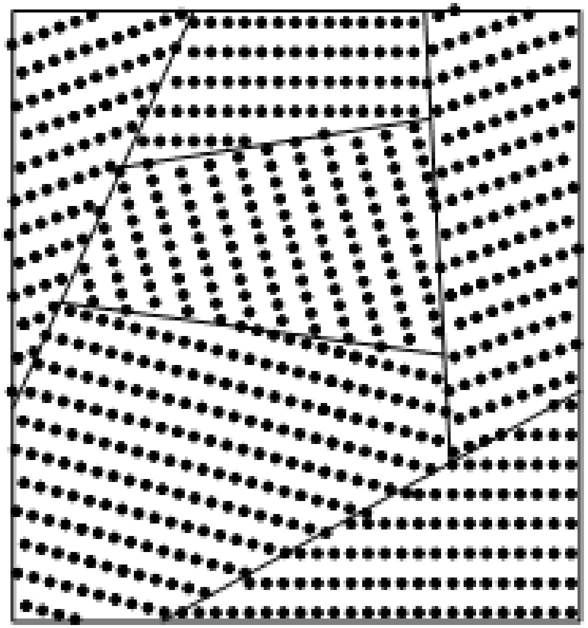


Кристалл (монокристалл)

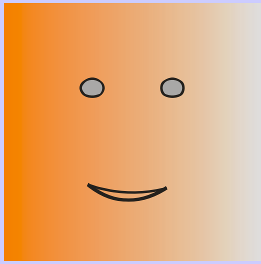




Аморфное состояние



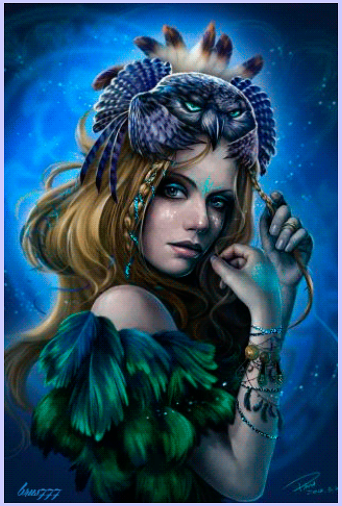
Поликристалл



Операция симметрии

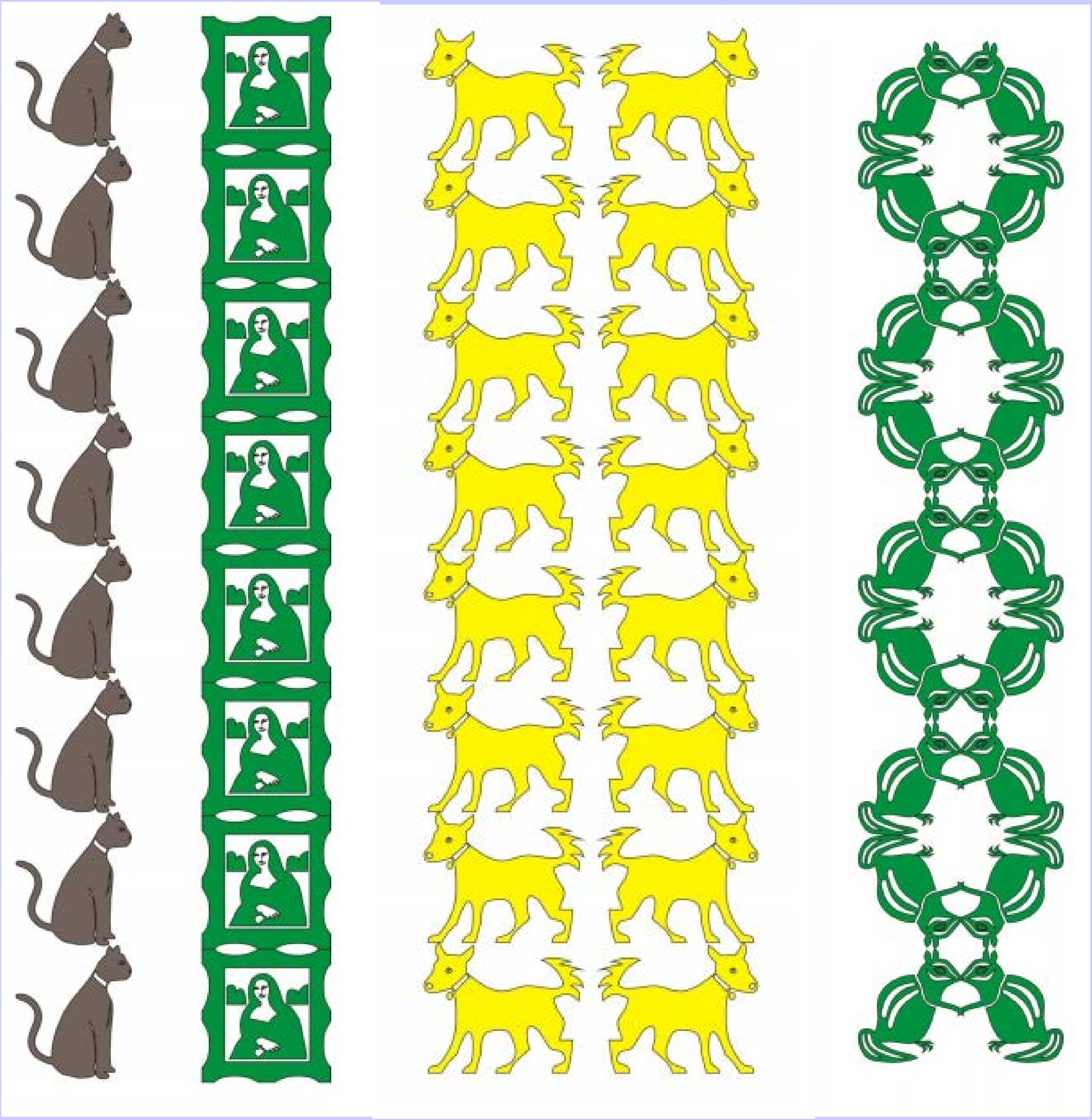
Привет,
меня зовут <u>Трансляция</u>.
Я не материальное существо и живу в бесконечном микромире
Красивое имя, правда?
Познакомимся?

$\vec{T}$



Я задаю периодичность

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



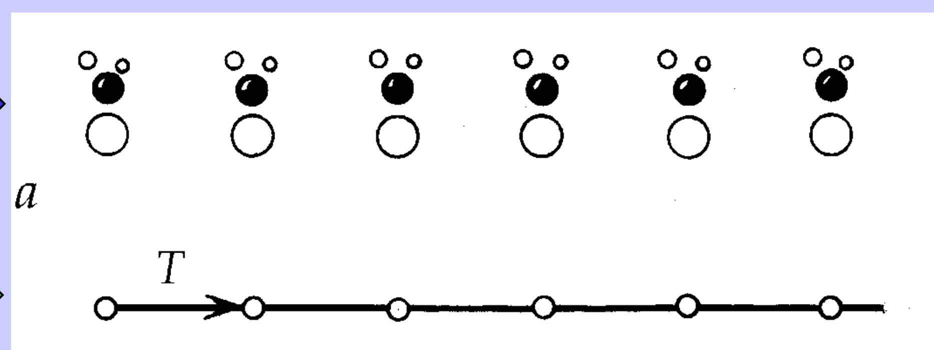
Одномерная решетка – узловой ряд – ряд эквивалентных точек управляется **одной трансляцией**

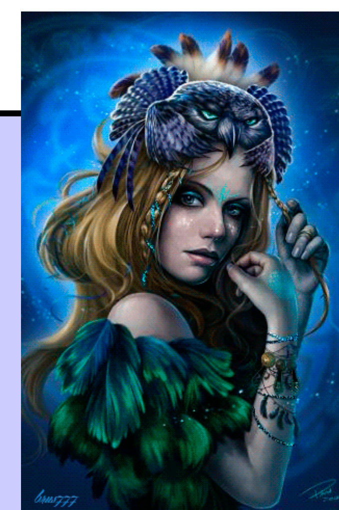
Материальный узор

узловой ряд

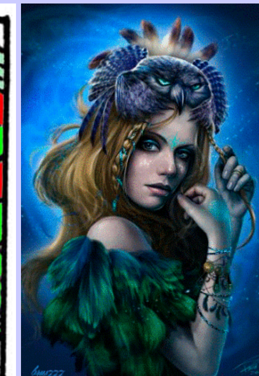
Материальный узор

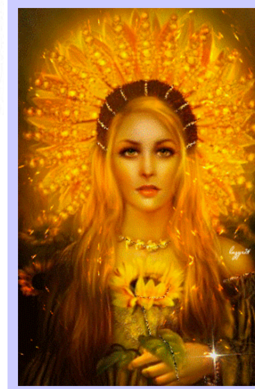
узловой ряд





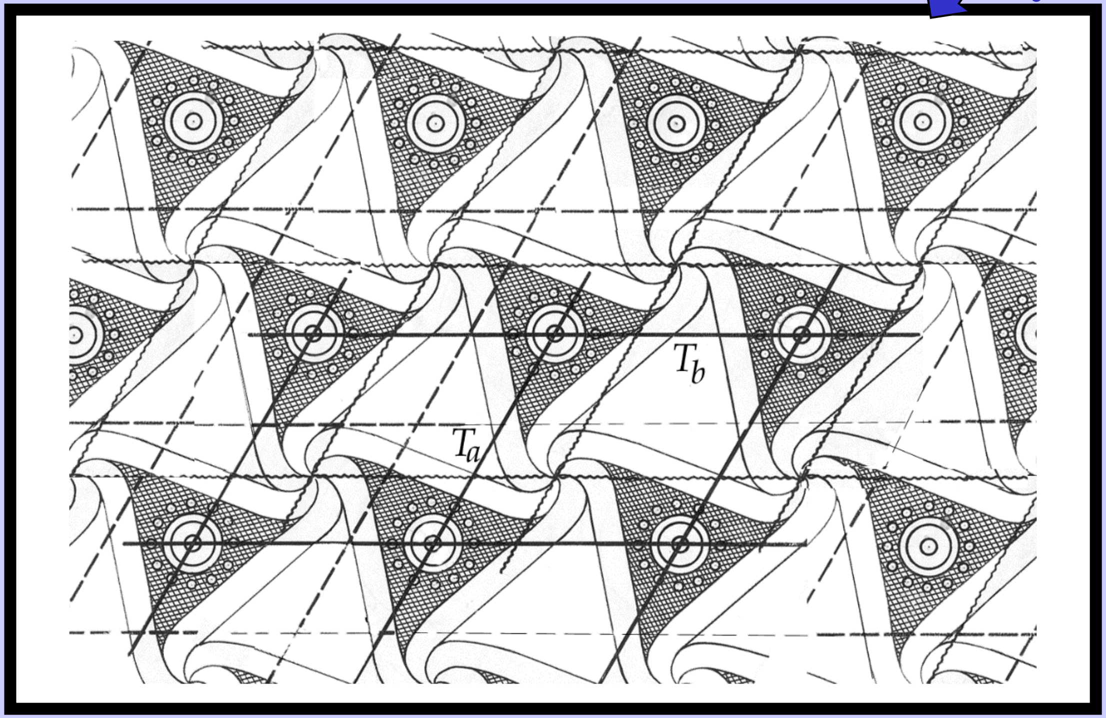
Двумерная узловая сетка – двумерная решетка управляется **двумя разными трансляциями**

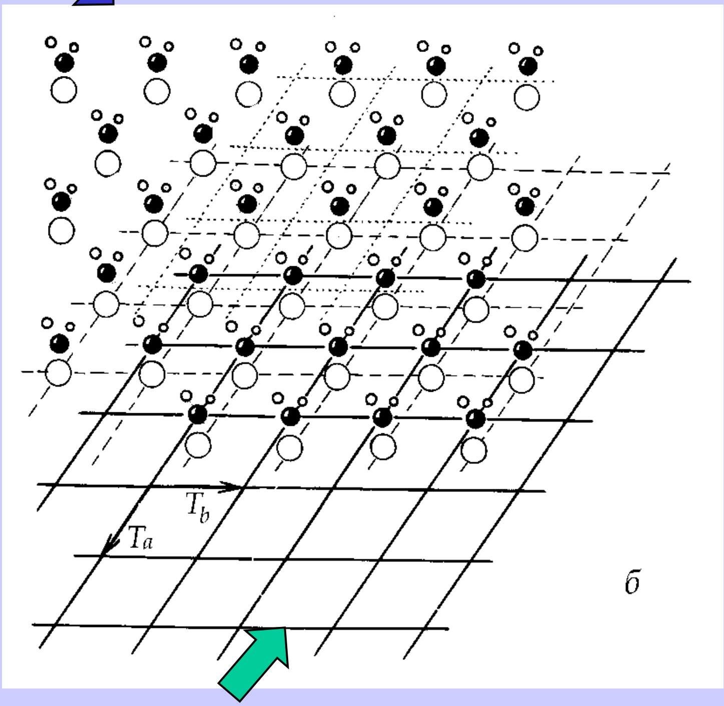




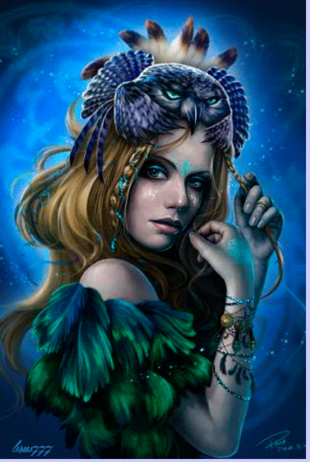
Двумерная узловая сетка – двумерная решетка

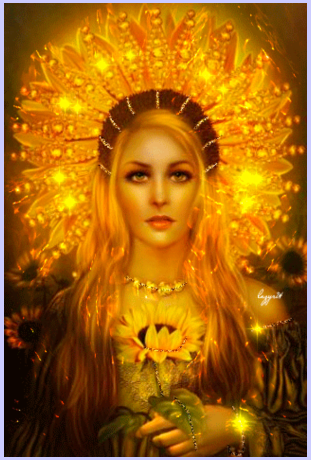
Двумерные узоры





Двумерная решетка

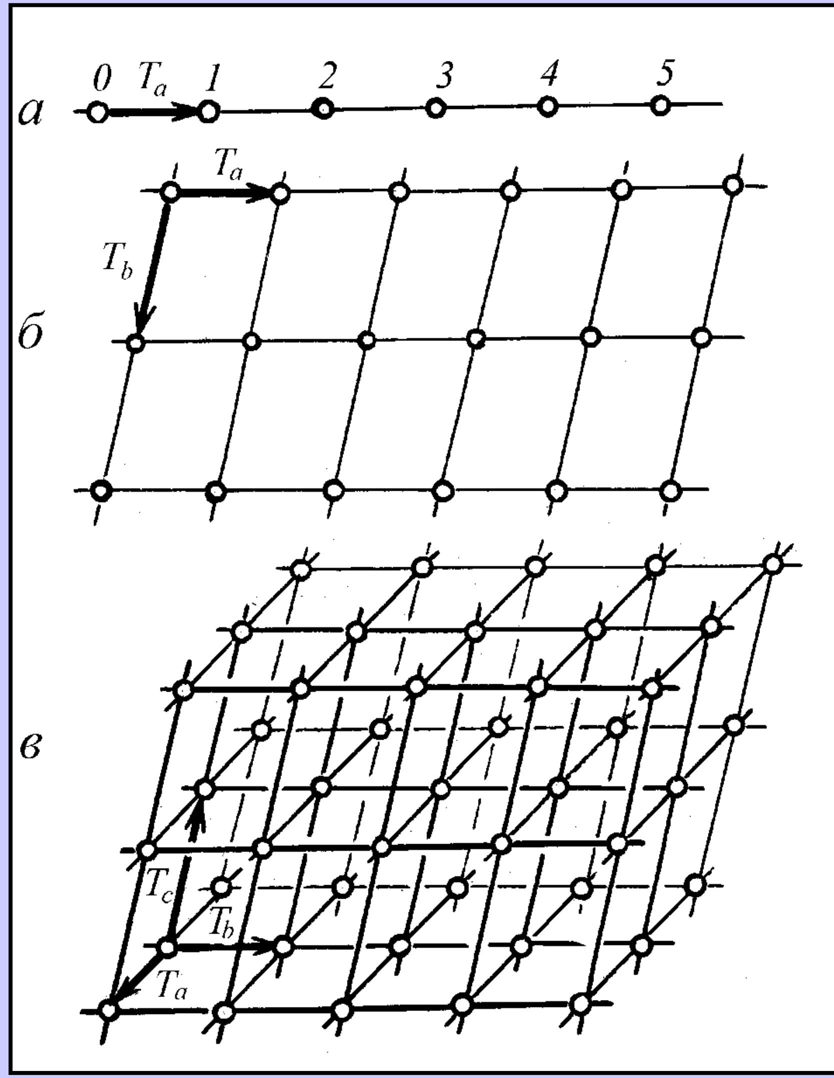




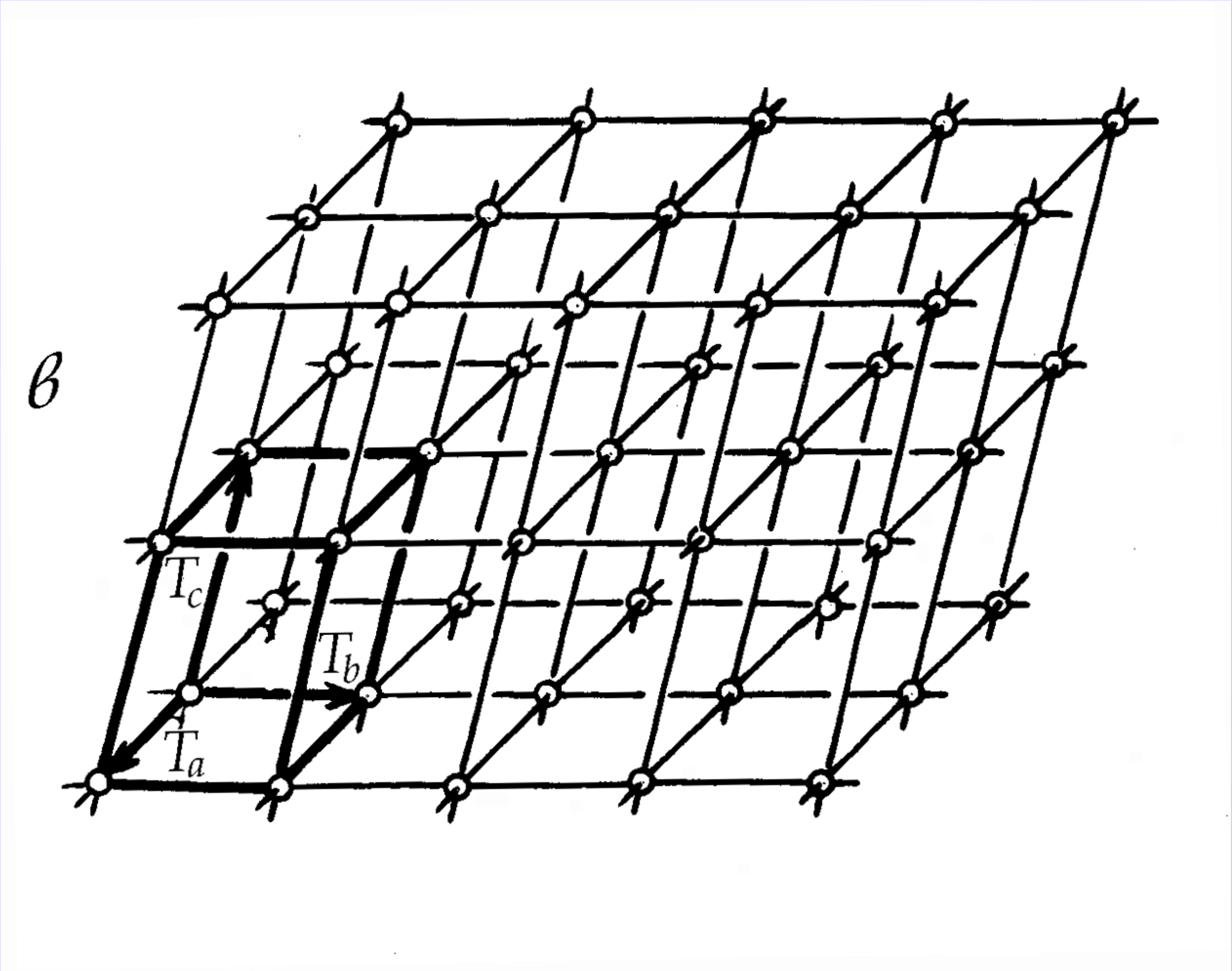
Выразителем трехмерной периодичности является пространственная решетка – **НОВЫЙ элемент симметрии,** задающий и осуществляющий повторяемость эквивалентных точек кристаллического пространства (в физическом и в геометрическом смысле) в **трех** некомпланарных направлениях (**управляется тремя разными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

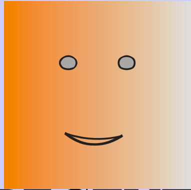
СИММЕТРИЯ КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ СТРУКТУР

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



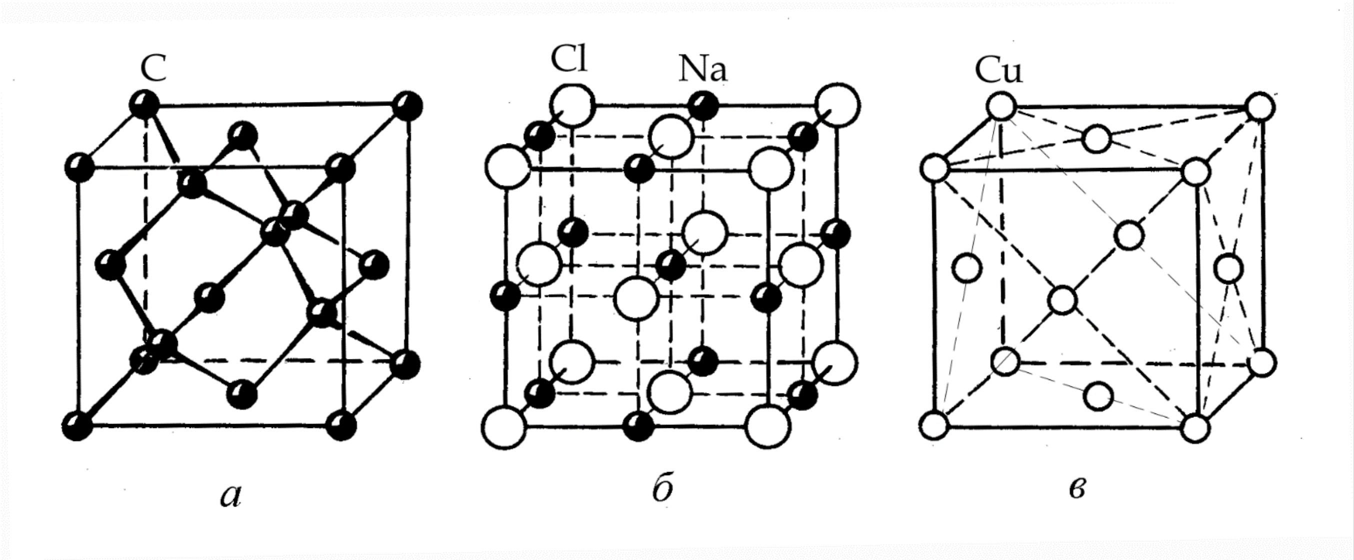
Трехмерная узловая сетка – **трехмерная пространственная решетка** с выделенным параллелепипедом повторяемости



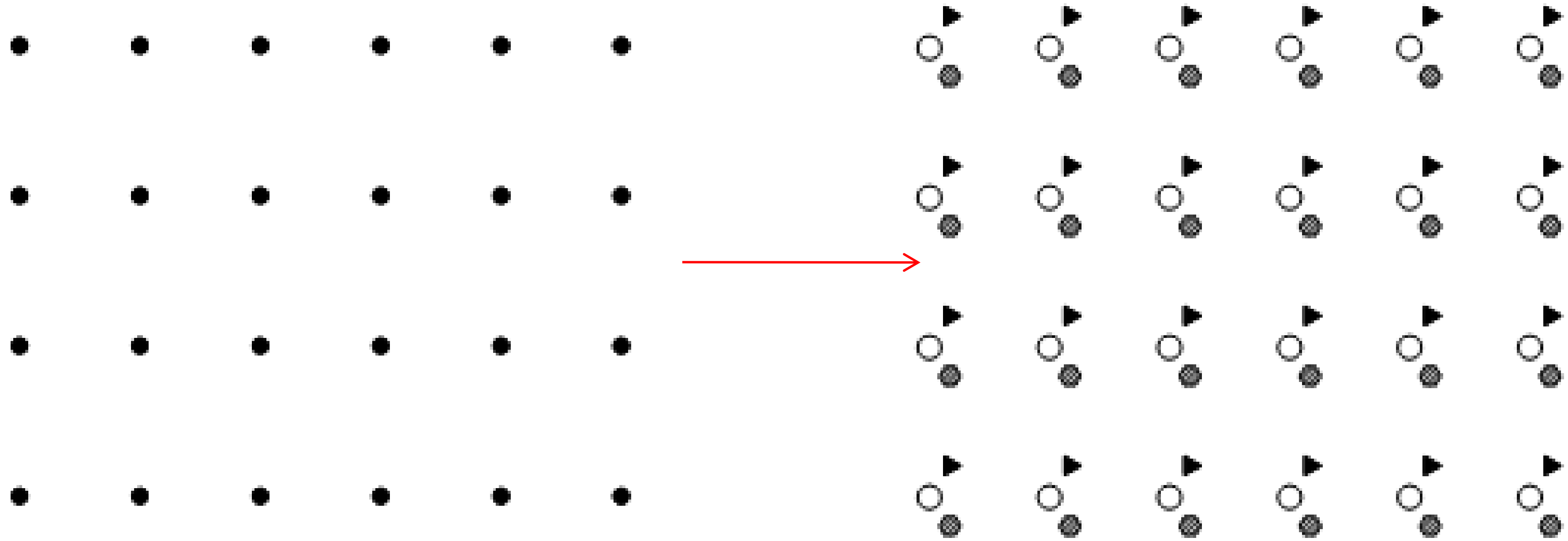


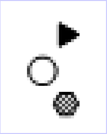
Кстати!

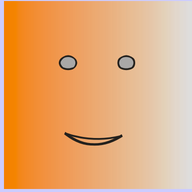
ПРЕСТУПНО! смешивать термины «***кристаллическая решетка***» и «*кристаллическая структура*», ибо первый обозначает **один из элементов симметрии**, с помощью которых можно описать симметрию кристаллической структуры, а второй – конкретное химическое наполнение пространства! Путаников будем жестоко наказывать!



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



Решетка + Базис  = Кристаллическая структура



Поэтому *решеток* всего

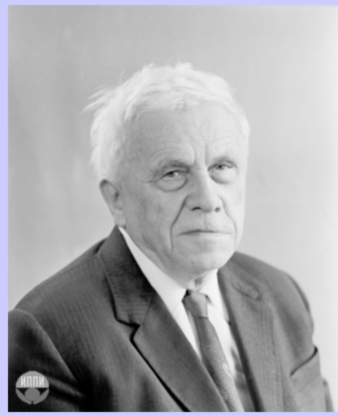
ммм…. вычислим чуть позже

а «*кристаллических структур*»

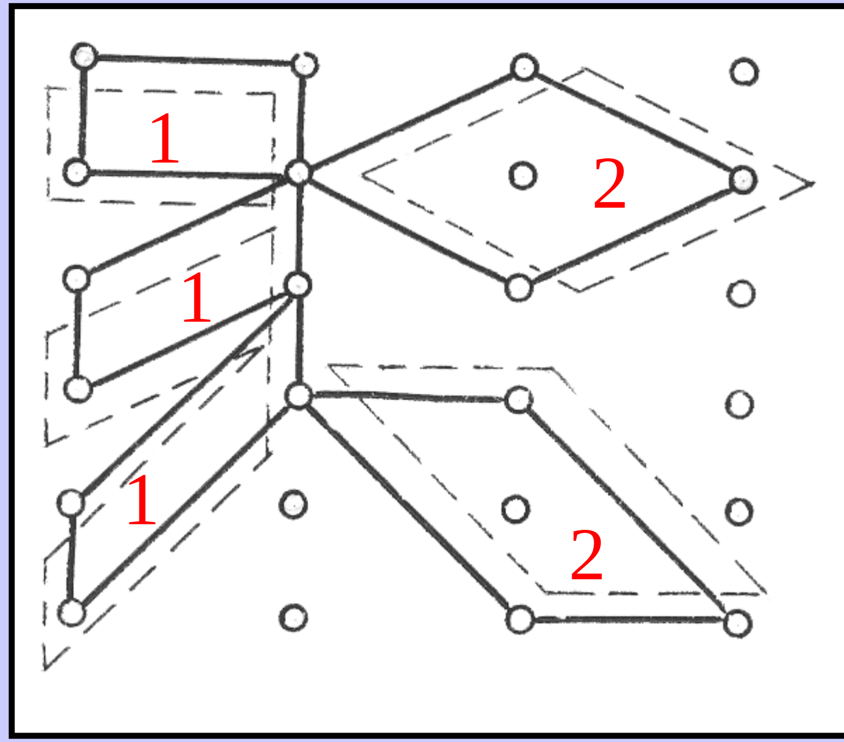
сотни и сотни тысяч

Трехмерная решетка – выразитель кристаллического состояния вещества

- «Кристалл находится в состоянии решетки»



академик Н.В.Белов

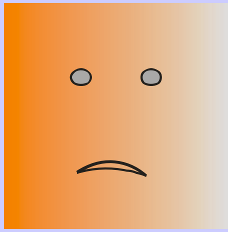


- Все примитивные ячейки равновелики.
- На одну ячейку приходится один узел.
- Число узлов, приходящихся на одну ячейку, показывает **во сколько раз** она больше примитивной ячейки этой же решетки. Спорим что S2 = 2S1?

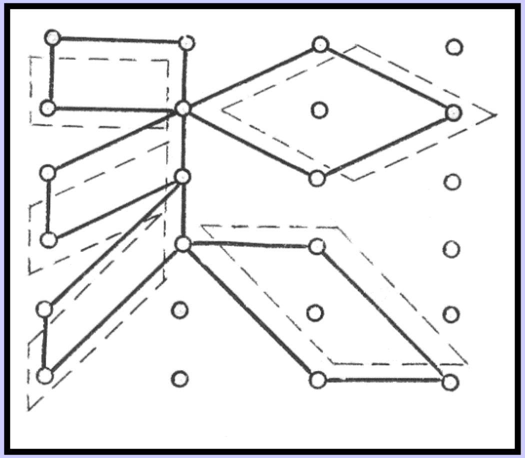
Трехмерная решетка – **выразитель кристаллического состояния вещества**

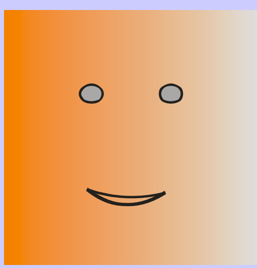
Решетка не есть нечто материальное – не конкретная структура кристалла, т.е. не конкретная укладка атомов (или фигур) в неподвижных узлах решетчатого каркаса,

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).



Как же выбрать параллелепипед (ячейку) правильно?

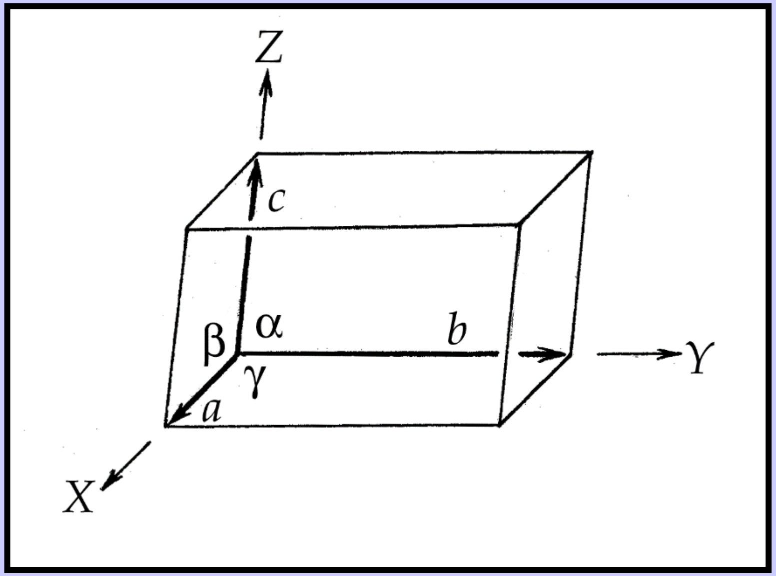




Правила выбора придумал Огюст Браве (*1811-1863 гг.)*

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

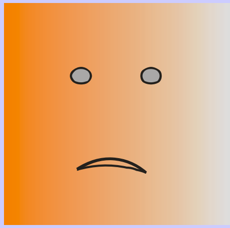
Основная ячейка построена на трех ***минимальных*** трансляциях решетки: $a_{min} \leq b_{min} \leq c_{min}$

Правила выбора ячейки Браве

1) Построена (по возможности) на трех ***кратчайших*** неколлинеарных трансляционных векторах,

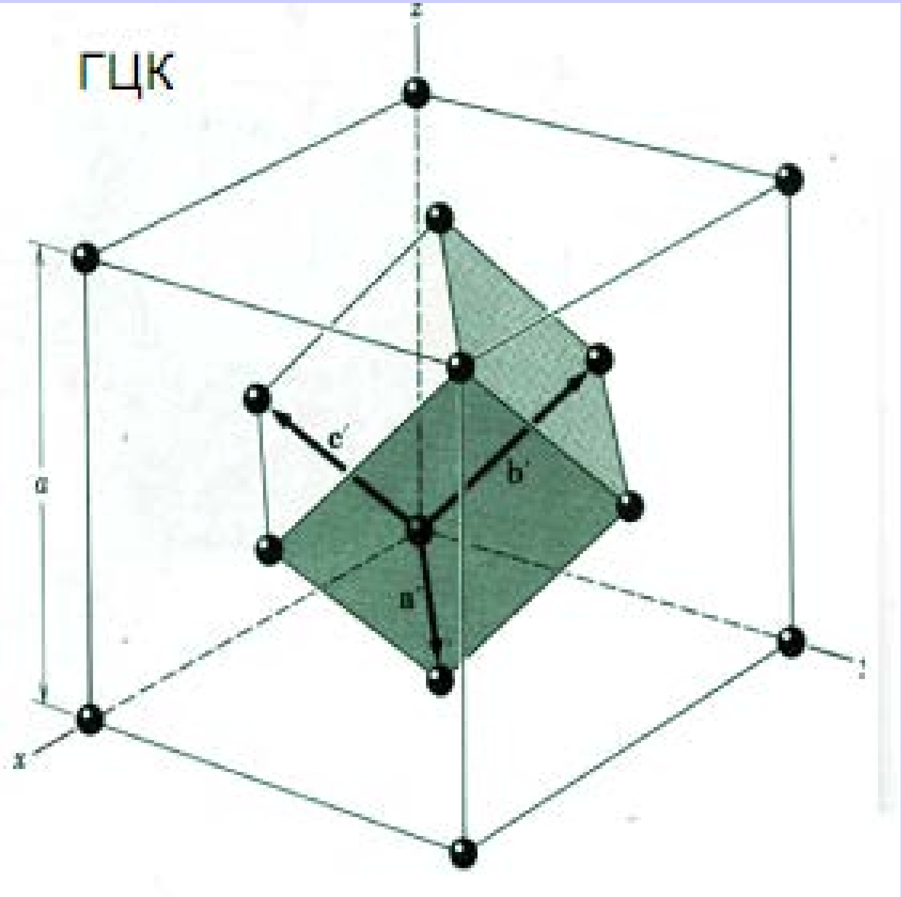
2) Но вектора должны совпадать с особыми направлениями максимальной симметрии

3) При этом число прямых углов должно быть максимальным



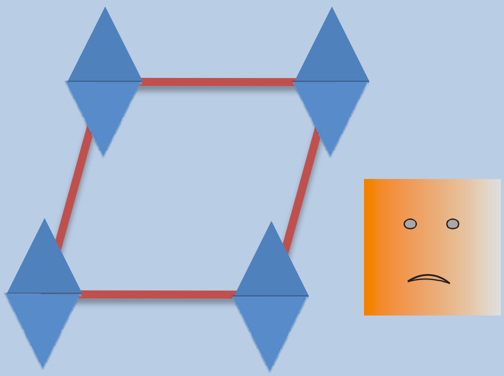
(вспомним принцип Кюри) – неправильно выбрав ячейку, можно потерять ряд элементов симметрии объекта, а это ***преступление в микромире!***

Основная ячейка и ячейка Браве не всегда равны друг другу

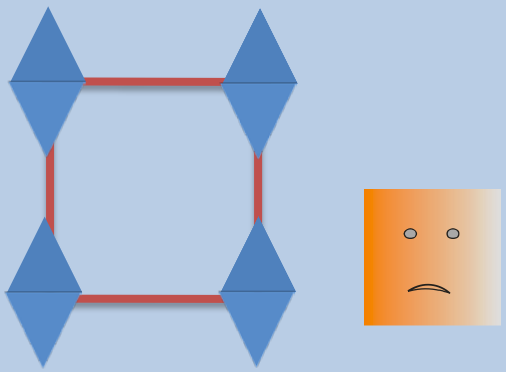


Как прясть двумерные ковры правильно (подробнее через занятие)

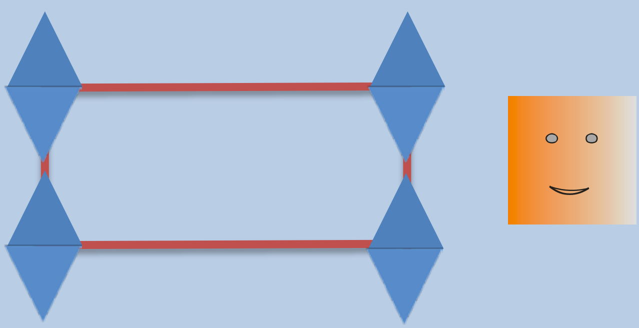
Если симметрия фигуры и решетки различны, в симметрию узора переходят только общие элементы симметрии



фигура *mm*2, решетка 2, узор 2



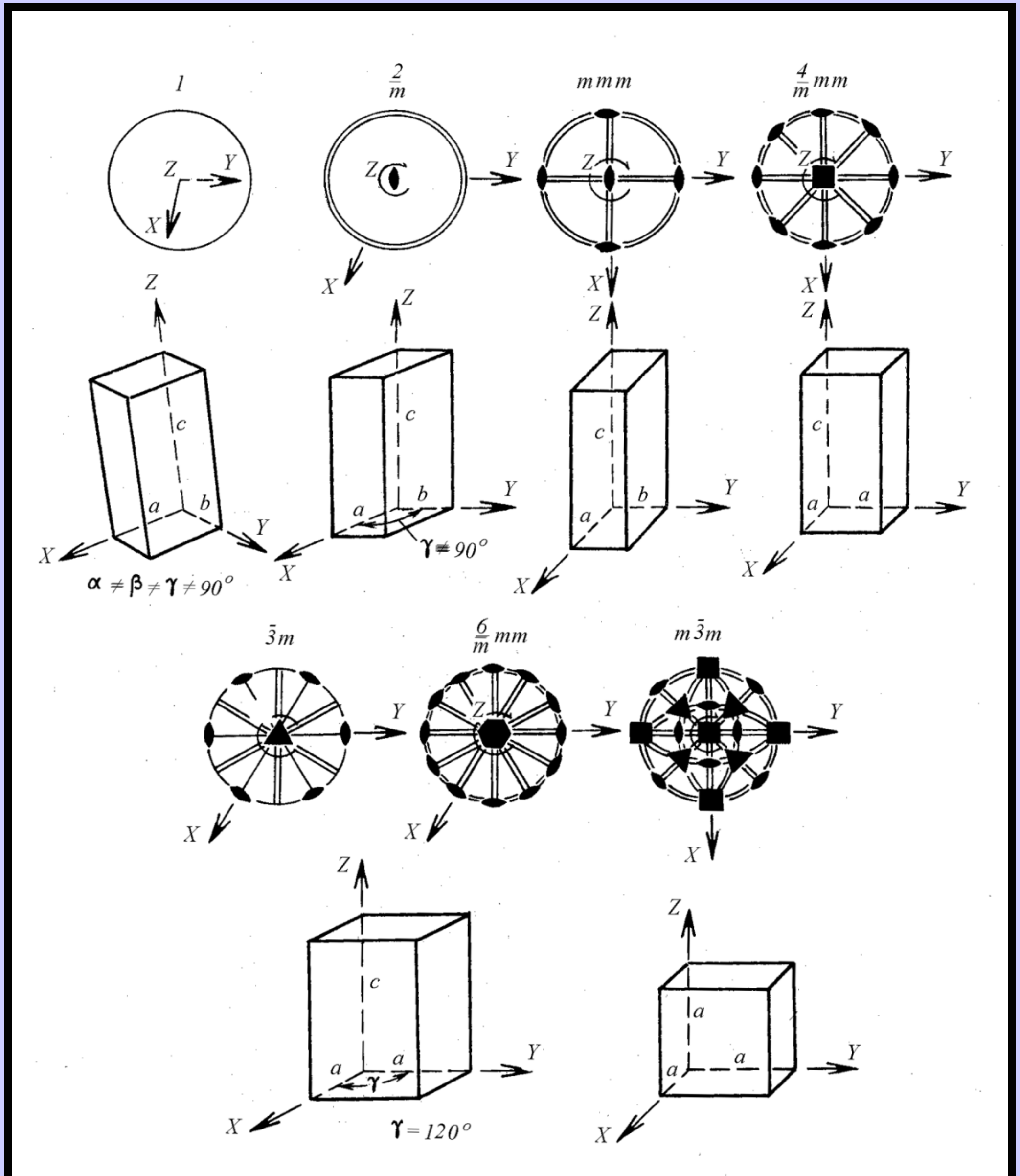
фигура *mm*2, решетка 4*mm*, узор *mm*2



фигура *mm*2, решетка *mm*2, узор *mm*2

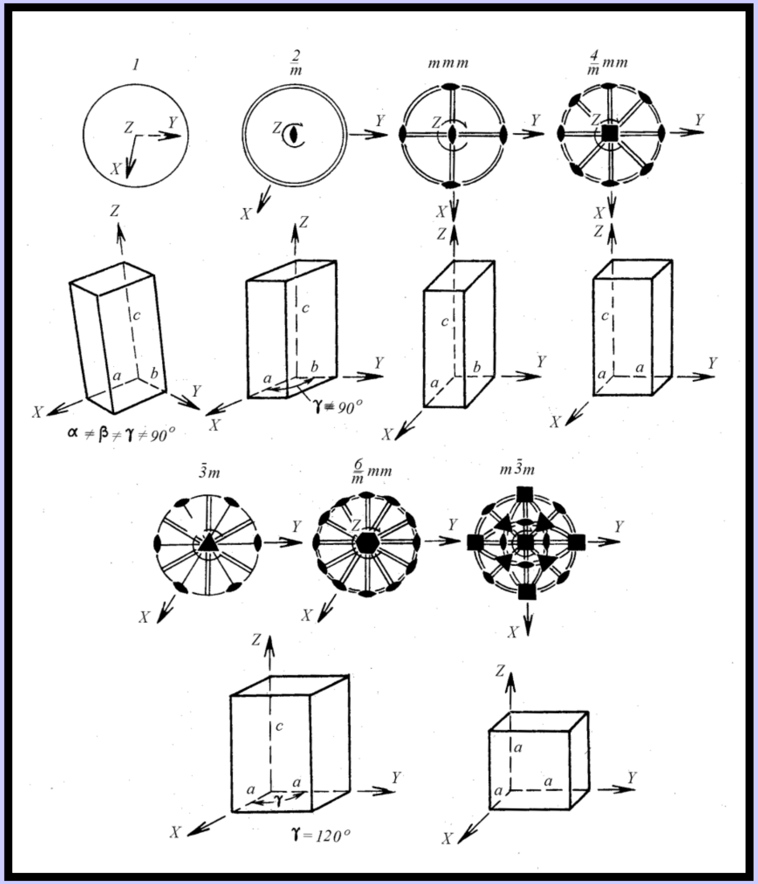
<u>узор приобретает ту же симметрию</u>

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



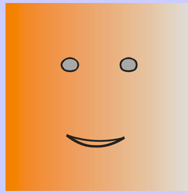
Должна быть Голоэдрия (самый симметричный класс)!

Трикл -*1*
Монокл 2/*m*
Ромбич *mmm*
Тетрагон 4/*mmm*
Гексагон* 6/*mmm*
Кубическая *m*-3*m*



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

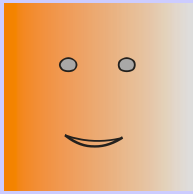
Однако принцип минимума возможной симметрии позволяет для групп с осями 3-го порядка – групп ***тригональной подсингонии*** использовать решетку пониженной симметрии гексагональной ***геми***эдрии: -3*m* (тригональной «*голоэдрии*»)



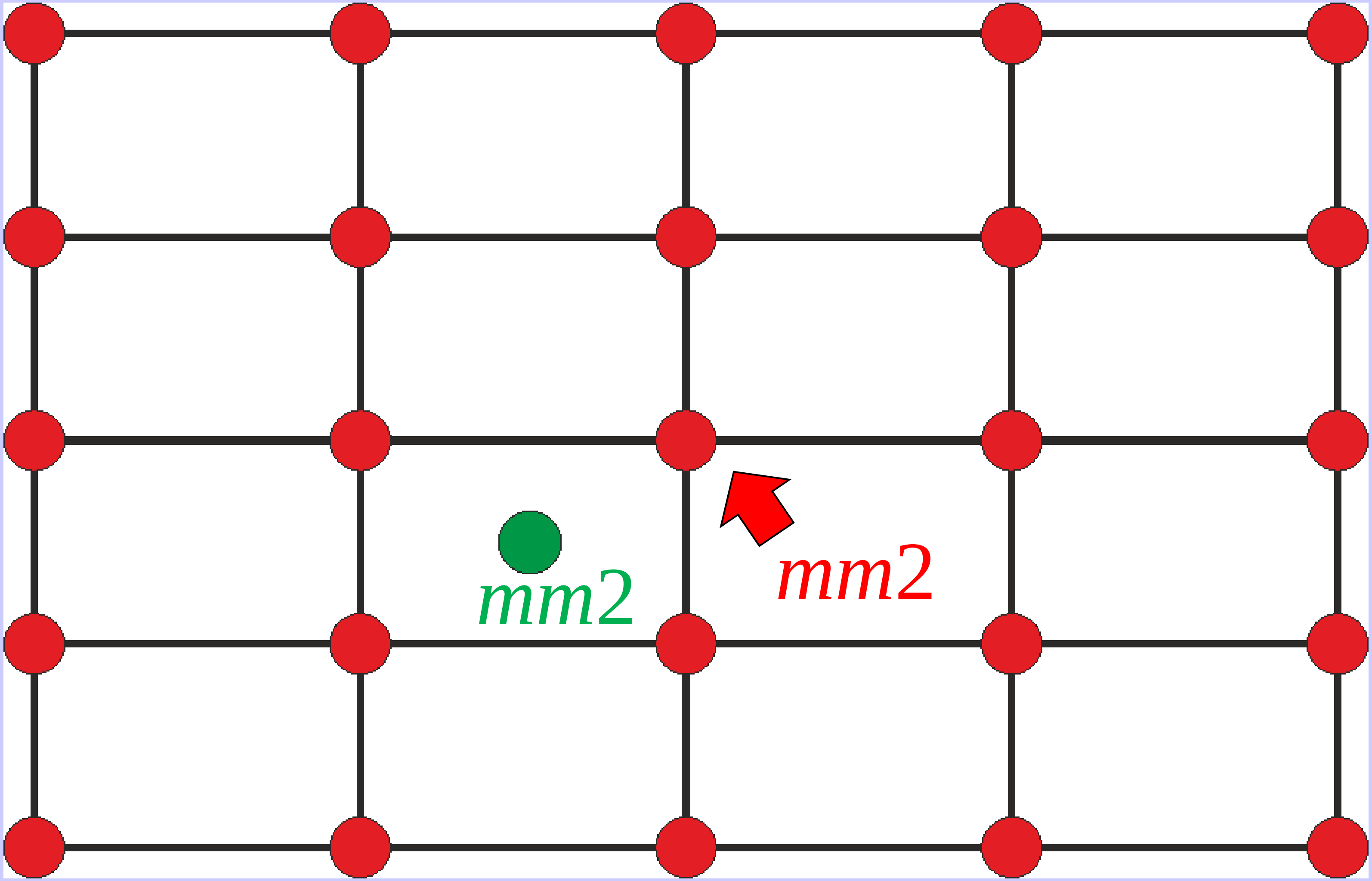
Кстати!

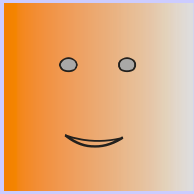
могут быть не только примитивные решетки Браве

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

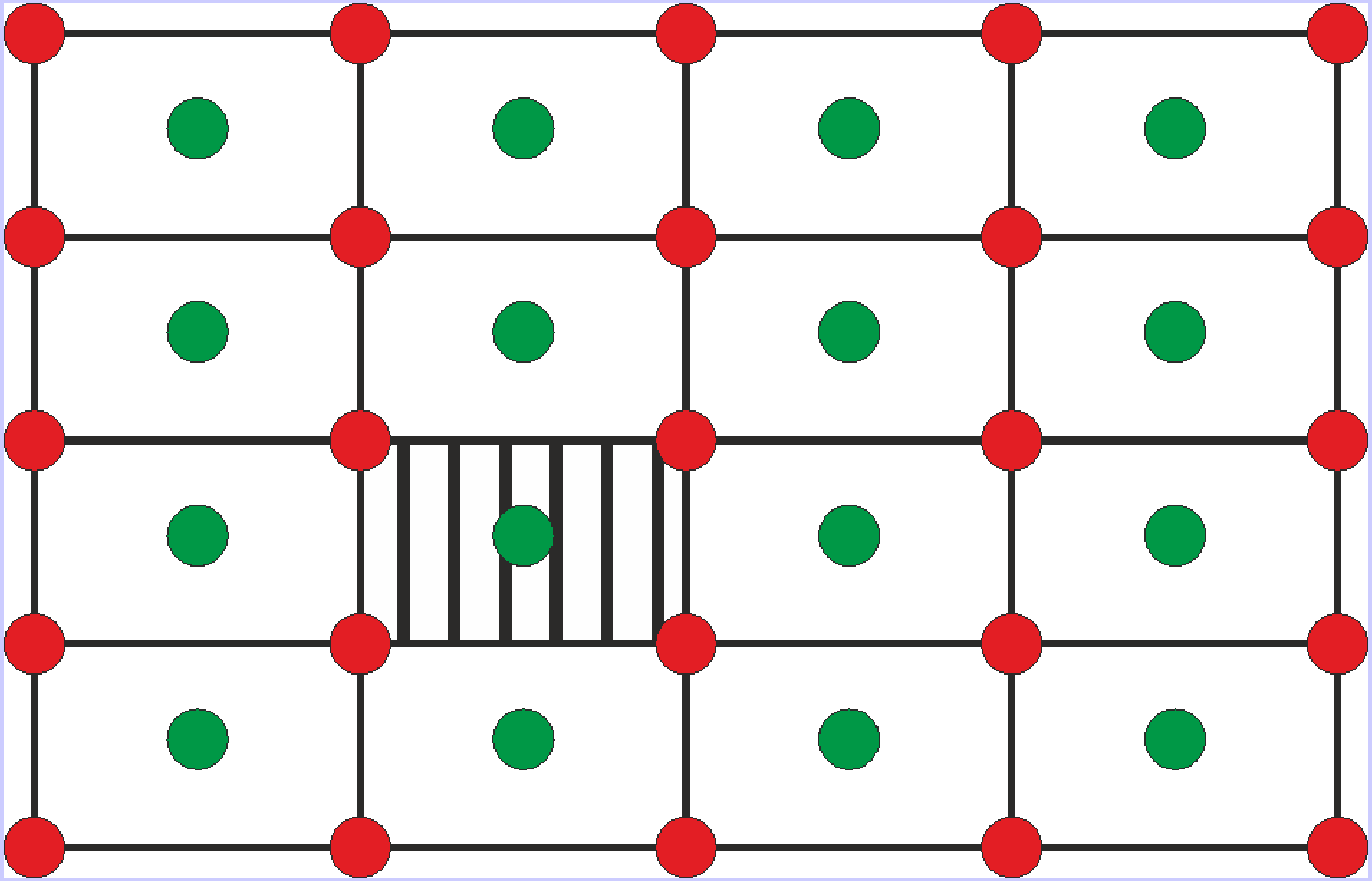


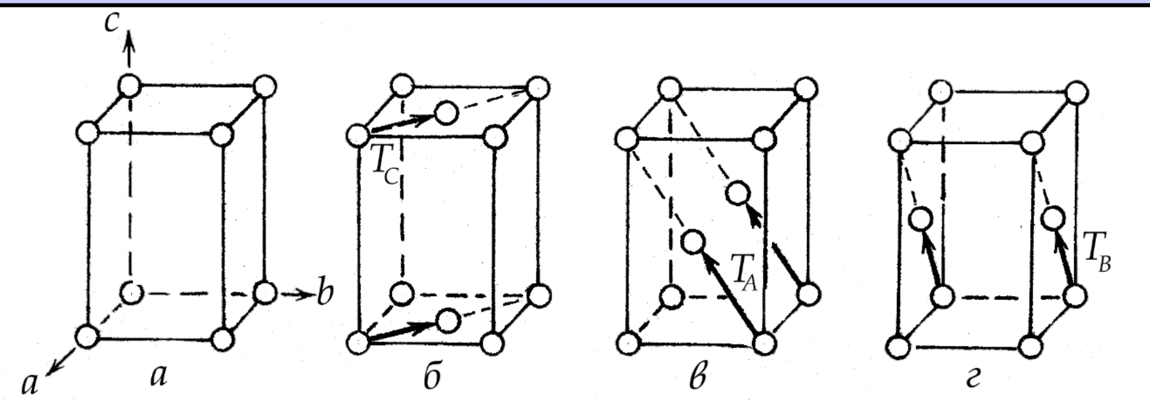
Пример - иллюстрация



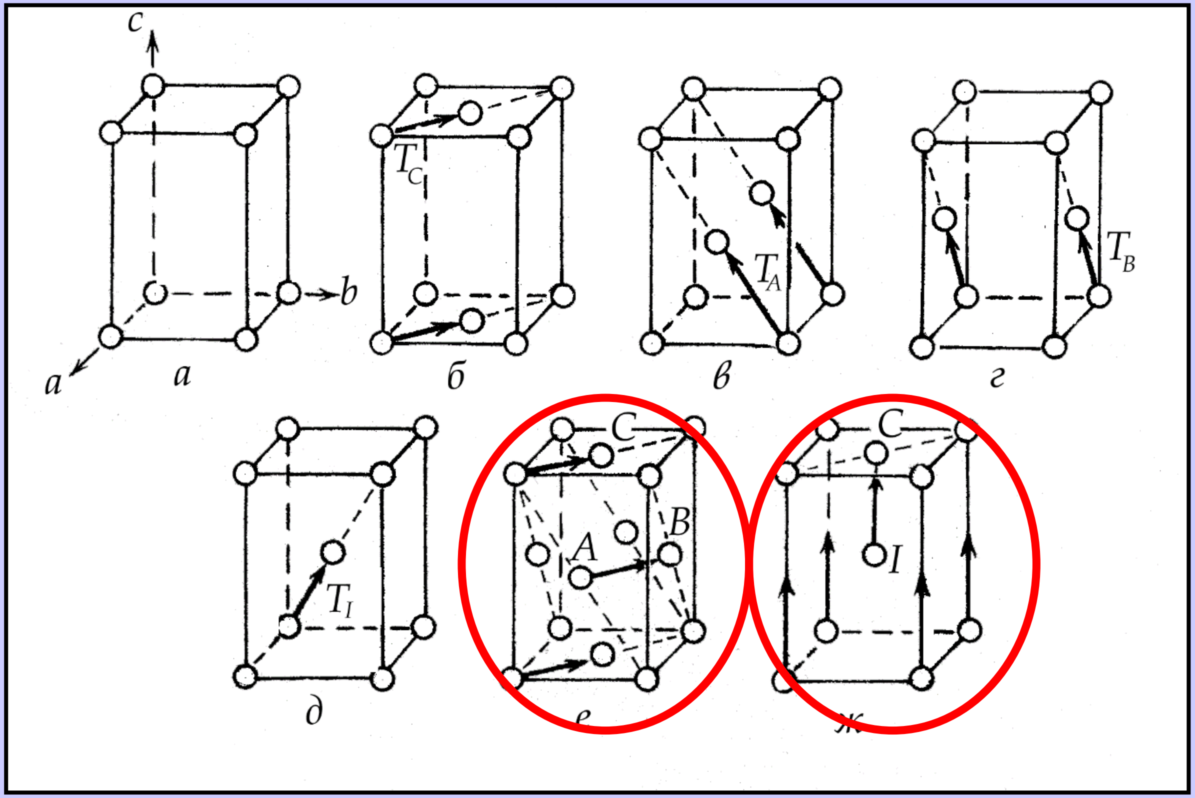


Пример - иллюстрация





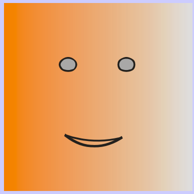
а – ***примитивная*** (***P***),
б - ***базоцентрированная*** (***C***),
в,г - ***бокоцентрированная*** (***A***, ***B***),



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

е – центрировка граней *A* и *B* приведет центрировке и грани *C*, т.е. к ***гранецентрированная*** ячейке (***F***),

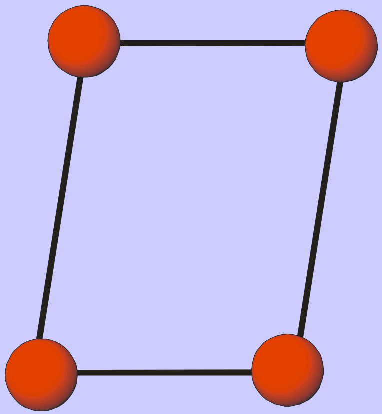
ж – центрировка грани *C* и объема (*I*) приведет к центрировке ребра с ячейки, т.е. к выбору ячейки меньшего размера.



Сколько же всего Браве насчитал решеток ????

Триклинная сингония

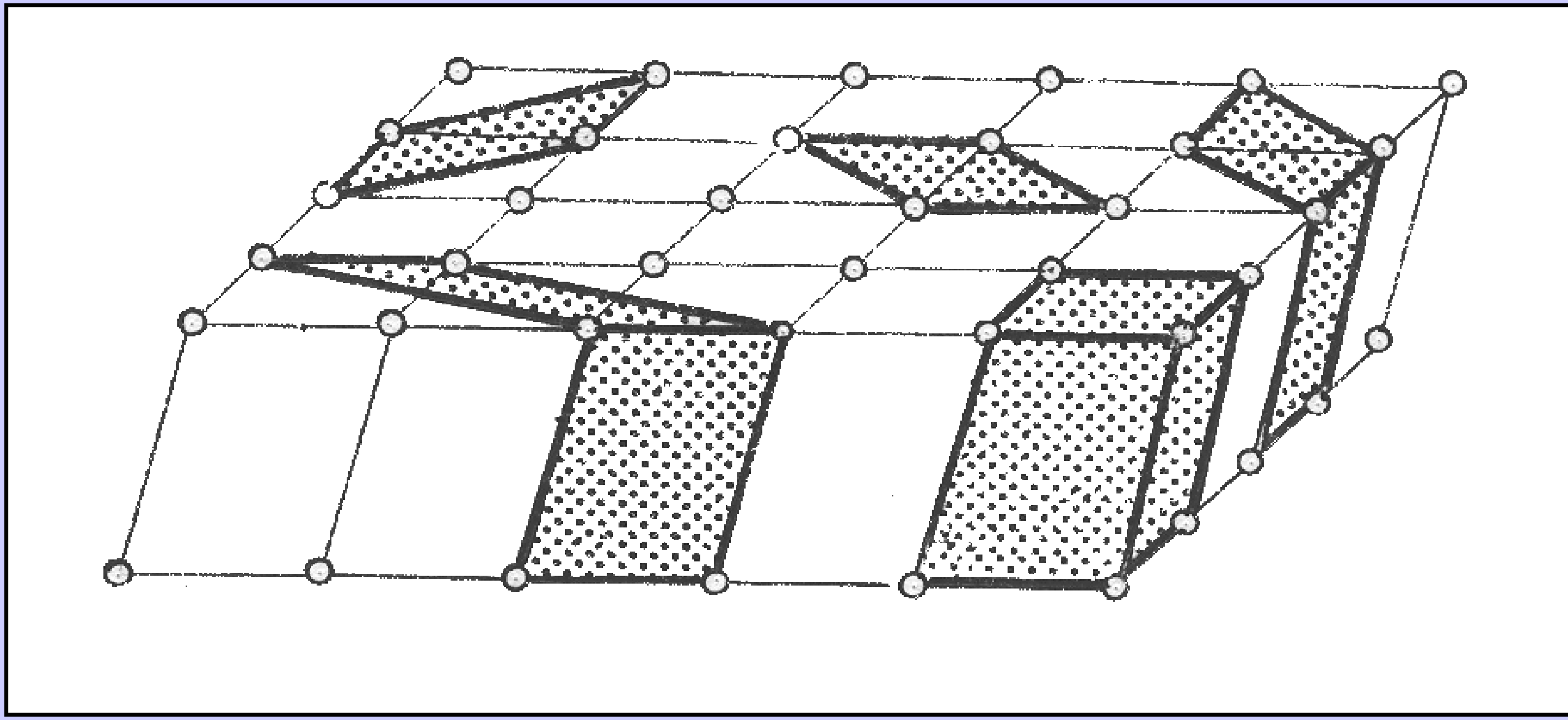
	Примитивная *P - ячейка*	Базо (боко-центрированная) *C - ячейка (A, B)*	Объемно центрированная *I - ячейка*	Гране-центрированная *F - ячейка*



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

ИТОГО - 1

Решетка триклинной симметрии. Выделены различные примитивные параллелепипеды

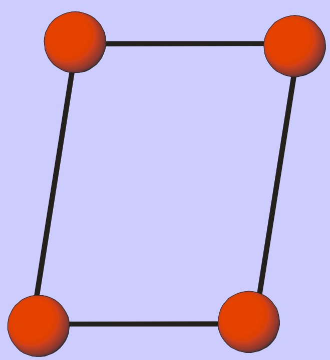


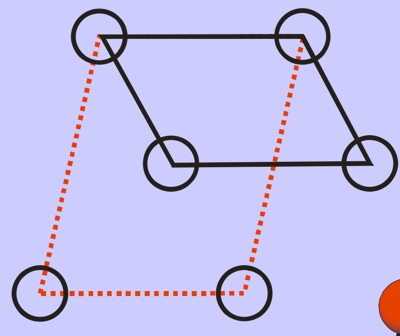
Правила выбора ячейки Браве

Углы приближены к 90 и тупые

Моноклинная сингония

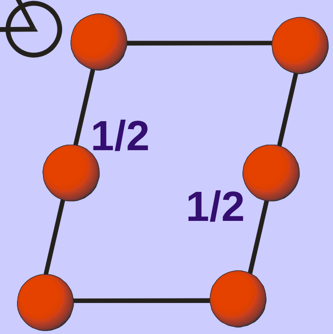
	Примитивная ***P - ячейка***	**Базо (боко-центрированная)** ***C - ячейка (A, B)***	**Объемно центрированная** ***I - ячейка***	**Гране-центрированная** ***F - ячейка***

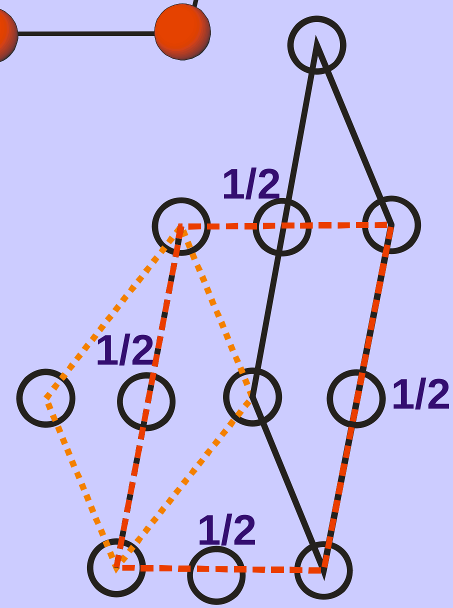




C=P

B(A)



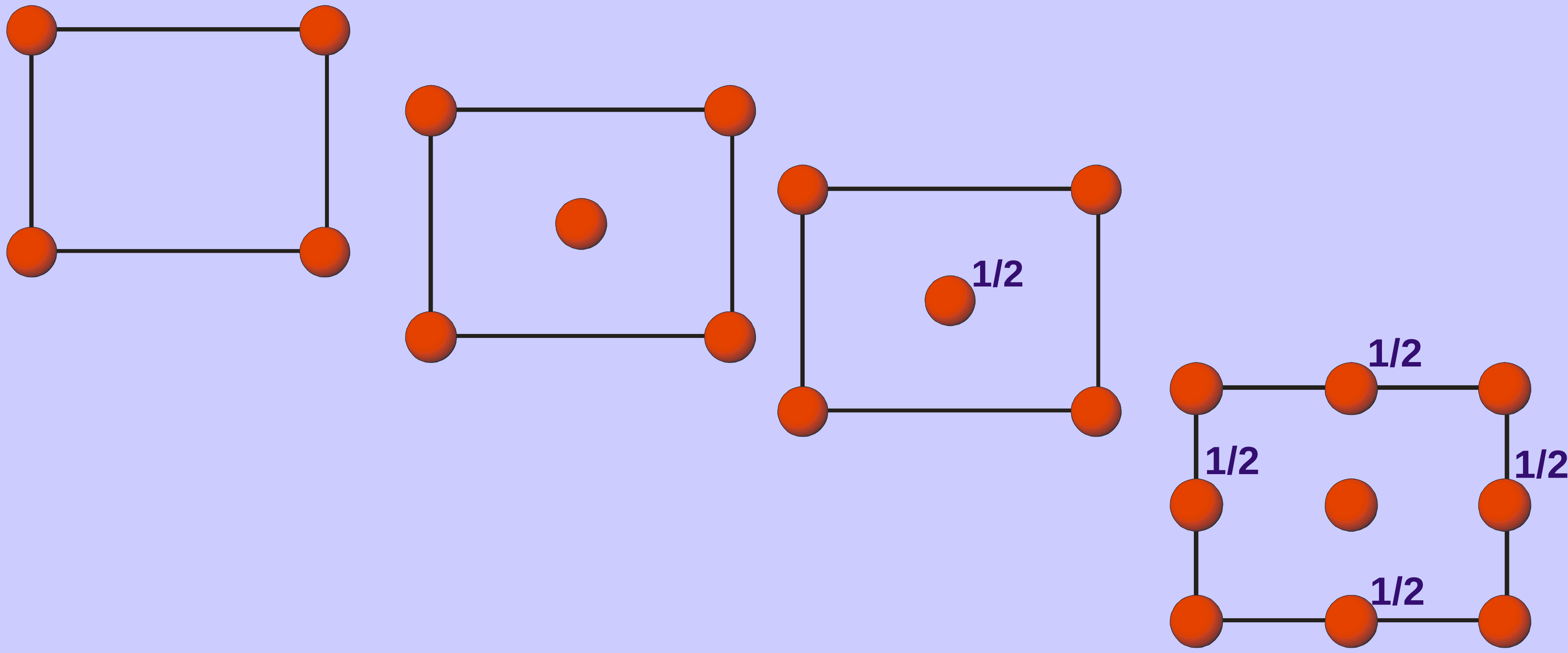


F=I=B

ИТОГО: 2+1=3

Ромбическая сингония

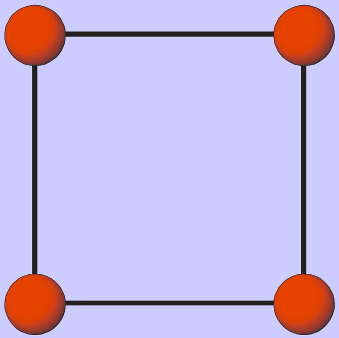
	Примитивная *P - ячейка*	Базо (боко-центрированная) *C - ячейка (A, B)*	Объемно центрированная *I - ячейка*	Гране-центрированная *F - ячейка*

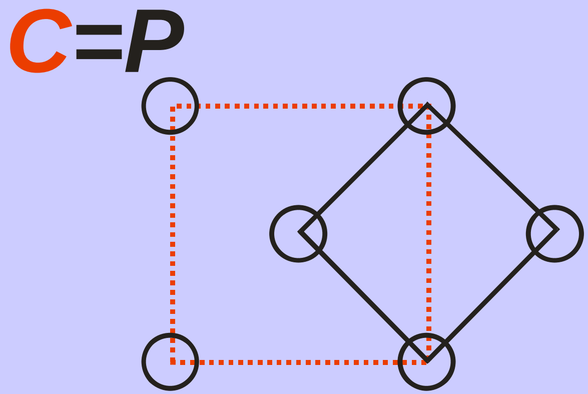


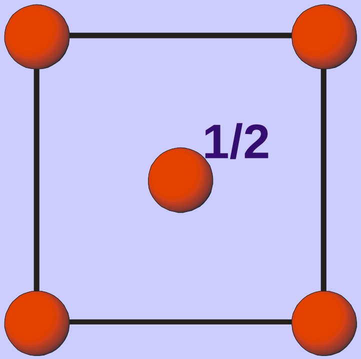
ИТОГО: 4+3=7

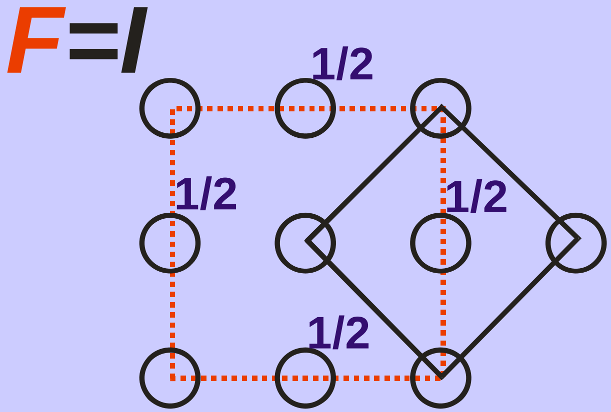
Тетрагональная сингония

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





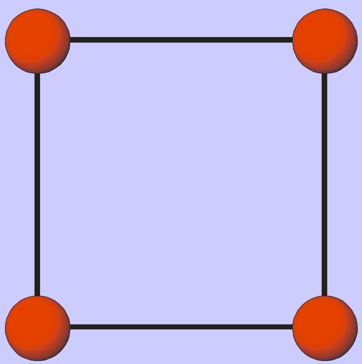


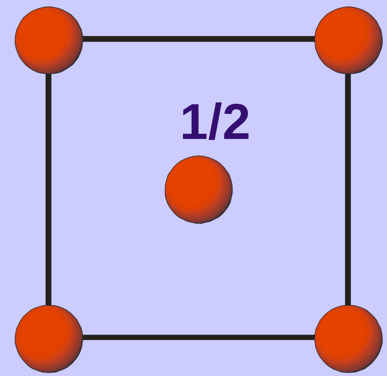


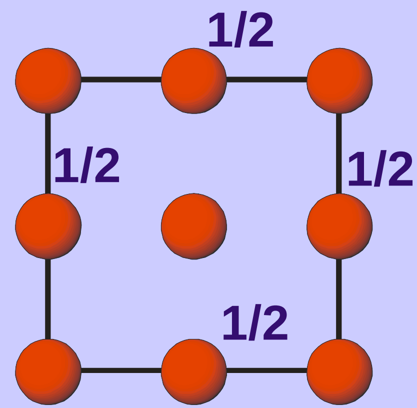
ИТОГО: 2+7=9

Кубическая сингония

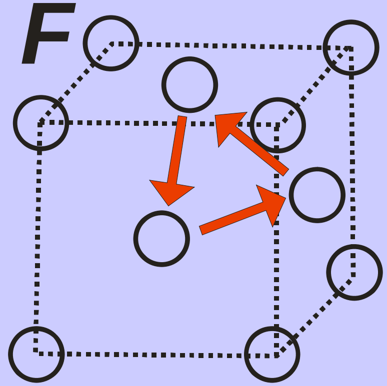
	Примитивная *P - ячейка*	Базо (боко-центрированная) *С - ячейка (A, B)*	Объемно центрированная *I - ячейка*	Гране-центрированная *F - ячейка*





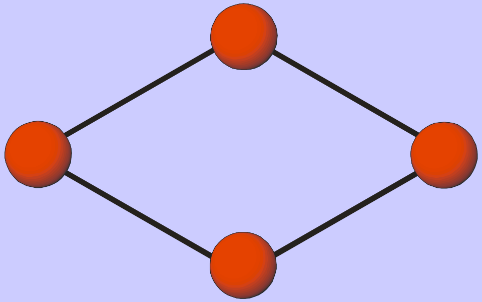


C → ***F***



ИТОГО: 3+9=12

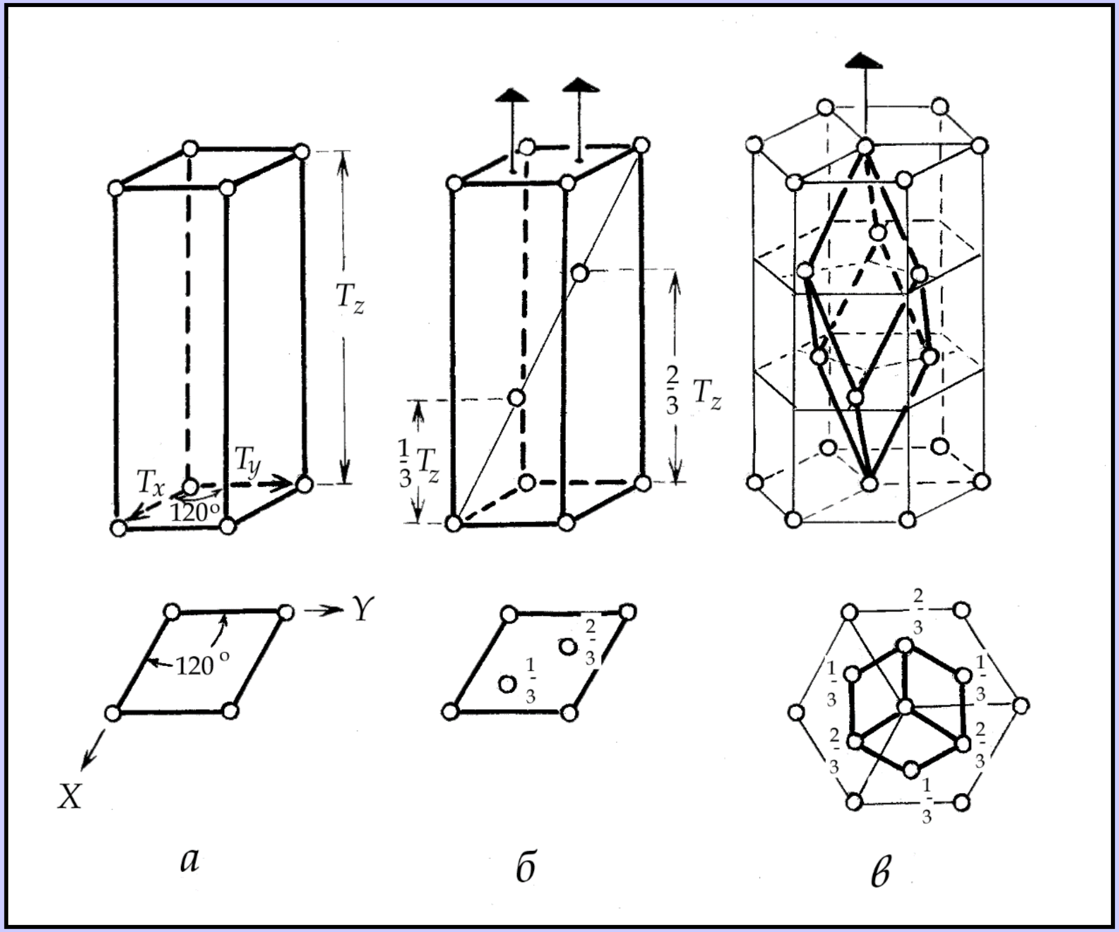
Гексагональная сингония

	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?

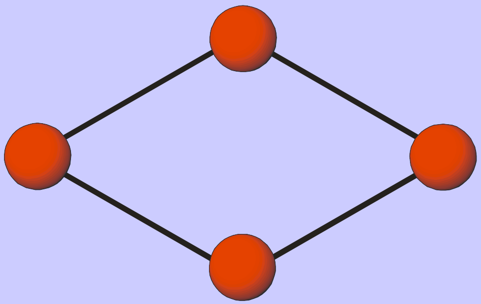
Ячейки Браве гексагональной сингонии:

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

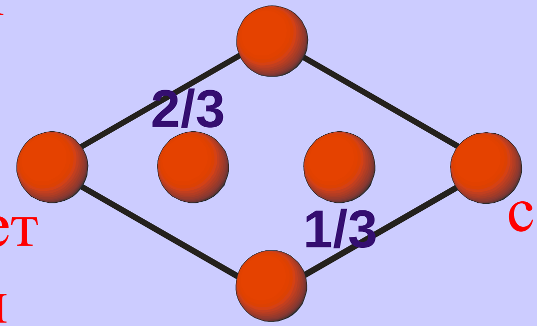


Гексагональная сингония

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

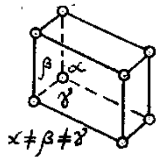
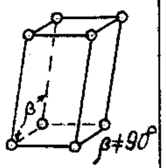
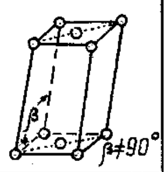
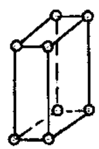
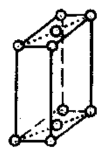
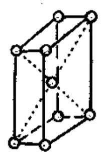
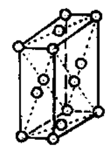
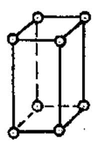
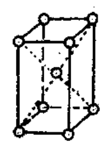
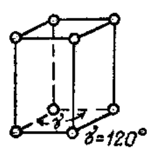
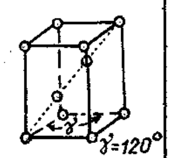
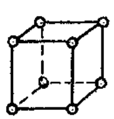
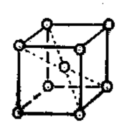
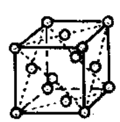


Симметрия позиции не соответствует симметрии вершинного узла



Симметрия позиции не соответствует симметрии вершинного узла

ИТОГО: 2+12=***14***

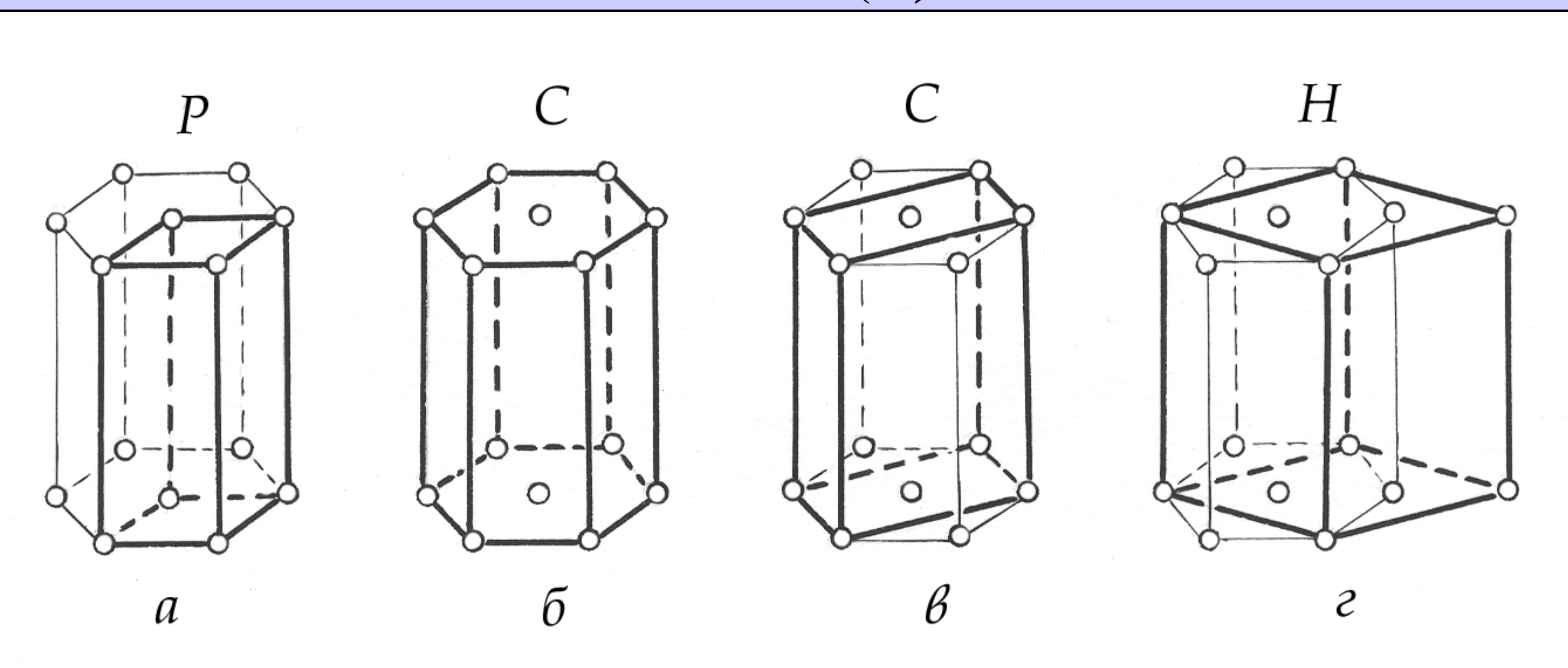
Сингония	Тип решетки				
	примитивная P	базоцентрированная C (A, B)	объемноцентрированная I	гранецентрированная F	дважды объемноцентрированная (ромбоэдрическая) R
Триклинная					
Моноклинная					
Ромбическая					
Тетрагональная					
Гексагональная					
Кубическая					

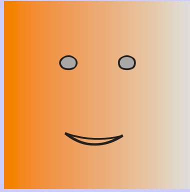
14 ячеек Браве, соответствующих 14 решеткам Браве

Атавизмы

Различный выбор элементарных ячеек в решетке гексагональной симметрии:

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





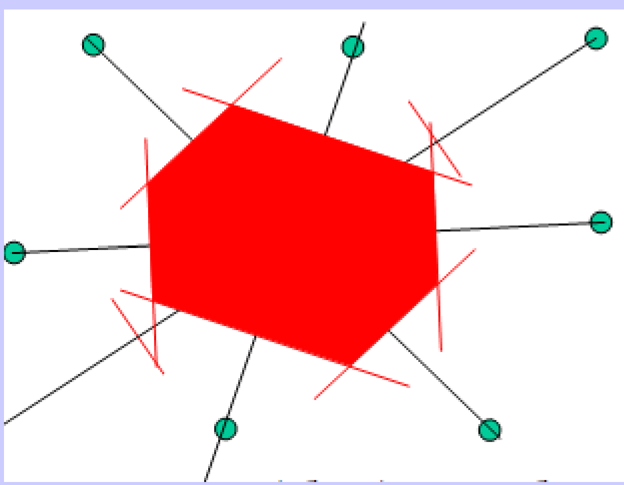
Надо знать (пригодится)

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

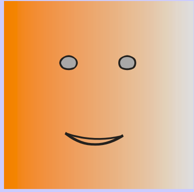
(а) Строятся линии, соединяющие ближайшие узлы решетки

(б) проводим перпендикуляры к этим линиям в их середине

(в) Многогранник наименьшего объема - ячейка Вигнера-Зейтца

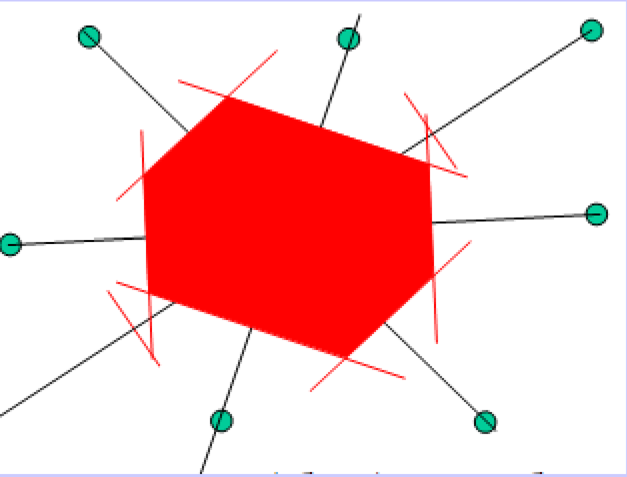


Ячейка Вигнера-Зейтца имеет тот же объем, что и обычная примитивная ячейка и содержит 1 узел. Если подвергнуть эту ячейку трансляциям, определяемым всеми векторами решетки, то она заполнит все пространство без перекрытия и разрывов. ***Симметрия ячейки Вигнера-Зейтца такая же, как и у соответствующей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



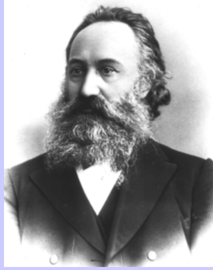
Надо знать (пригодится)

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.

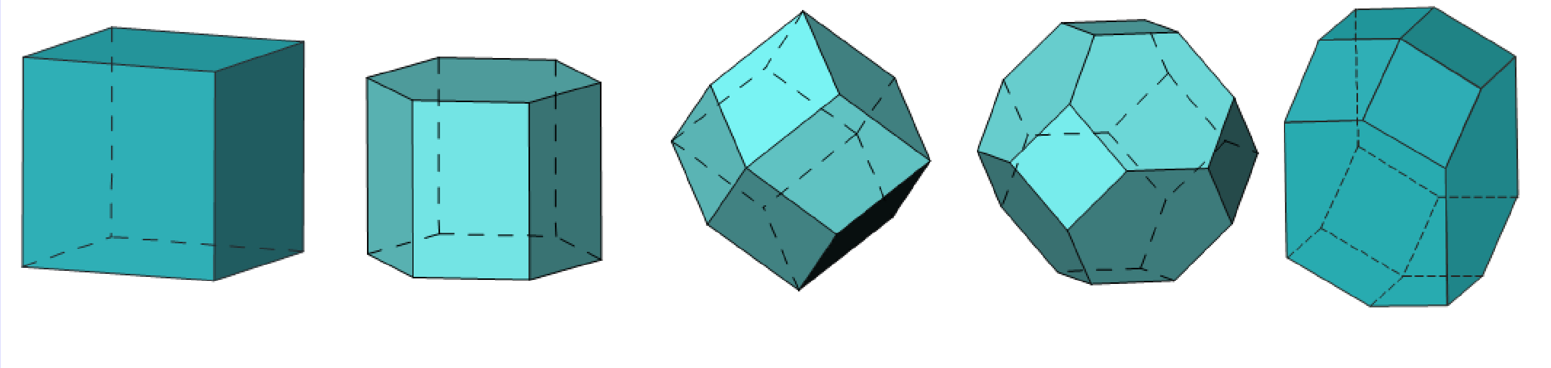


Например, если множество точек *p* будет соответствовать атомным позициям в кристаллической структуре, то вершины многогранников Вороного указывают расположение пустот, максимально комфортных для вхождения атомов другого сорта.

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 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.

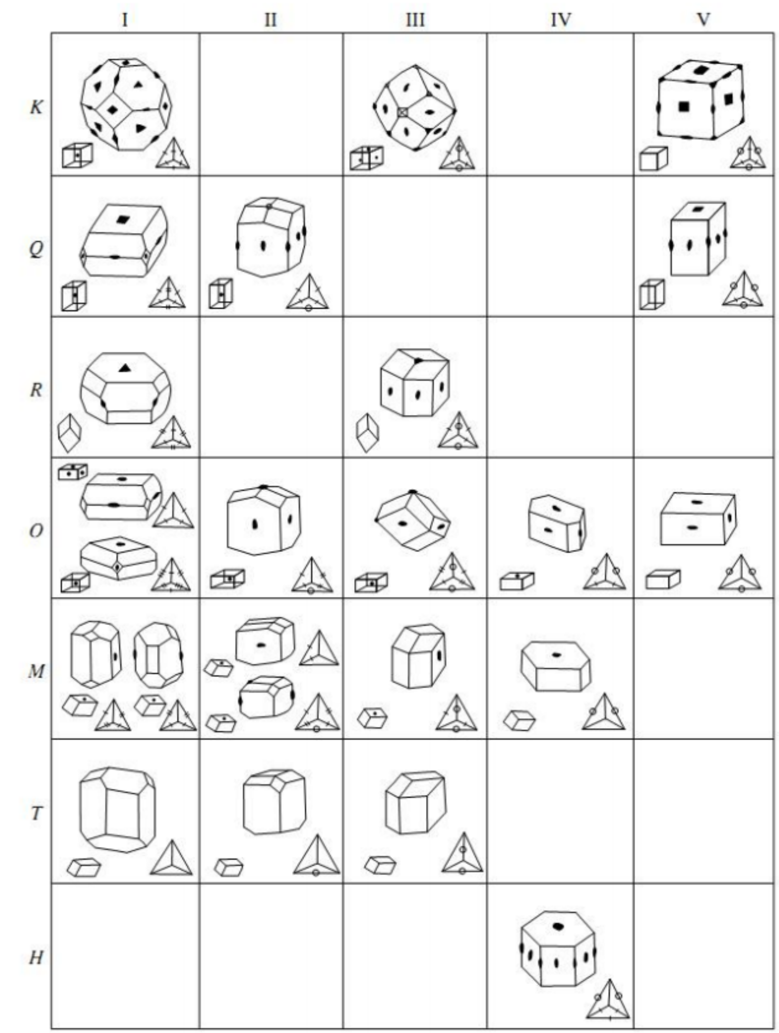
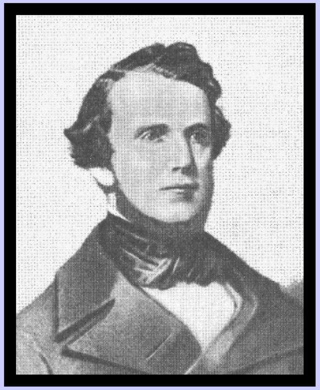
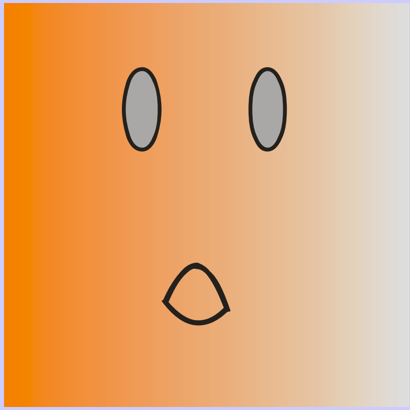


Рис. 2-12. 24 сорта решеток Делоне (согласно *Галиулину*, 1984).

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



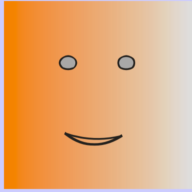
В 1855 г. О. Браве вывел ***14 типов пространственных решеток***



32 + 14 = ???

32 * 14 = ???

32 ↔ 14 = ???



Волшебная арифметика

14 решеток

$\leftrightarrow$

32 класса

=

230 пространственных групп!

В 1890 г. русский кристаллограф Евграф Степанович Федоров

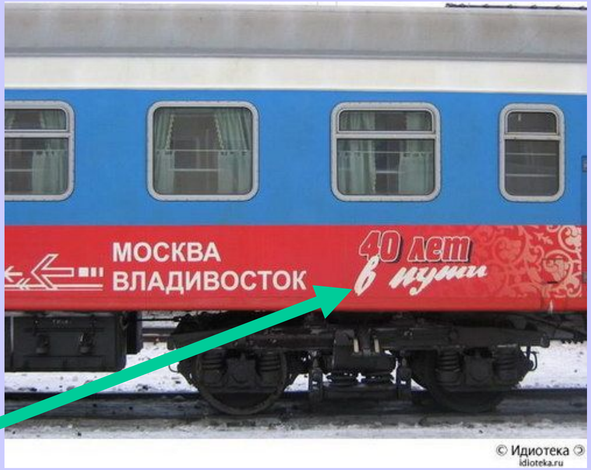
и независимо от него немецкий математик Артур Шенфлис вывели 230 геометрических законов, которым должно подчиняться расположение частиц в кристаллических структурах.

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

Транспортная проблема в государстве кристаллического микромира очень актуальна

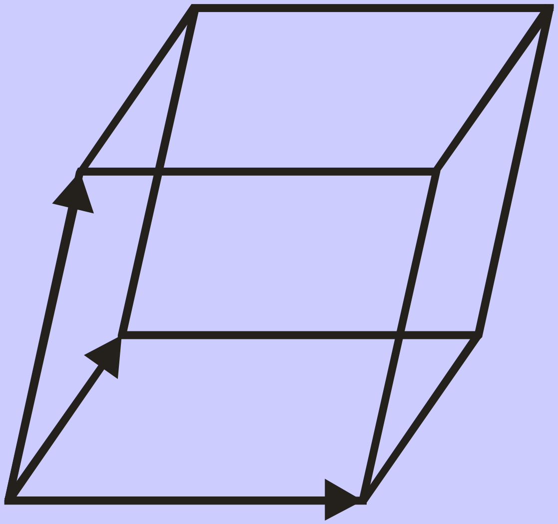
Внешние перевозки

(если 1 м= 1 ангстрему, то кристалл в 1 см будет иметь в микромире размерность 100000000 м =100000 км =10 расстояний от Москвы до Владивостока) т.е. РЖД не особо годится

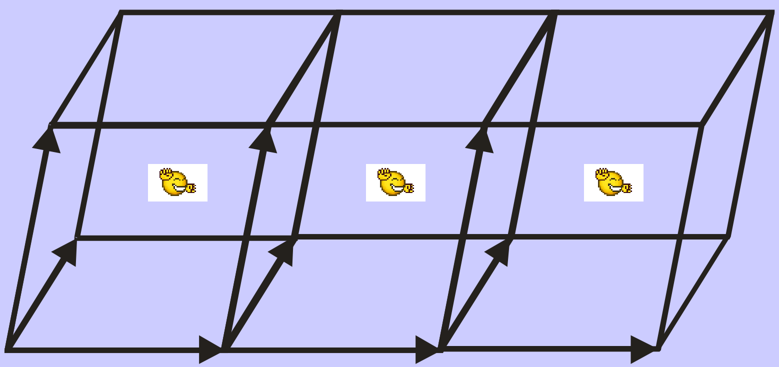


Внутренние перевозки

(элементарные ячейки бывают тоже большие!)

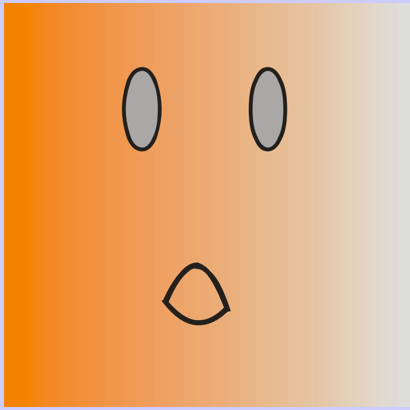


Вселенная микромира дискретна и все самое интересное сосредоточено в ЭЛЕМЕНТАРНОЙ ЯЧЕЙКЕ – параллелепипеде повторяемости



Трансляция позволяет мгновенно перемещаться между эквивалентными узлами с одинаковыми координатами (x, y,z) в различных ячейках так как они эквивалентны!

Это евро-экспресс ICE с бесконечной скоростью!



32 + 14 = 230!

Был точечный набор (А)

Была трансляция (Б)

(А) И (Б) сидели на трубе…

И - что это?

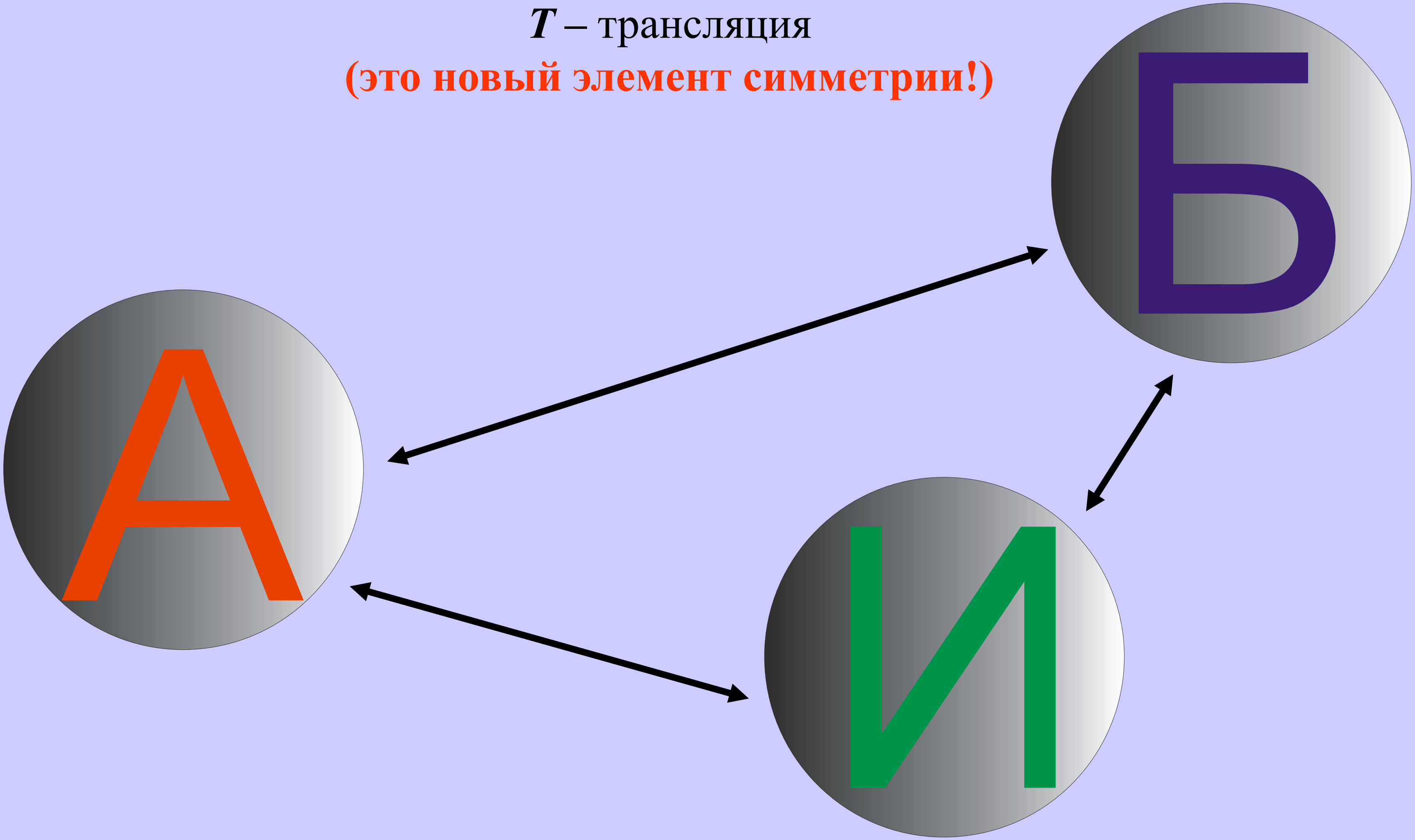
Основы кристаллографической магии



ПРОБЛЕМУ ВНУТРЕННИХ ПЕРЕВОЗОК РЕШАЮТ И (ТРАНСЛЯЦИОННЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ СИММЕТРИИ)

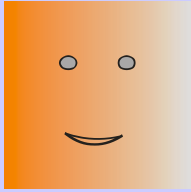
T – трансляция

(это новый элемент симметрии!)



Ее взаимодействие с точечными элементами симметрии приводит к появлению:

Винтовых осей (волшебные оси со входом в винтовой портал) и волшебных плоскостей скользящего отражения



Волшебная арифметика

14 решеток

+

32 класса

=

230 пространственных групп!

Надо осознать, что исходная и трансляционная точка – это теперь одно и тоже! Следовательно, элемент симметрии может не оставить нас на месте а

переместить в трансляционный эквивалент!

НАСТАЛО ВРЕМЯ!

ПЕРЕХОДИ НА НОВЫЙ УРОВЕНЬ

Гарри Каспаров наконец-то выиграл у компьютера и с двумя очками и тремя жизнями перешел на следующий уровень.

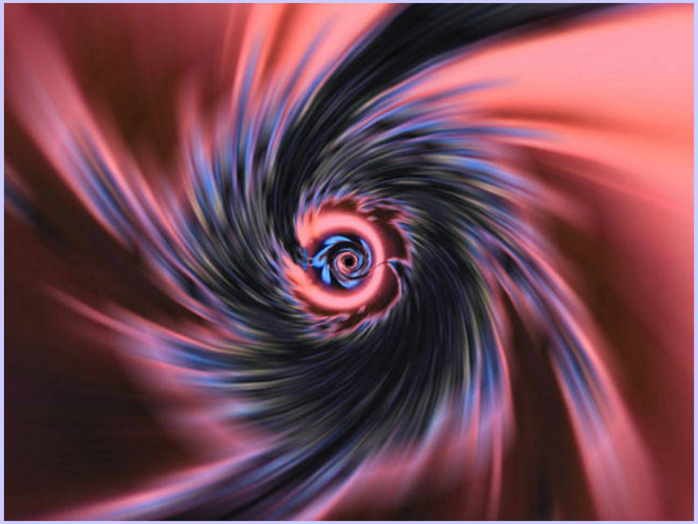
СТРОГО СЕКРЕТНО!

СТУДЕТНАМ С ДРУГИХ МФК ПОКАЗЫВАТЬ КАТЕГОРИЧЕСКИ ВОСПРЕЩАЕТСЯ!

1-ое волшебное заклинание

«Портал буравчика»

В микромире можно безболезненно перемещаться, прыгая от одного эквивалентного узла в другой. Один из инструментов для прыжка – волшебная ось n-ого порядка



«Винтовой портал»

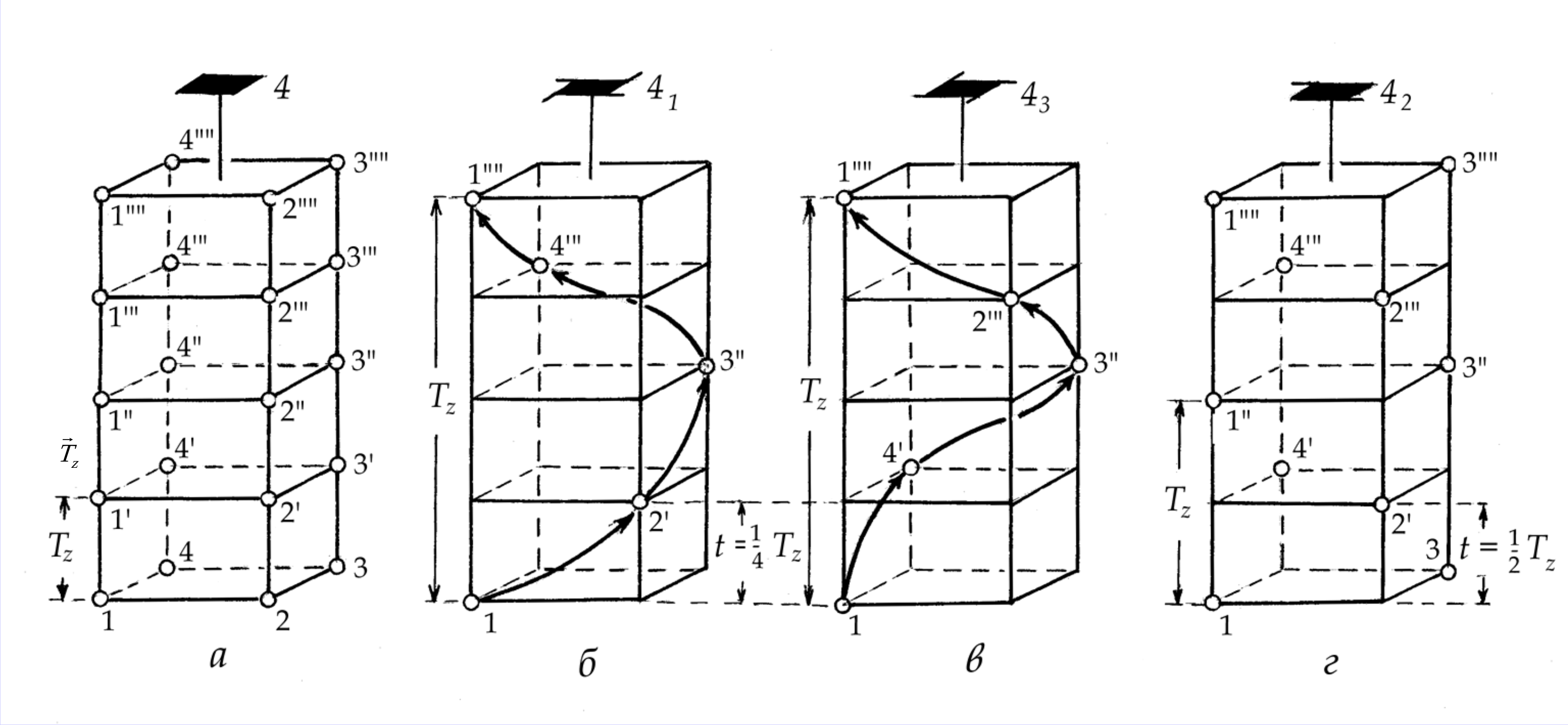


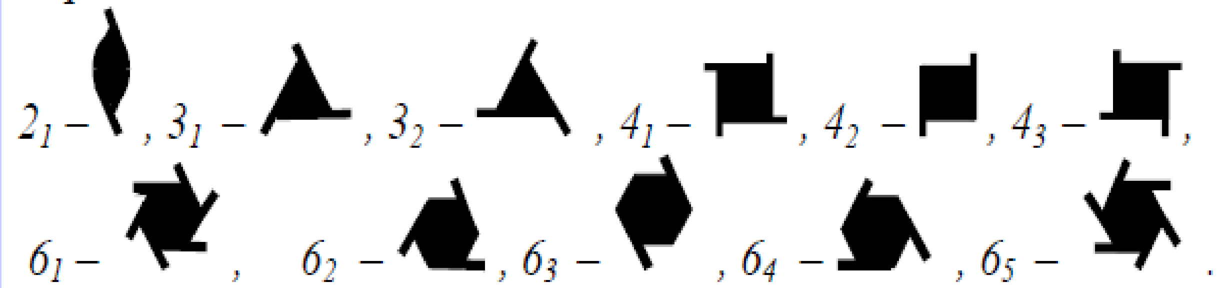
Иллюстрация взаимодействия поворотной оси 4-го порядка с параллельным ей трансляционным вектором:

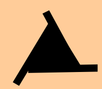
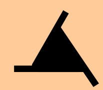
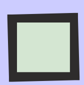
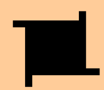
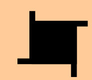
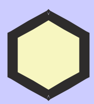
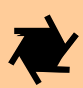
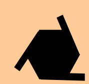
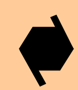
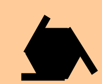
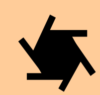
а – четверная поворотная ось 4;

б, в – энантиоморфные винтовые оси 4_1 *(правая) и* 4_3 *(левая);*

г – нейтральная винтовая ось 4_2

«Винтовой портал»

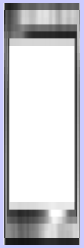


Ось	Для маглов	Для продвинутых гриффиндорцев				
2						
3						
4						
5	Не сегодня					
6						

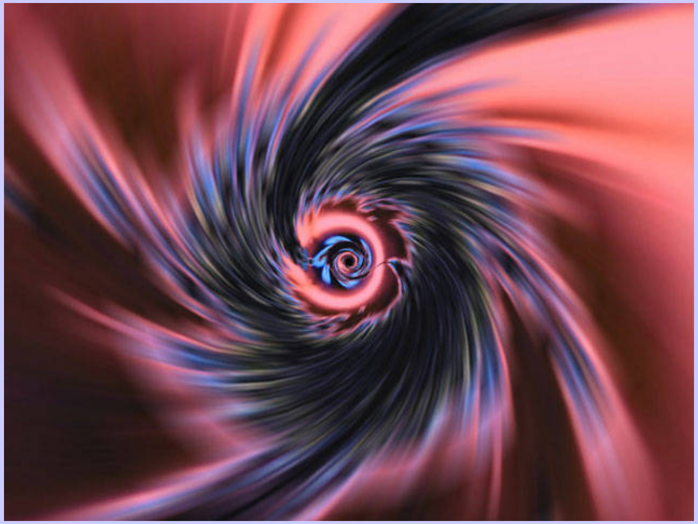
Осей 6-ого порядка ШЕСТЬ!

2-ое волшебное заклинание

«Портал кривых зеркал»



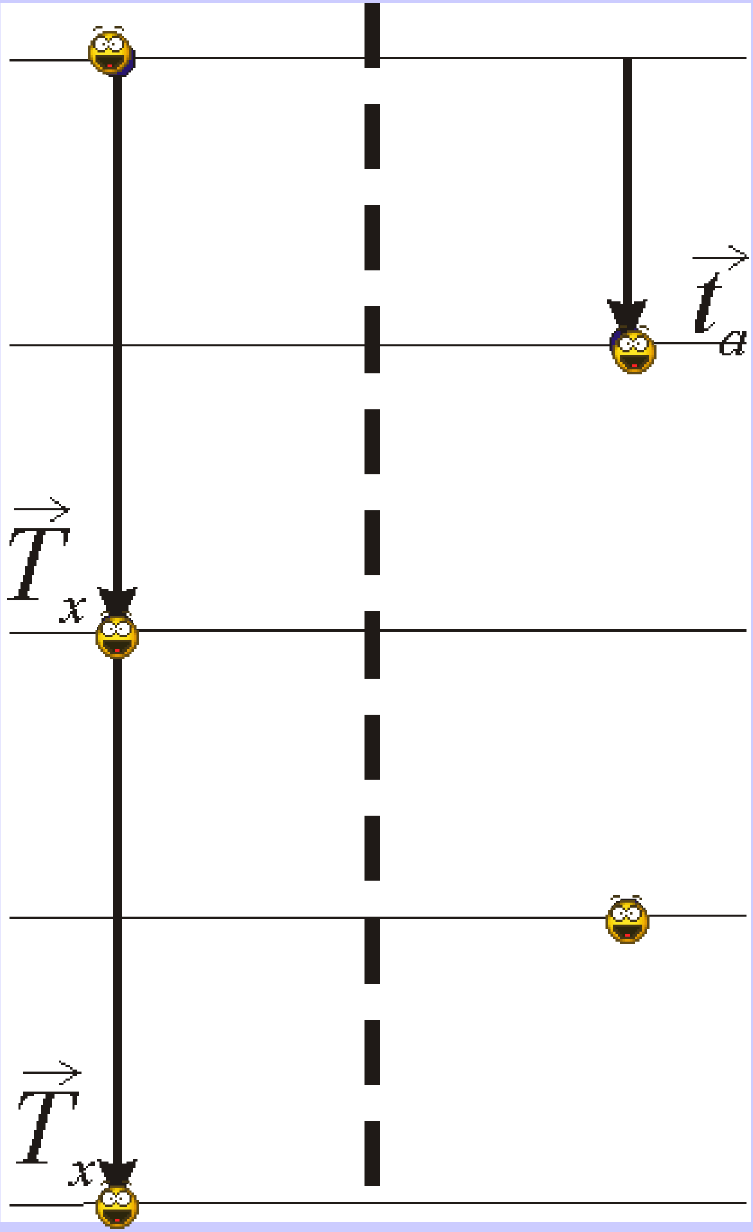
В микромире можно безболезненно перемещаться, прыгая от одного эквивалентного узла в другой. Еще один из инструмент для прыжка – волшебная плоскость-зеркало



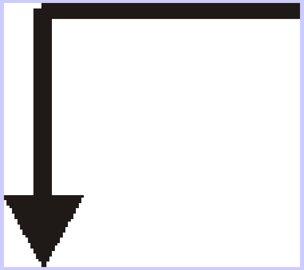
Волшебная плоскость скользящего отражения

a

Фигурка отражается в плоскости и входит в портал, выскочив из него через половину трансляции по координате x

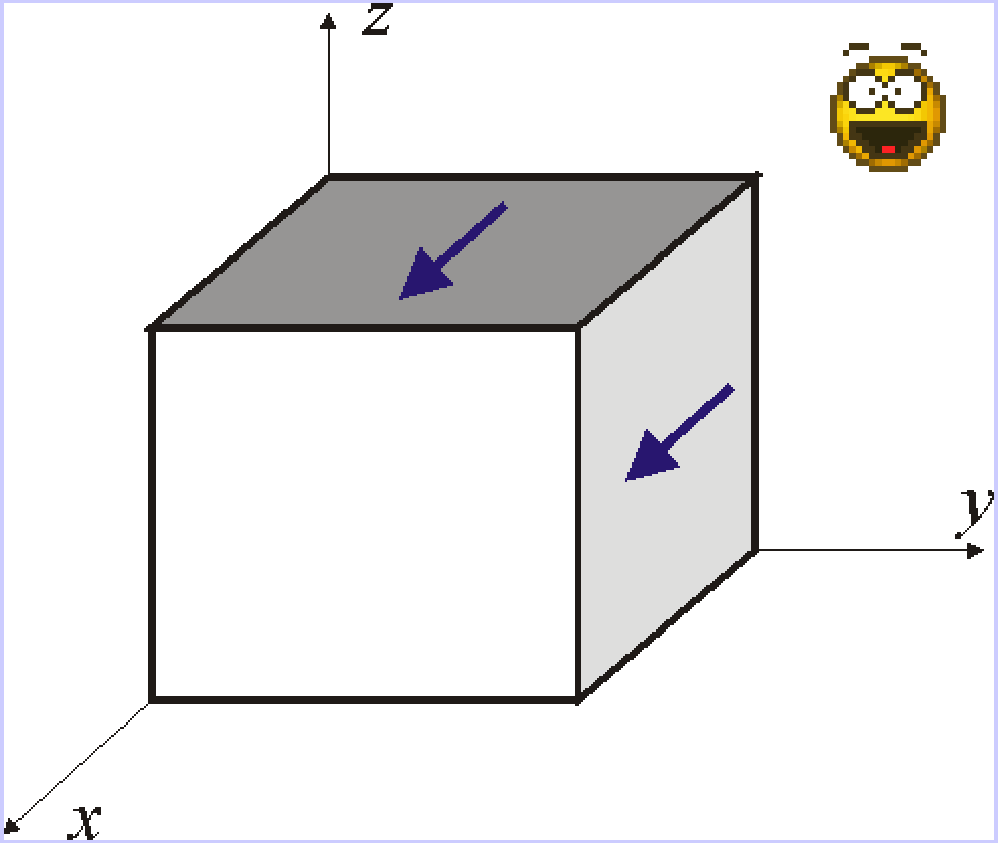


Обозначения :



Волшебная плоскость скользящего отражения

a



a_z – горизонтальная плоскость, скользящего отражения; нормаль перпендикулярна оси z

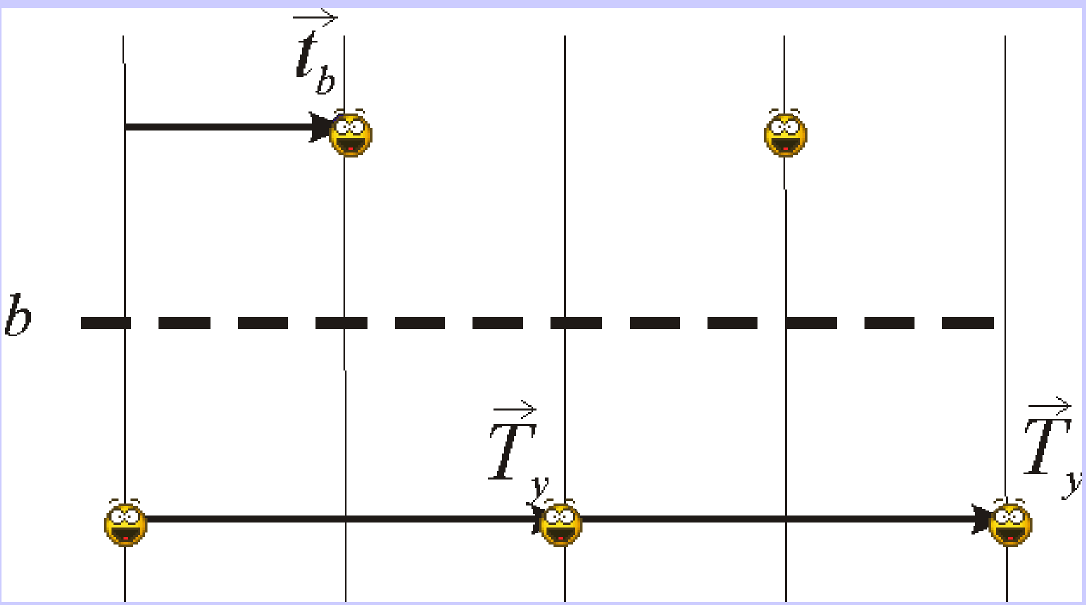
a_y – вертикальная плоскость, скользящего отражения; нормаль перпендикулярна оси y

a_x – **быть не может!**

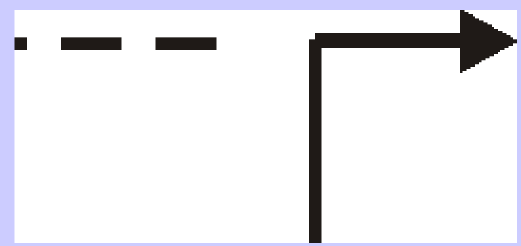
Волшебная плоскость скользящего отражения

b

Фигурка отражается в плоскости и входит в портал, выскочив из него через половину трансляции по координате y

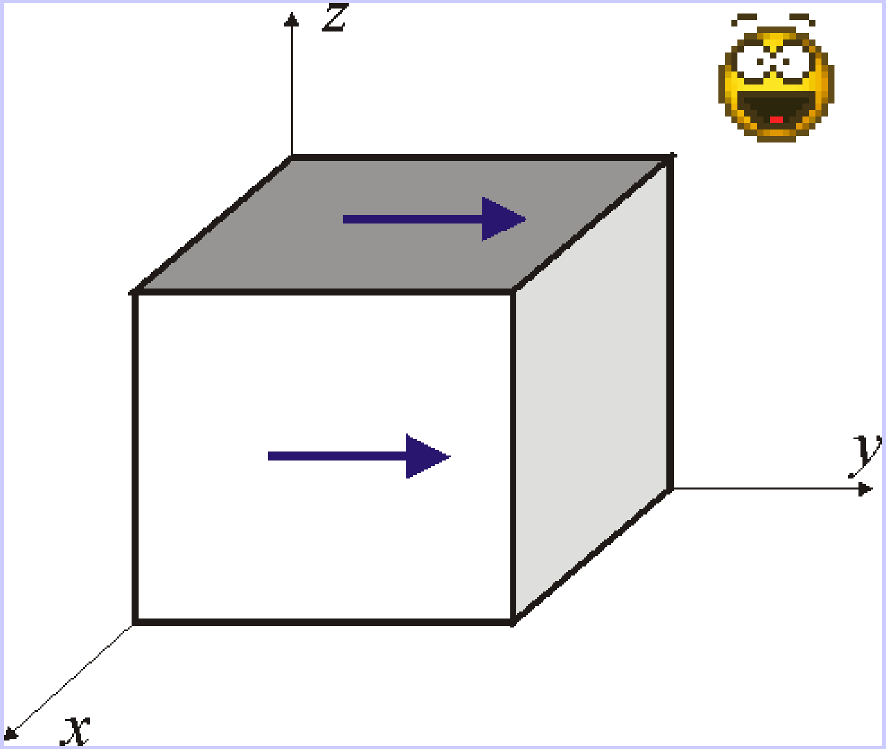


Обозначения :



Волшебная плоскость скользящего отражения

b



b_z – горизонтальная плоскость скользящего отражения; нормаль перпендикулярна оси z

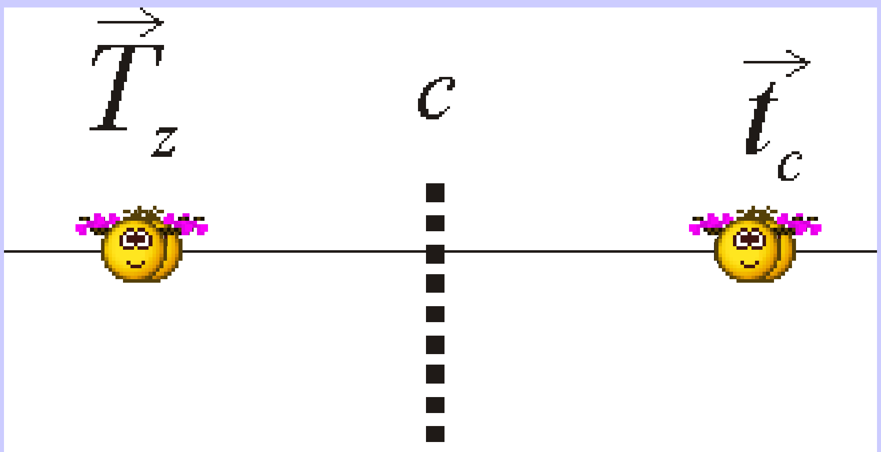
b_x – вертикальная плоскость скользящего отражения; нормаль перпендикулярна оси x

b_y – **быть не может!**

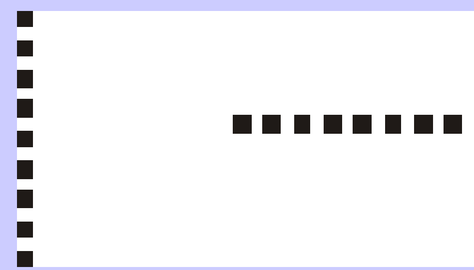
Волшебная плоскость скользящего отражения

c

Фигурка отражается в плоскости и входит в портал, выскочив из него через половину трансляции по координате ***z***

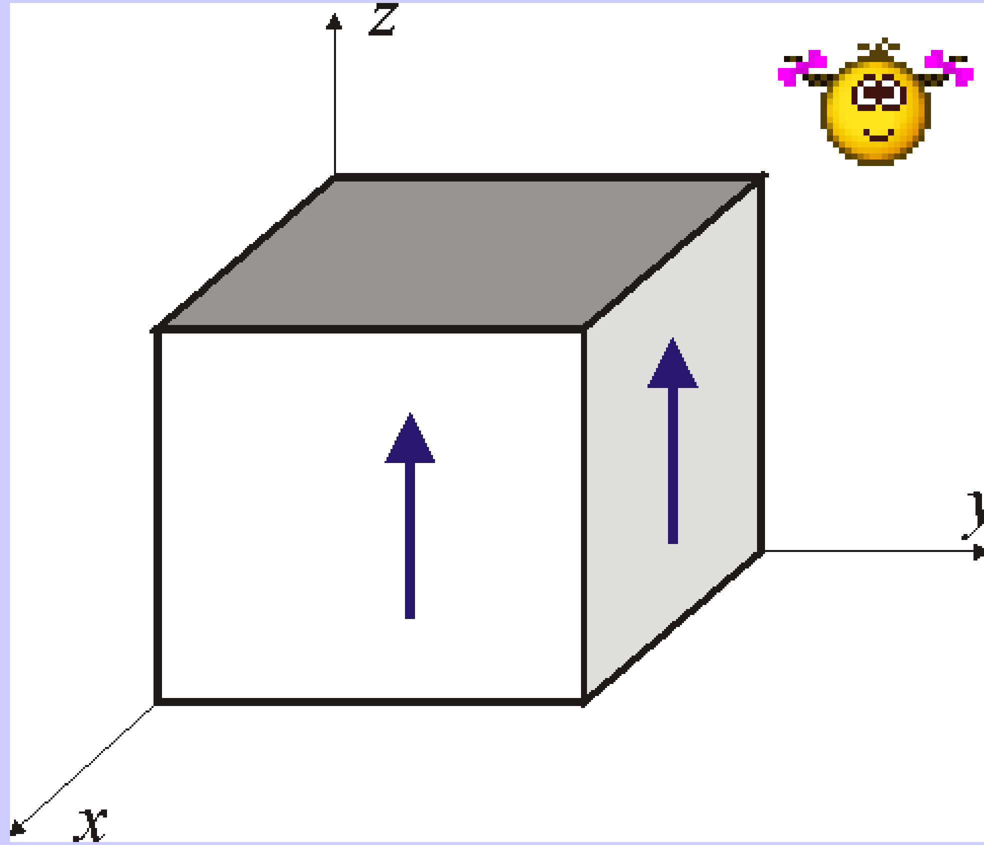


Обозначения :



Волшебная плоскость скользящего отражения

c



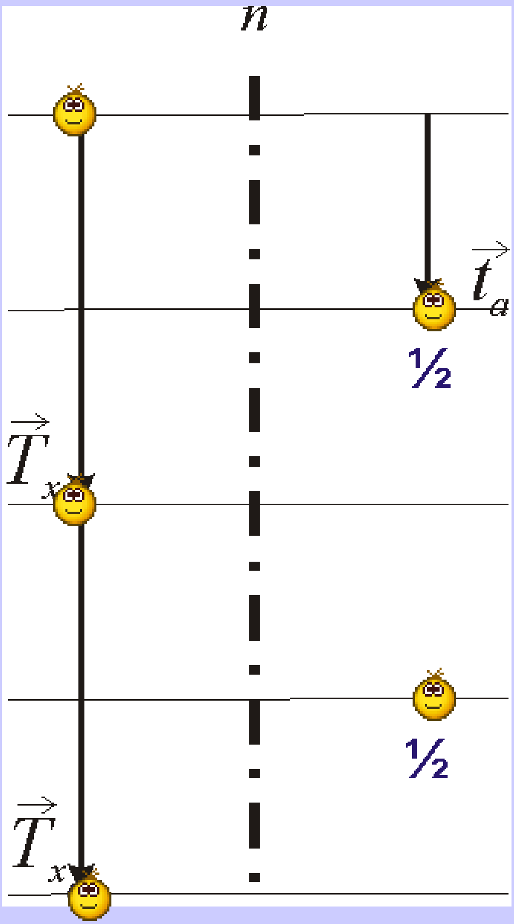
c_x – вертикальная плоскость скользящего отражения; нормаль перпендикулярна оси x

c_y – вертикальная плоскость скользящего отражения; нормаль перпендикулярна оси y

горизонтальной c быть не может!

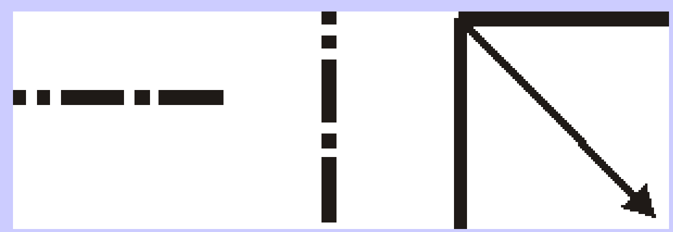
Волшебная клино-плоскость

n



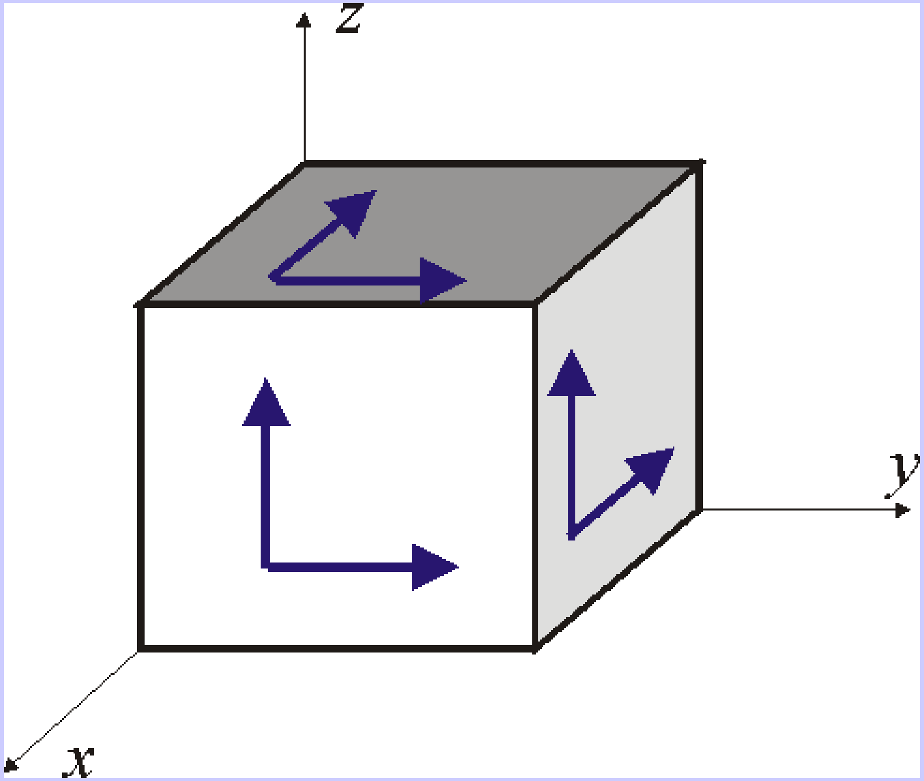
Фигурка отражается в плоскости и входит в портал, выскочив из него через половину трансляции по двум координатам

Обозначения :



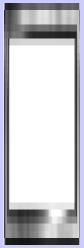
Волшебная клино-плоскость

n



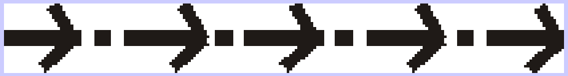
Есть три разных n

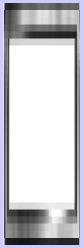
Есть еще



Волшебная клино-плоскость

d





Волшебная плоскость скользящего отражения

e

и другие…
Так что не думайте, что вам прям так сразу все расскажут

В СЛЕДУЮЩИЙ РАЗ

<u>Из макромира в микромир. Часть 2</u>

Симметрийные ужасы кристаллического микромира. Заклинания взаимодействия «клон», «поиск портала» и другие. Этапы построения простых графиков группы симметрии. Характеристики ПСТ.

Как родилась трансляция?