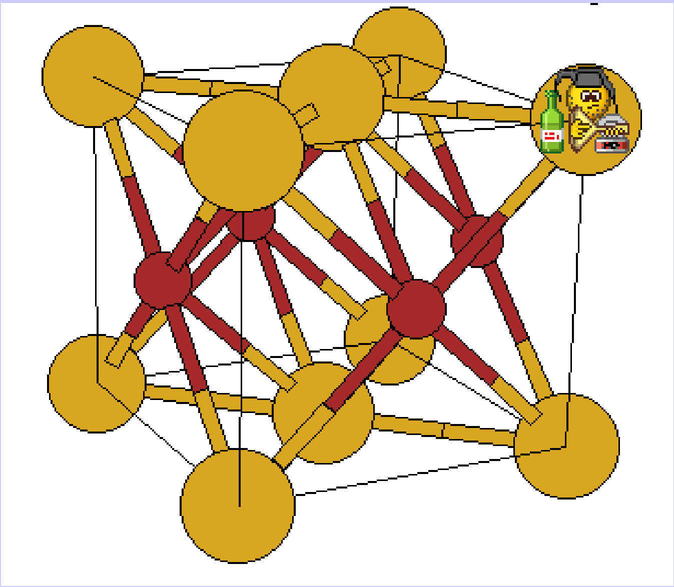
ЛЕКЦИЯ 9

СИММЕТРИЯ КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО МИКРОМИРА.
ЧАСТЬ 1



1 м – единицы измерения

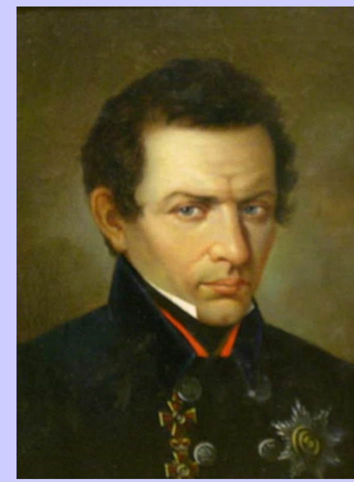
- Как известно, Пьер Симон Лаплас во время французской революции предложил ввести новую «революционную» единицу длины – метр – равную 1/40,000,000 части длины парижского меридиана.

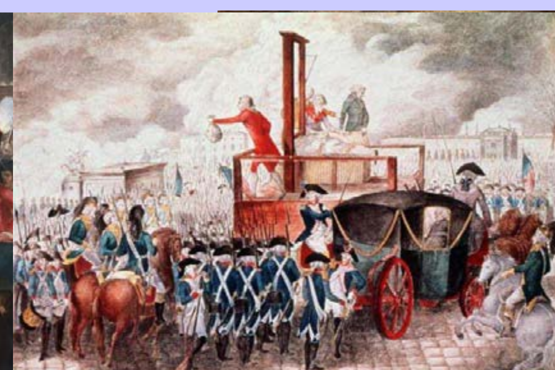
На всех этапах бурной политической жизни тогдашней Франции Лаплас <u>никогда не вступал в конфликты с властями</u>, которые почти неизменно осыпали его почестями. Такое поведение Лапласа <u>не только предохранило его от репрессий революции, но и позволило занимать высокие должности</u>. <u>Свои политические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

- 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.

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.





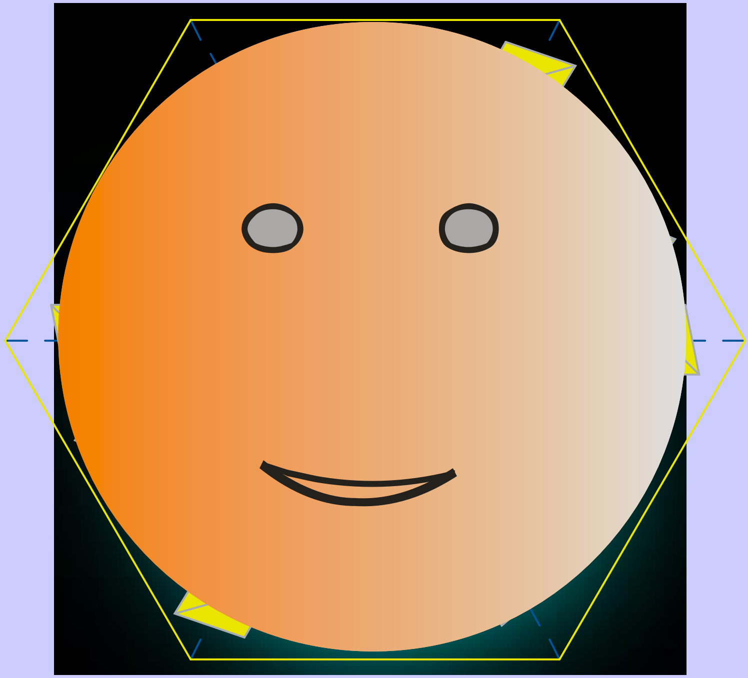
1 м – единицы измерения

- 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 - США, Либерии и Мьянмы (Бирма)

- 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.

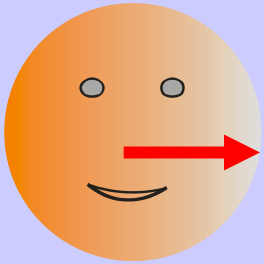
1 м – единицы измерения



Включаем волшебный микроскоп

1Å

Привет! Я – атом – мельчайшая химически неделимая частица.



Некоторое время вы будете для простоты считать, что я такой

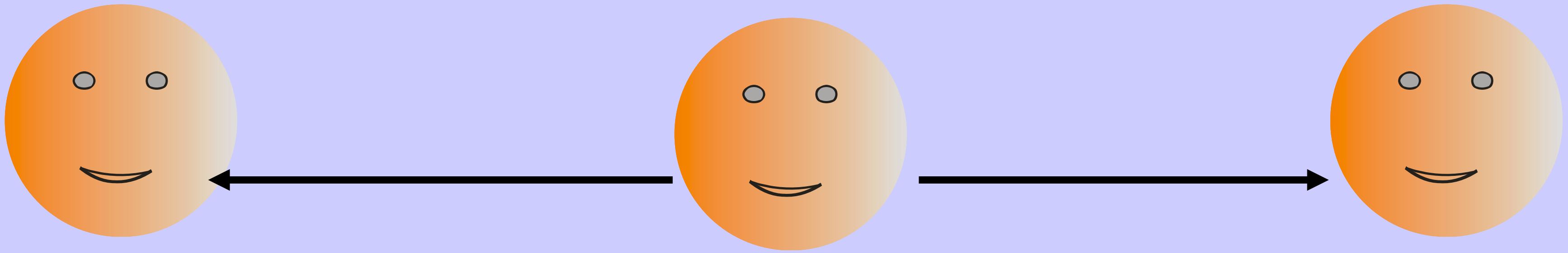
Кругленький (сферический) (хотя это не совсем так)

Иногда немного сжимаемый (как теннисный мячик)

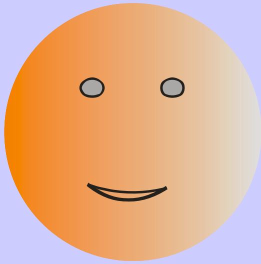
Мой размер в **большинстве** структур соединений определяется **ионным радиусом**, который можно посмотреть в таблице

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

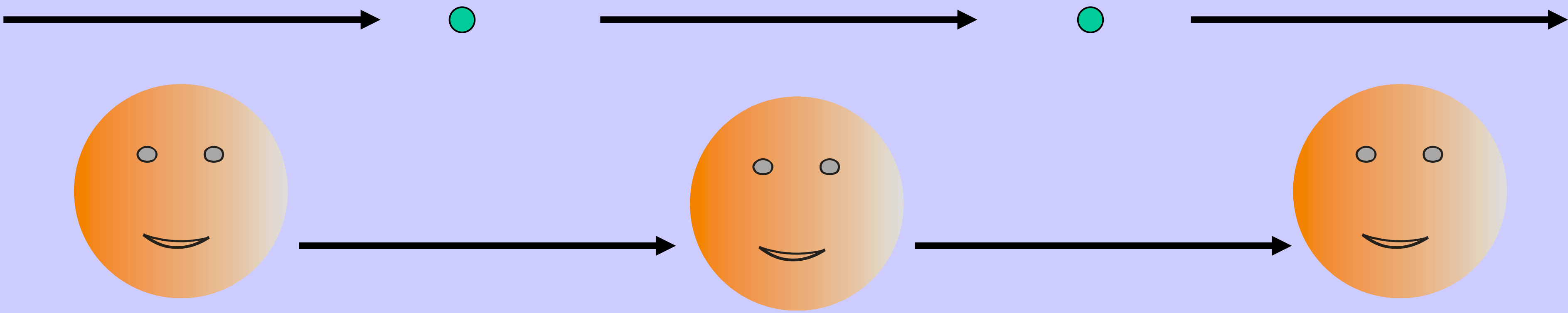
Иногда (когда я живу в кристалле) я с удивлением вижу, что на одинаковом расстоянии слева и справа от себя я вижу приятелей



Возникает ***атомный ряд***

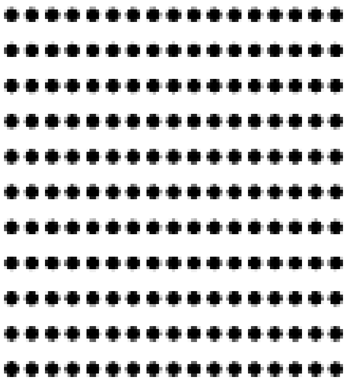


Главная особенность, отличающая кристалл от некристаллических (аморфных) тел, - это ***трехмерная периодичность*** в расположении слагающих его структуру эквивалентных материальных частиц: атомов, ионов, **итд.**

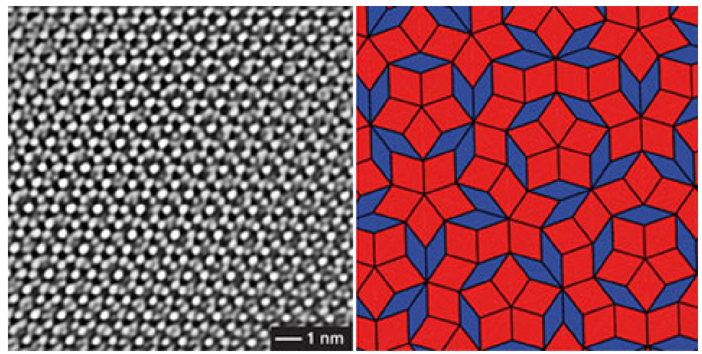


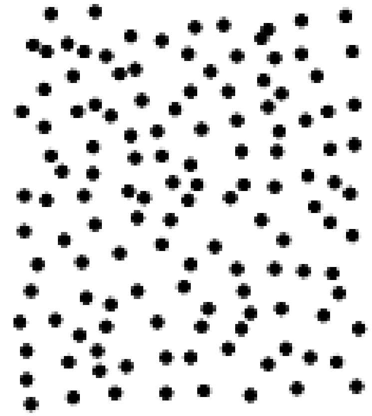
Трехмерная периодичность для эквивалентных точек в пространстве

Аморфные, поликристаллические и кристаллические твердые тела

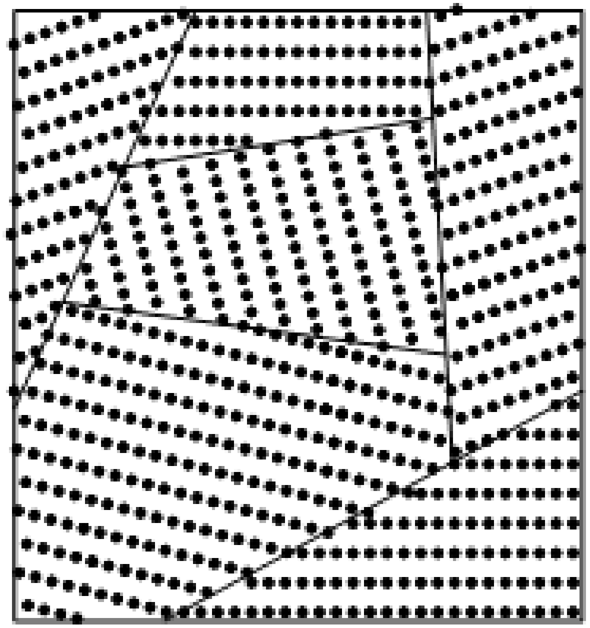


Кристалл (монокристалл)

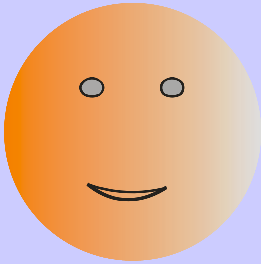




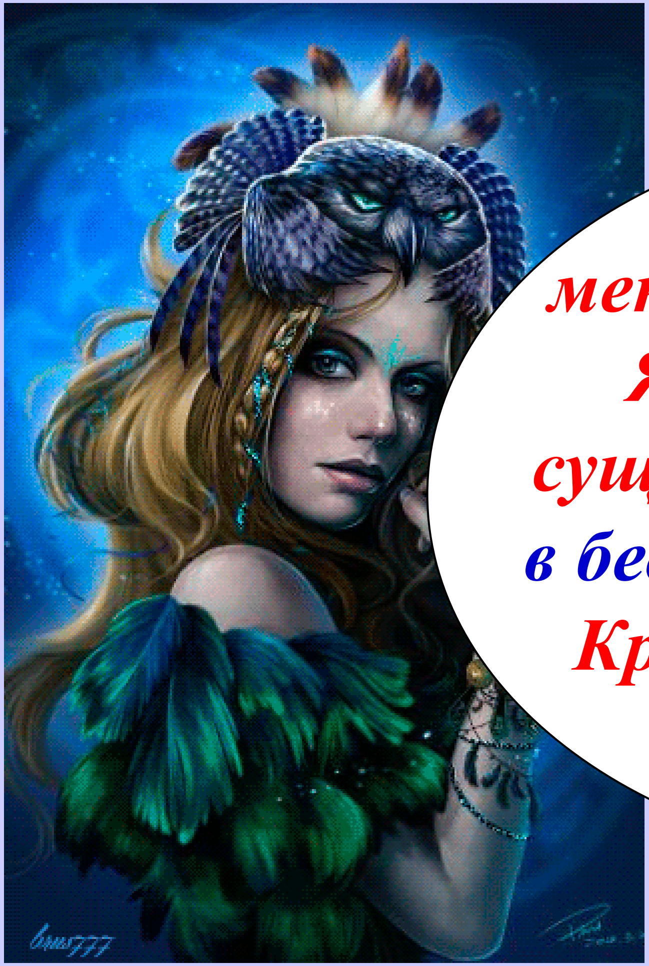
Аморфное состояние



Поликристалл

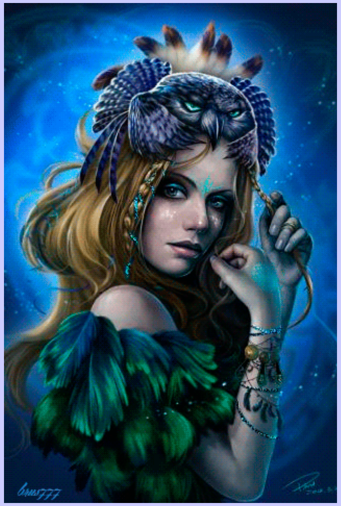


Новая операция симметрии микромира

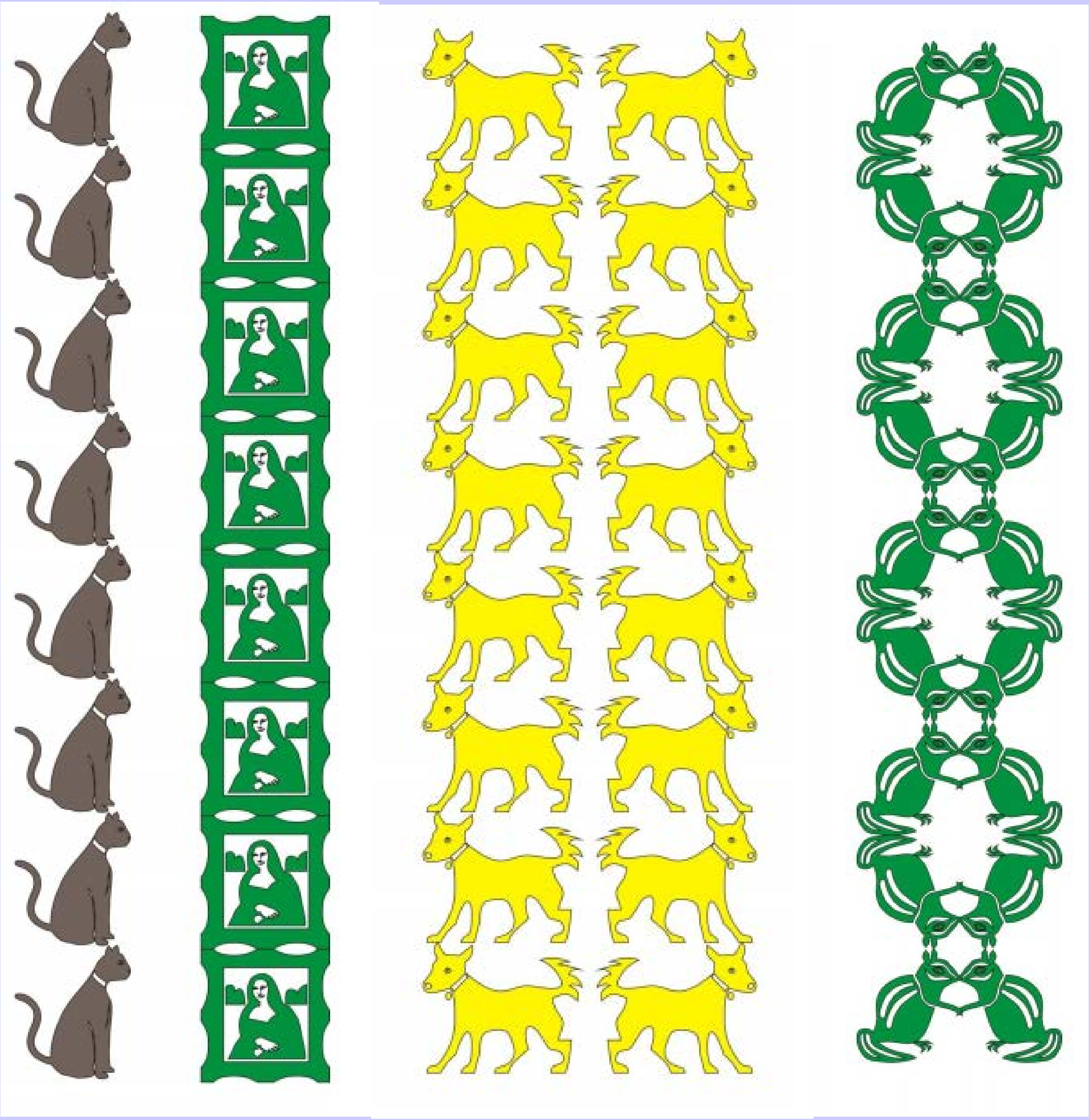


Привет,
меня зовут <u>Трансляция</u>.
Я не материальное существо и живу только в бесконечном микромире
Красивое имя, правда?
Познакомимся?

$$\vec{T}$$



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

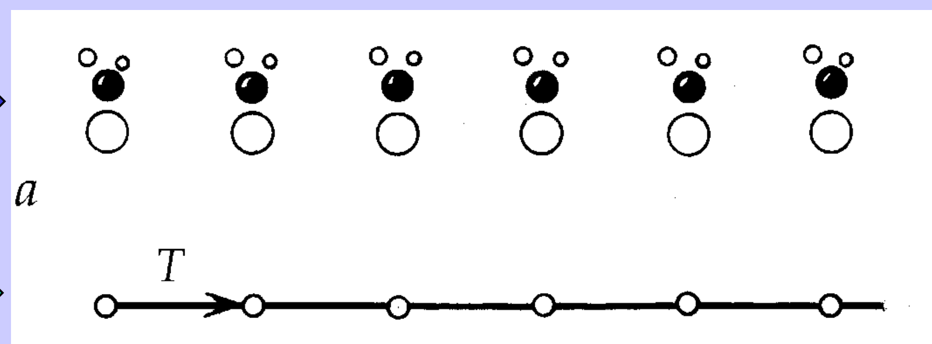


Одномерная решетка – узловой ряд – ряд эквивалентных точек управляется **одной трансляцией**

Материальный узор

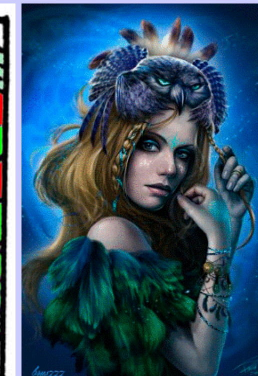
узловой ряд

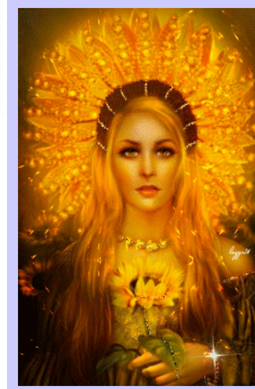
Материальный узор



узловой ряд

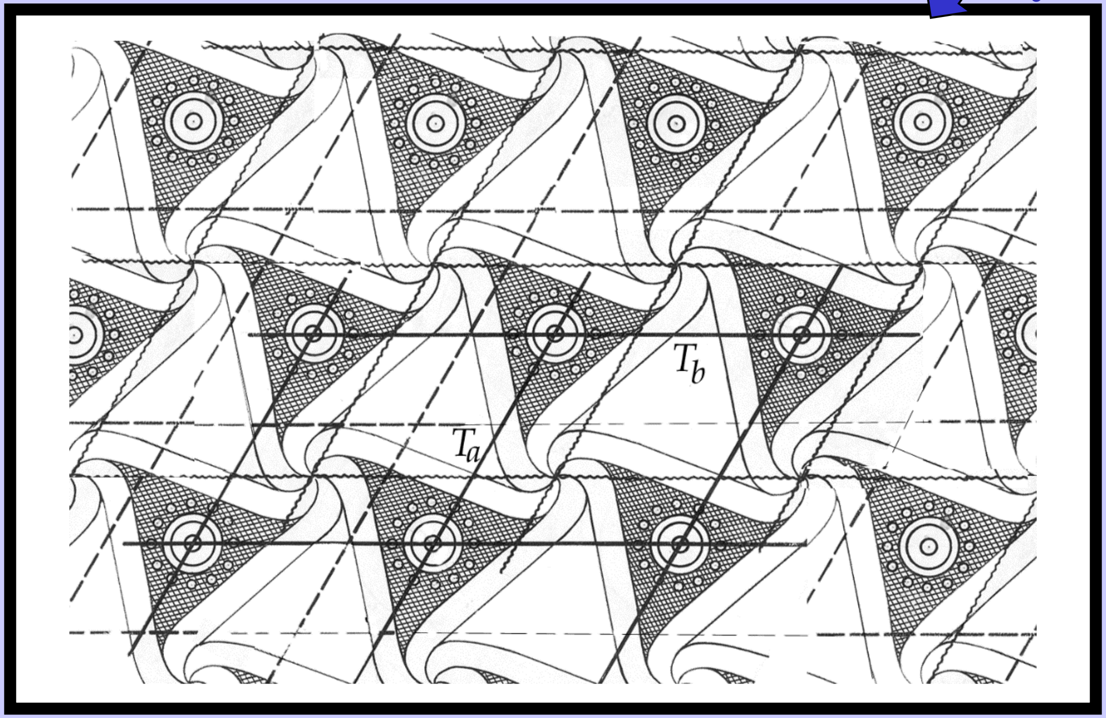
Двумерная узловая сетка – двумерная решетка управляется **двумя разными трансляциями**

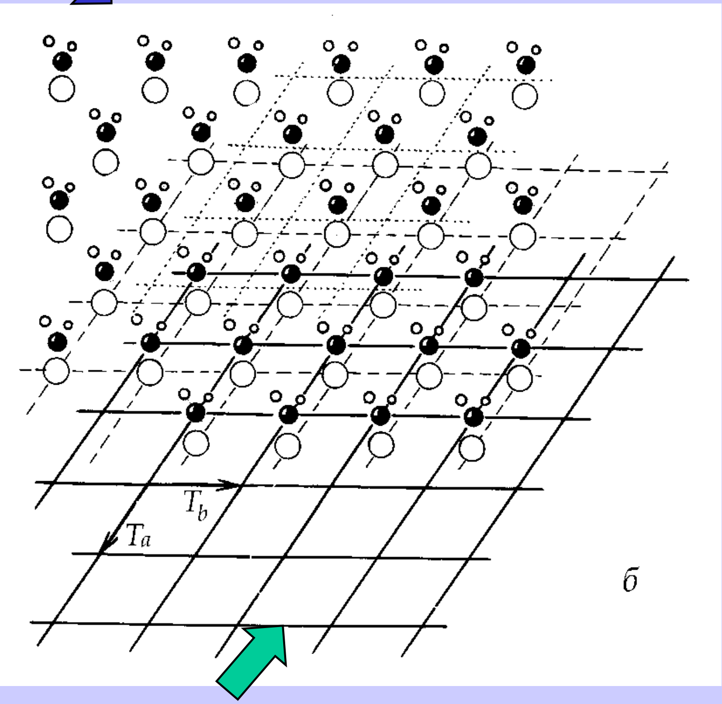




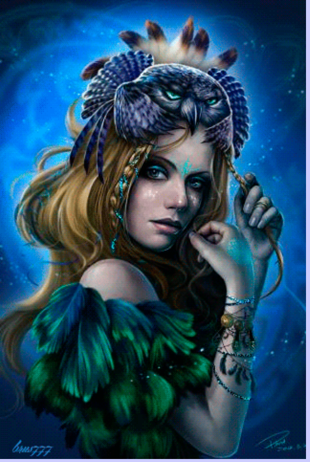
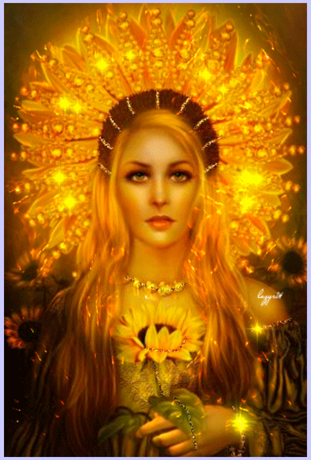
Двумерная узловая сетка – двумерная решетка

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.

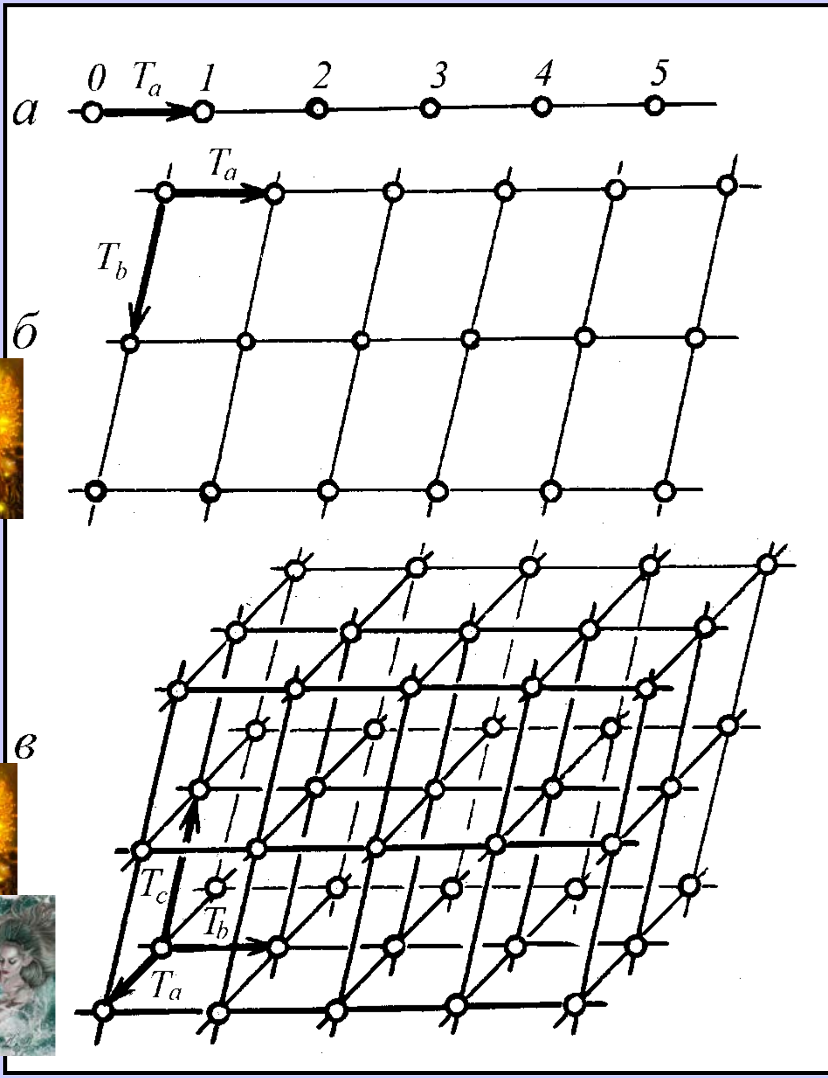
СИММЕТРИЯ КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ СТРУКТУР

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







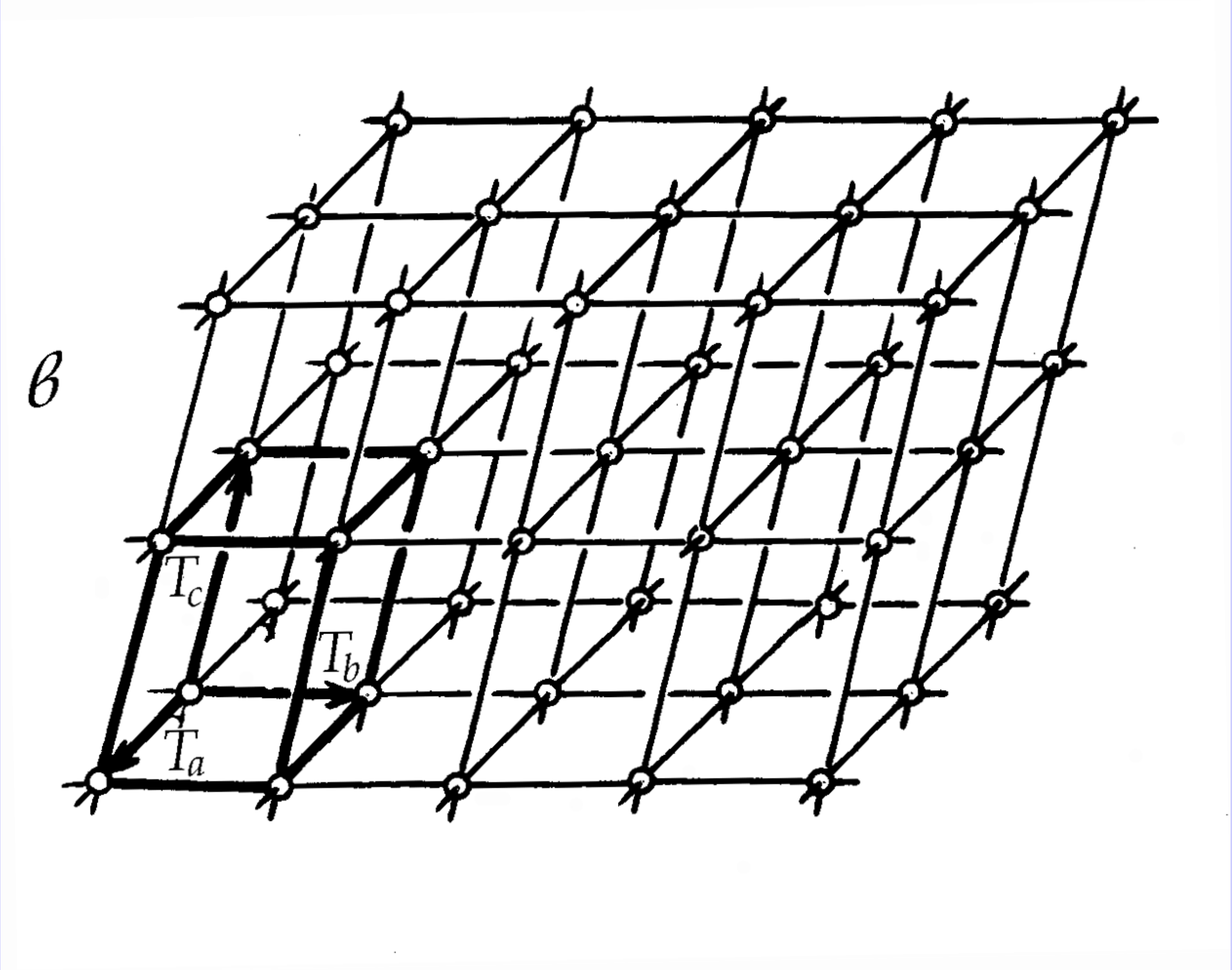


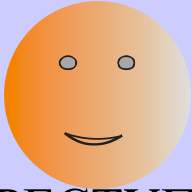
Трехмерная решетка – **выразитель** кристаллического состояния вещества

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).

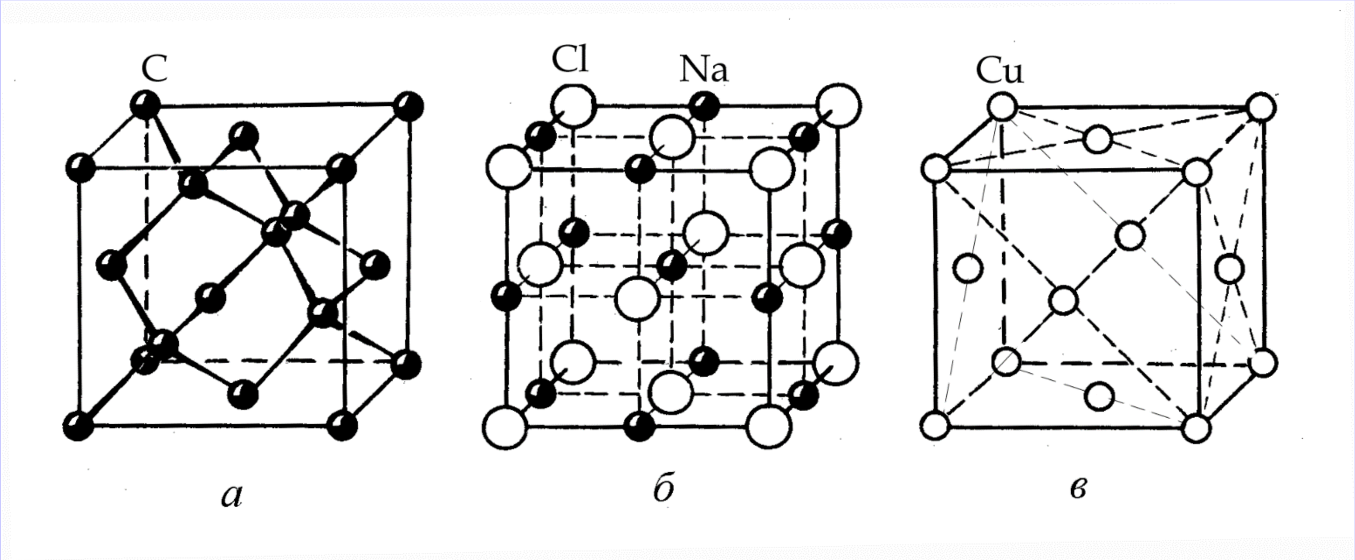
Трехмерная узловая сетка – **трехмерная пространственная решетка** с выделенным параллелепипедом повторяемости



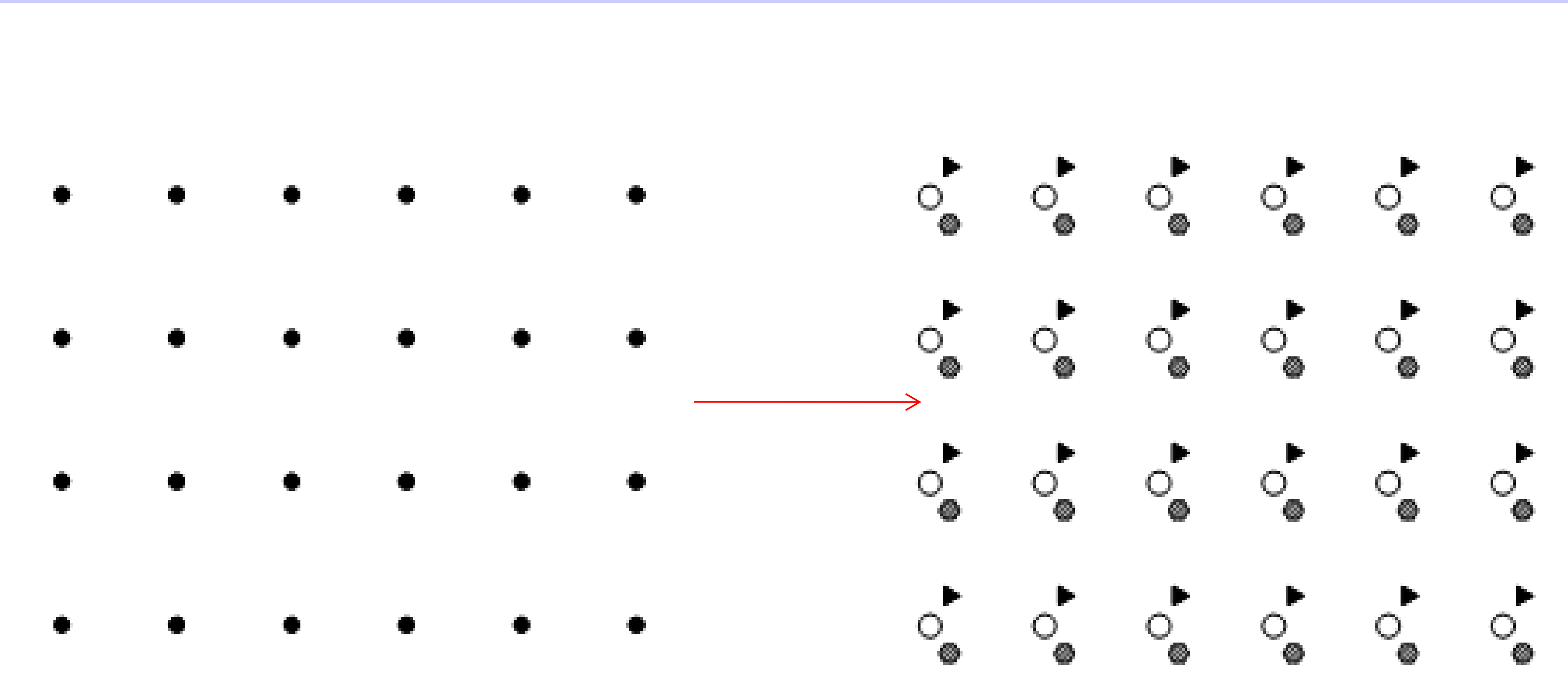


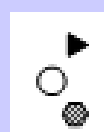
Кстати!

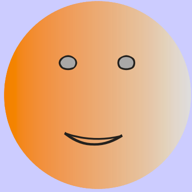
ПРЕСТУПНО! смешивать термины «***кристаллическая решетка***» и «*кристаллическая структура*», ибо первый обозначает **один из элементов симметрии**, с помощью которых можно описать симметрию кристаллической структуры, а второй – конкретное химическое наполнение пространства! <u>Путаников будем жестоко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



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



Решетка + Базис  = Кристаллическая структура



Поэтому *решеток* всего

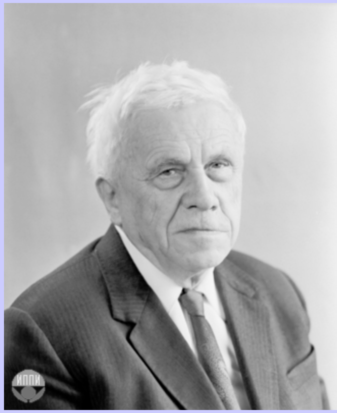
ммм…. вычислим чуть позже

а «*кристаллических структур*»

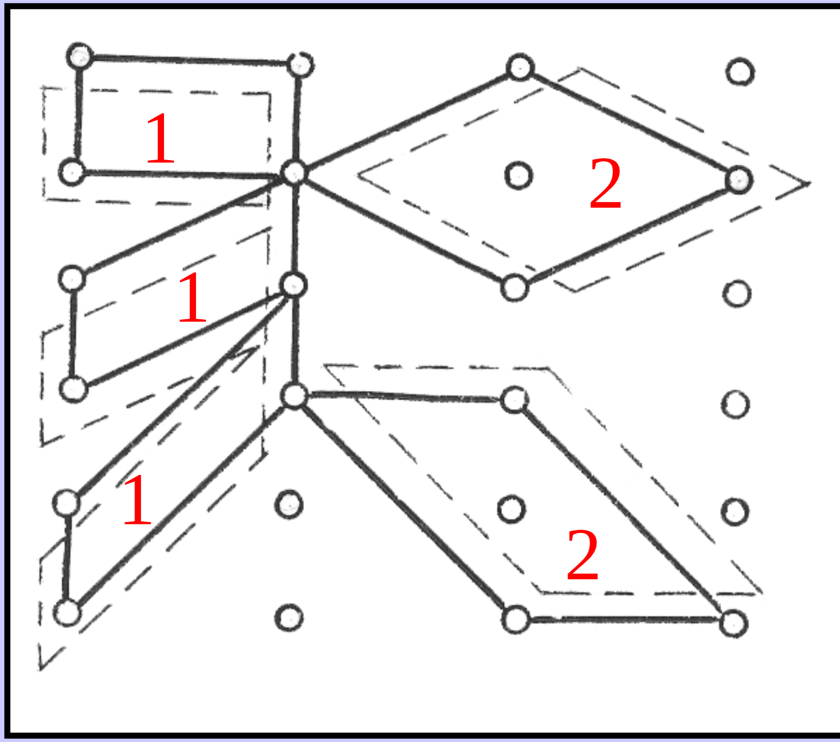
сотни и сотни тысяч

Трехмерная решетка – выразитель кристаллического состояния вещества

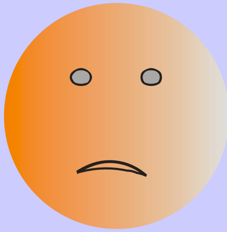
- «Кристалл находится в состоянии решетки»



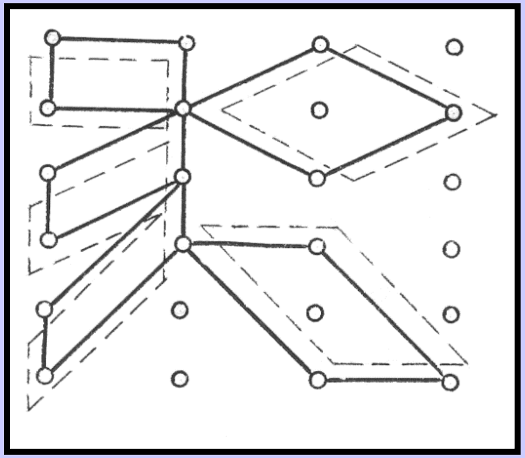
академик Н.В.Белов

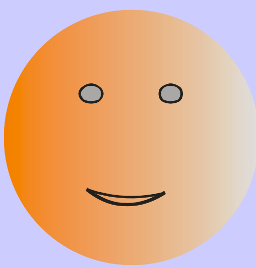


- Все примитивные ячейки равновелики.
- На одну ячейку приходится один узел.
- Число узлов, приходящихся на одну ячейку, показывает **во сколько раз** она больше примитивной ячейки этой же решетки. ***Спорим, что* S(2) любой = 2S(1) любой?**



Как же выбрать параллелепипед (ячейку) правильно?

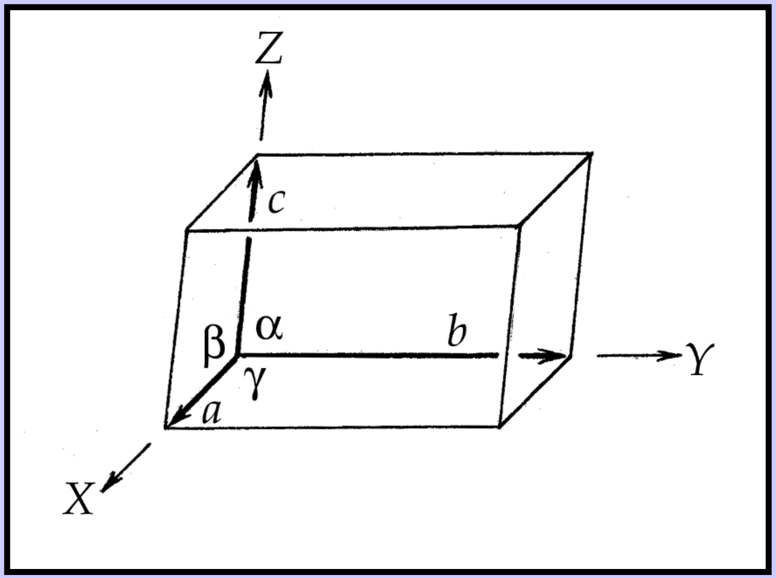




Правила выбора придумал Огюст Браве (*1811-1863 гг.)*

Элементарная ячейка (ячейка Браве) –

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

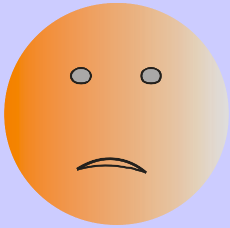


Каждая ячейка Браве характеризуется своими параметрами – константами решетки: тремя координатными векторами T_x, T_y, T_z (или a, b, c) и углами α, β, γ

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

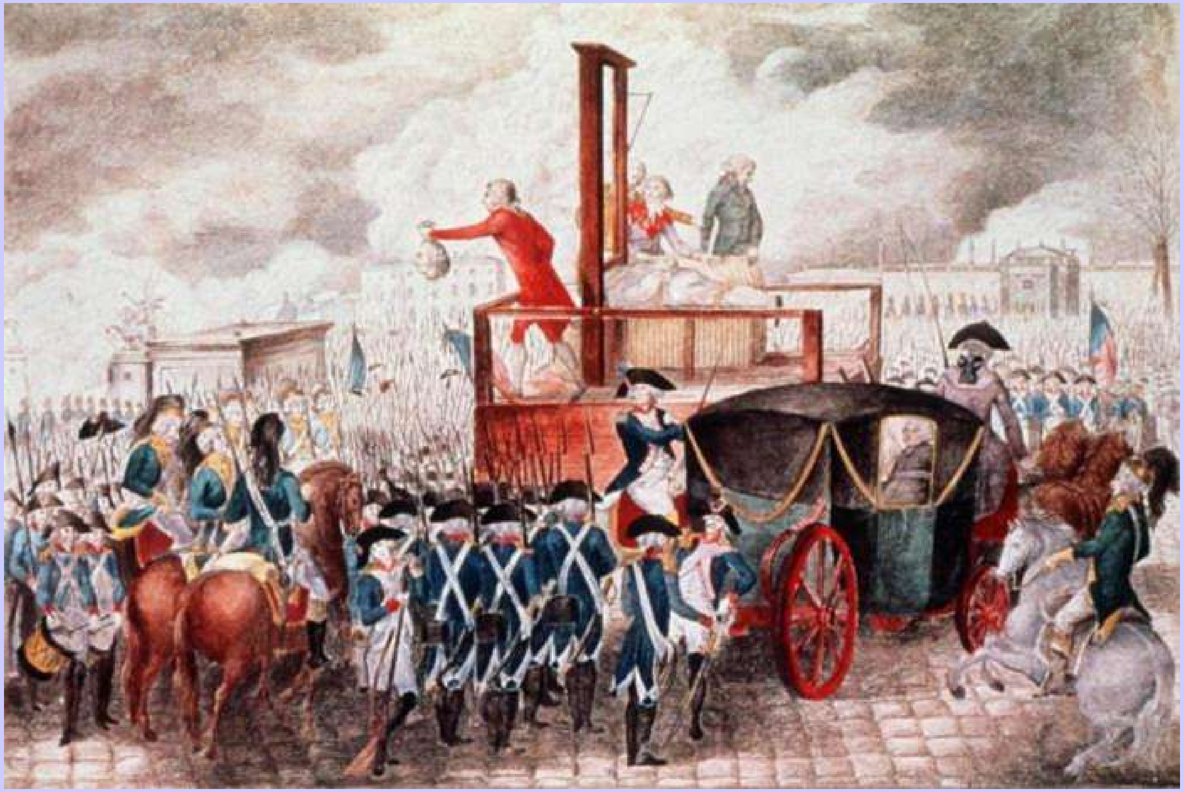
Правила выбора ячейки Браве

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



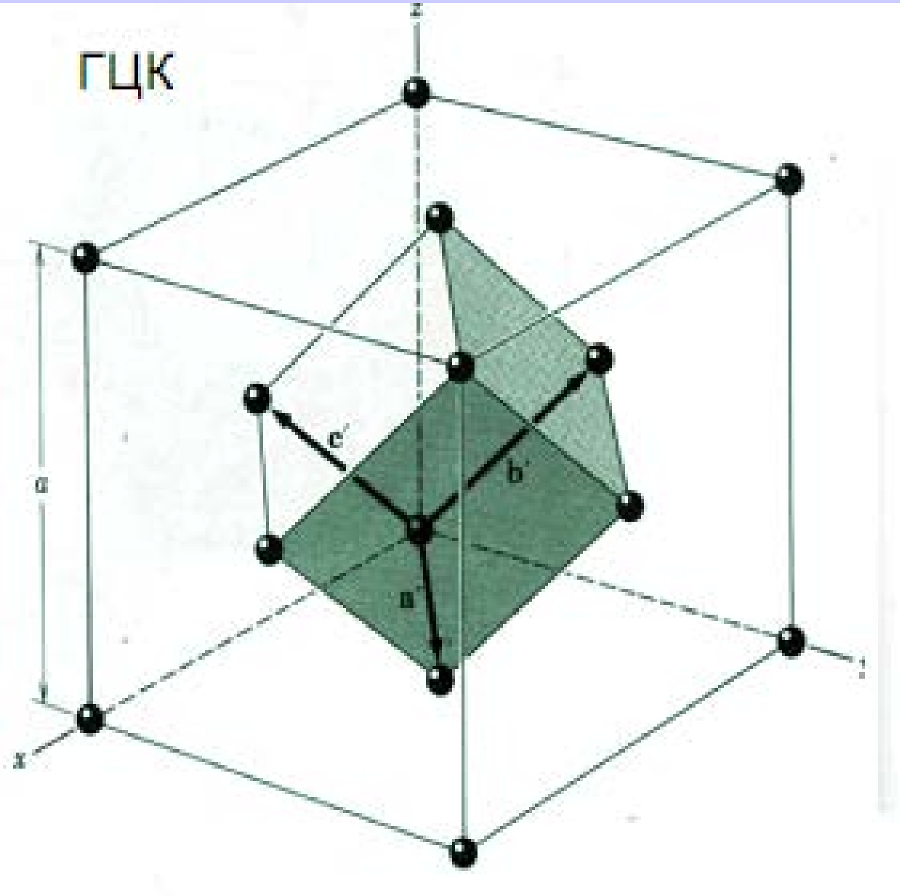
(вспомним принцип Кюри) – неправильно выбрав ячейку, можно потерять ряд элементов симметрии объекта, а это ***преступление в микромире!***

НАРУШИТЕЛЕЙ В МИКРОМИРЕ КАЗНЯТ СРАЗУ

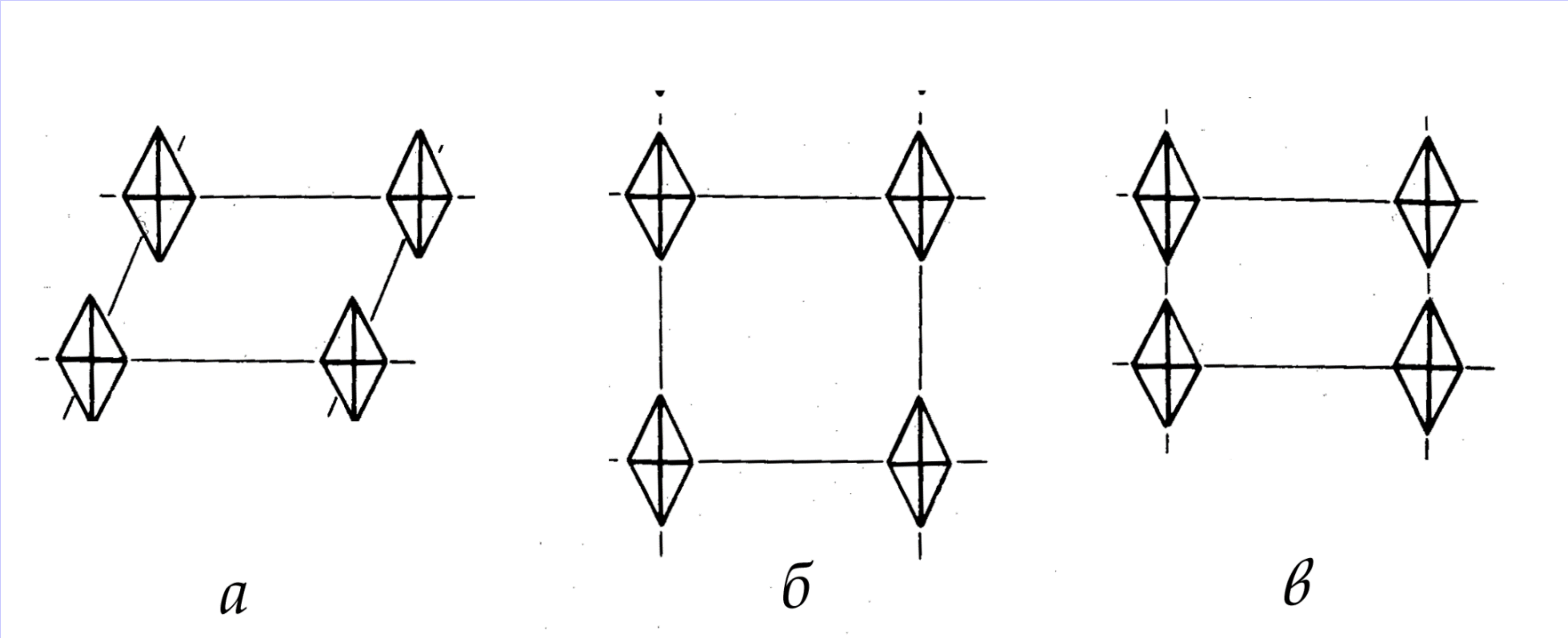


Картина в микро-мирной Третьяковке
«Неправильно выбрал элементарную ячейку»

Основная ячейка и ячейка Браве не всегда равны друг другу



Как прясть двумерные ковры правильно

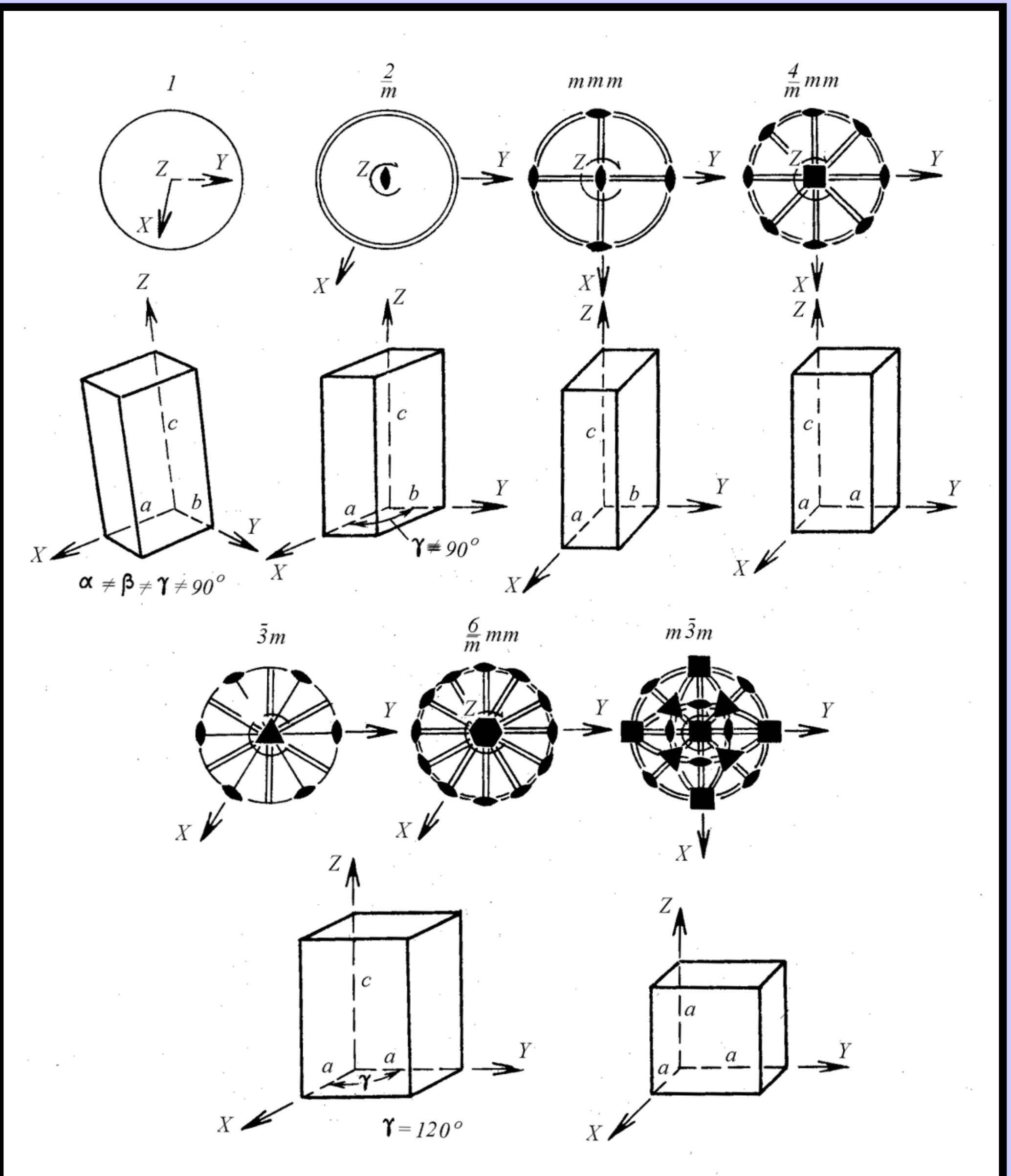


а) – группа симметрии решетки 2 не содержит всех элементов симметрии фигуры *mm*2 – **узор** наследует лишь общий для решетки и фигуры элемент симметрии - ось **2**

б) - симметрия фигуры *mm*2, и, хотя симметрия решетки выше – 4*mm*, **узор** наследует лишь симметрию фигуры – ***mm2***

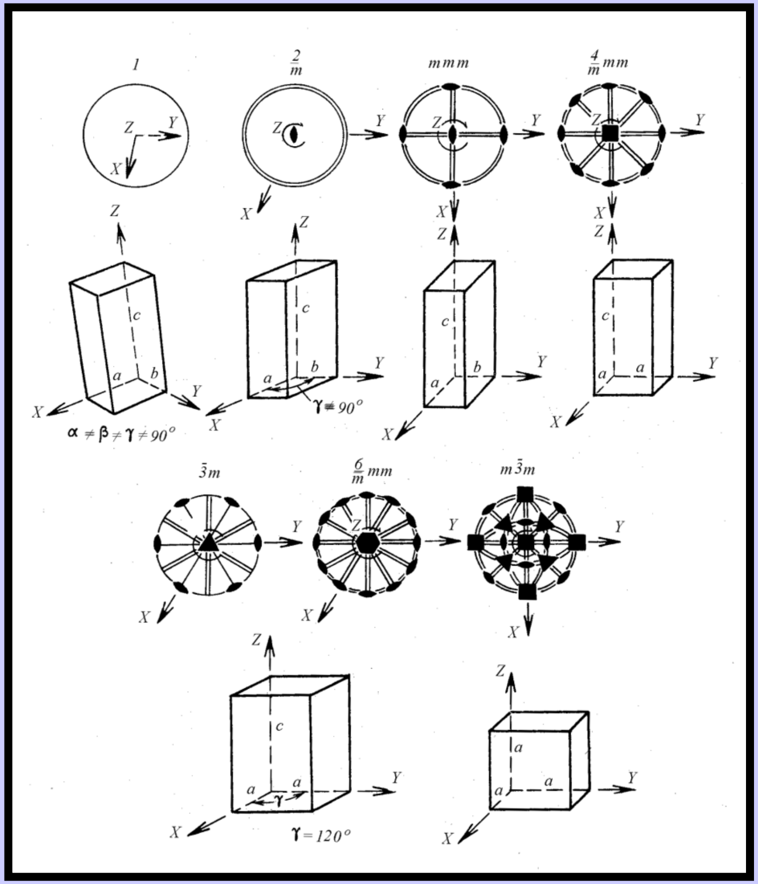
в) – симметрия фигуры *mm*2 и решетки *mm*2 совпадают – **узор приобретает ту же симметрию**

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



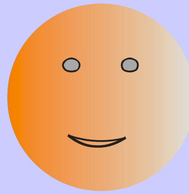
Должна быть «Голоэдрия» (самый симметричный класс)!

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*»)

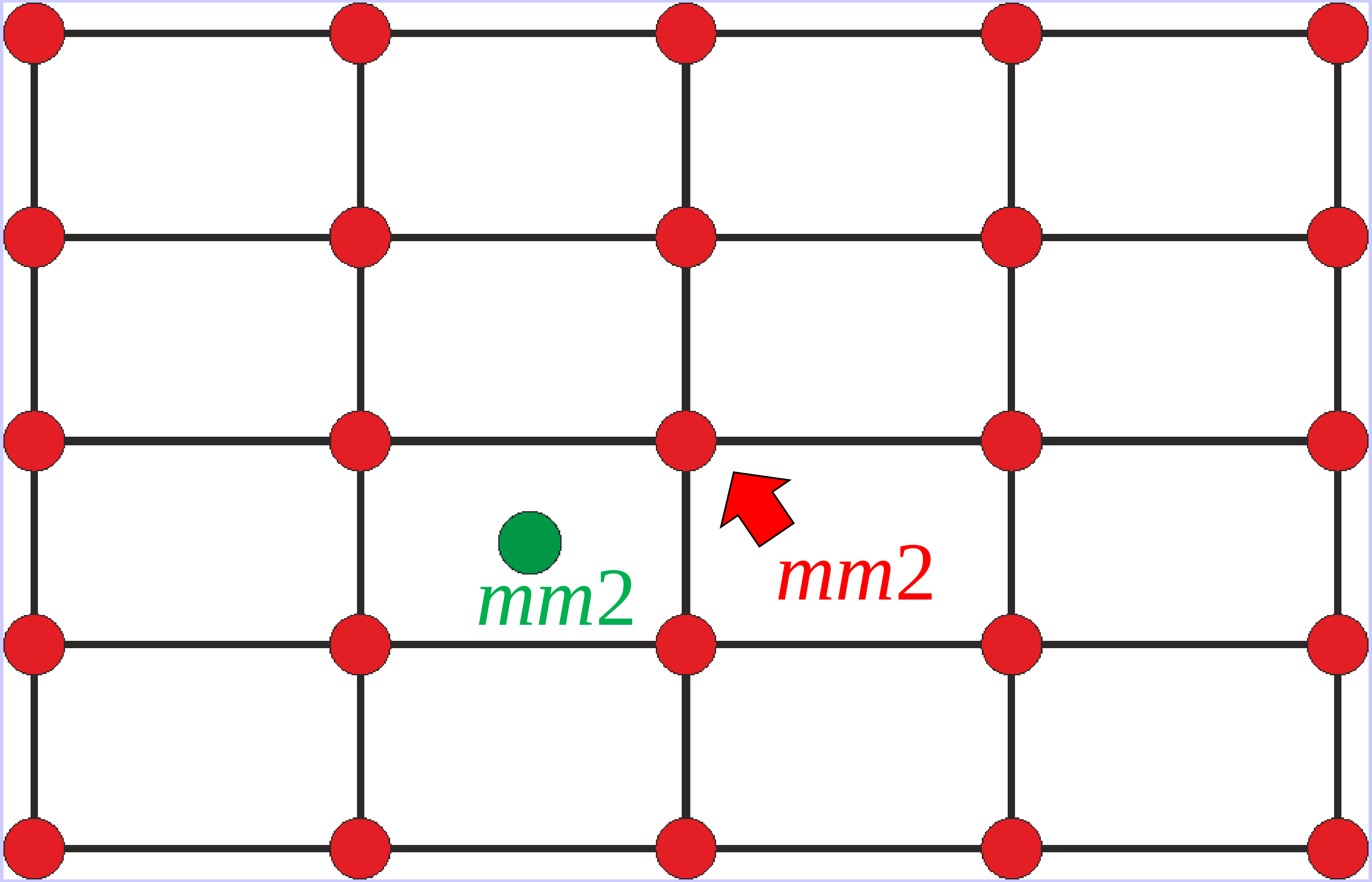


Кстати!

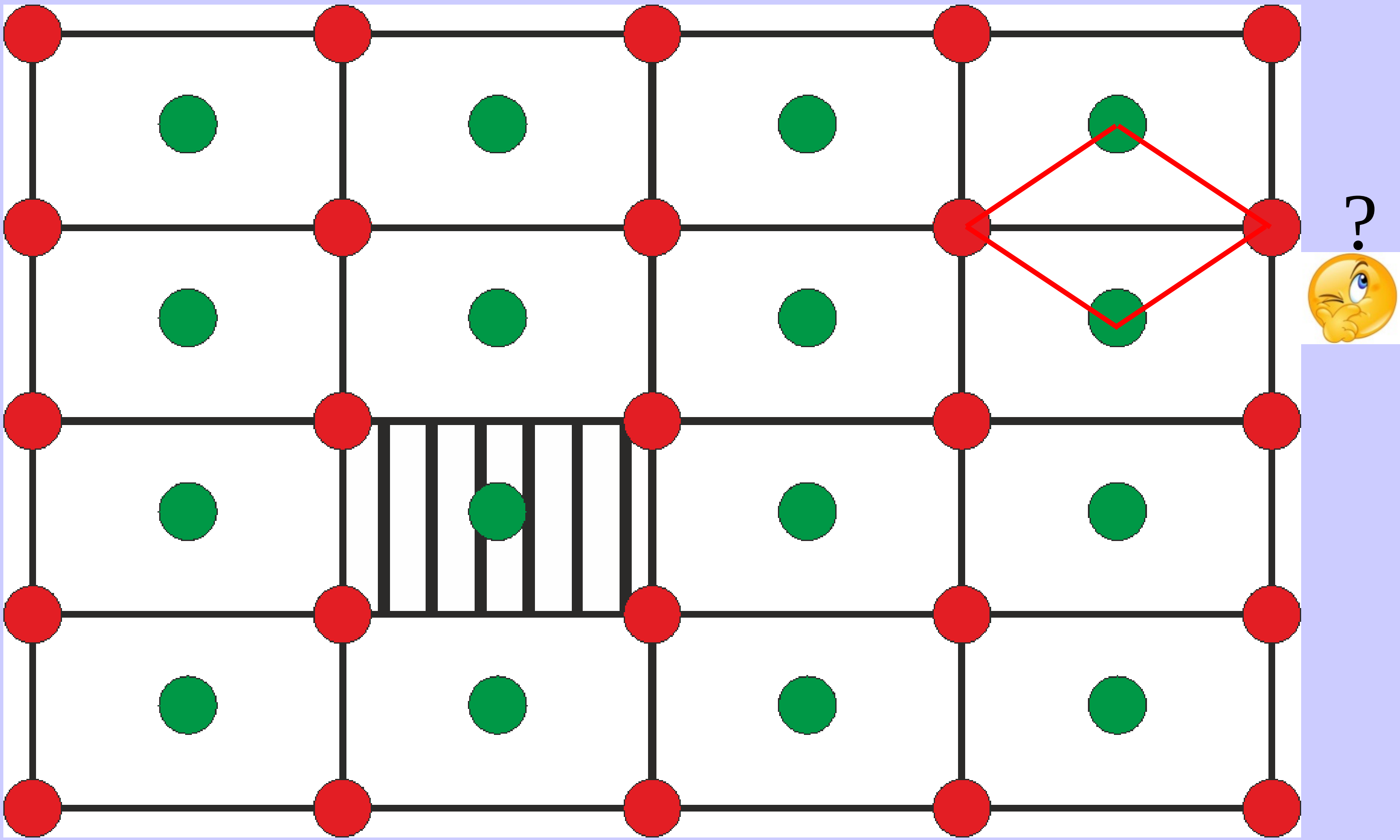
могут быть не только примитивные решетки Браве

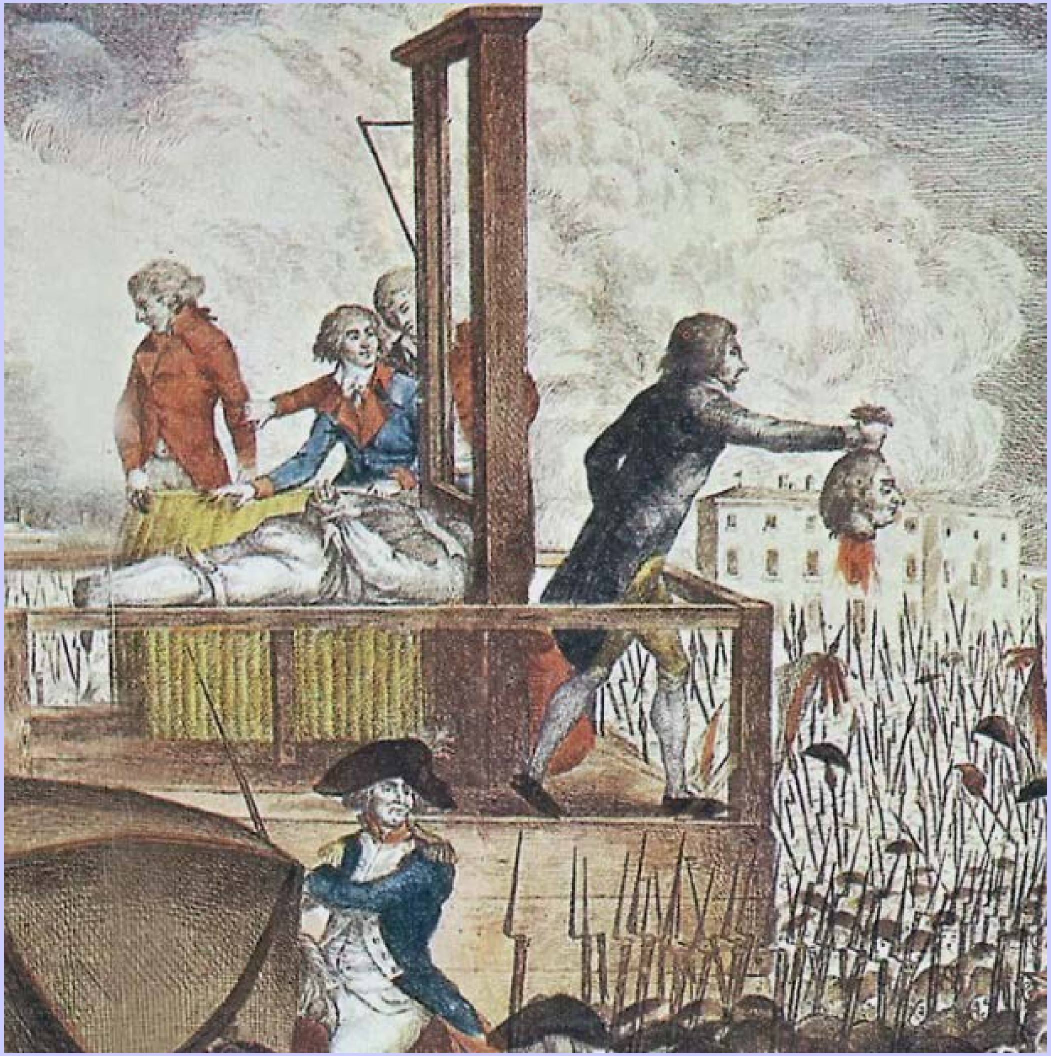
<u>Внутри</u> параллелепипеда Браве могут оказаться узлы с эквивалентной симметрией

Пример - иллюстрация



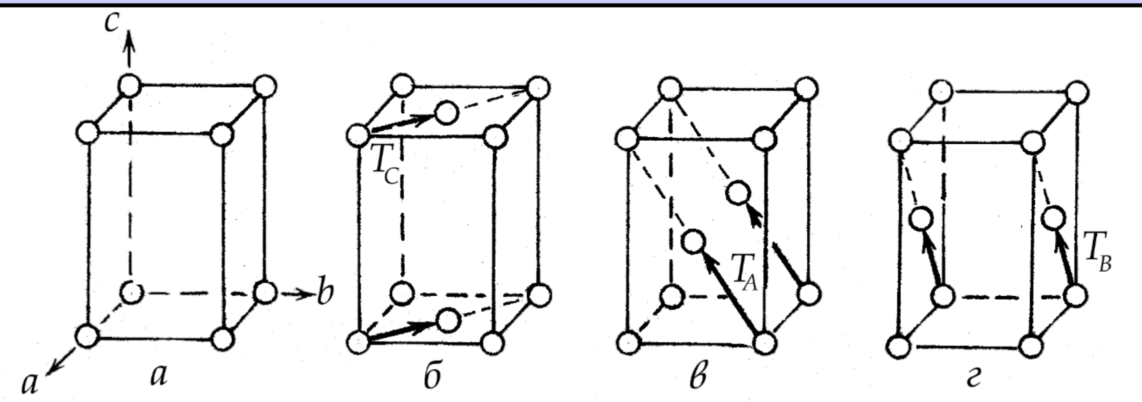
Пример - иллюстрация





Картина в микро-мирной Третьяковке

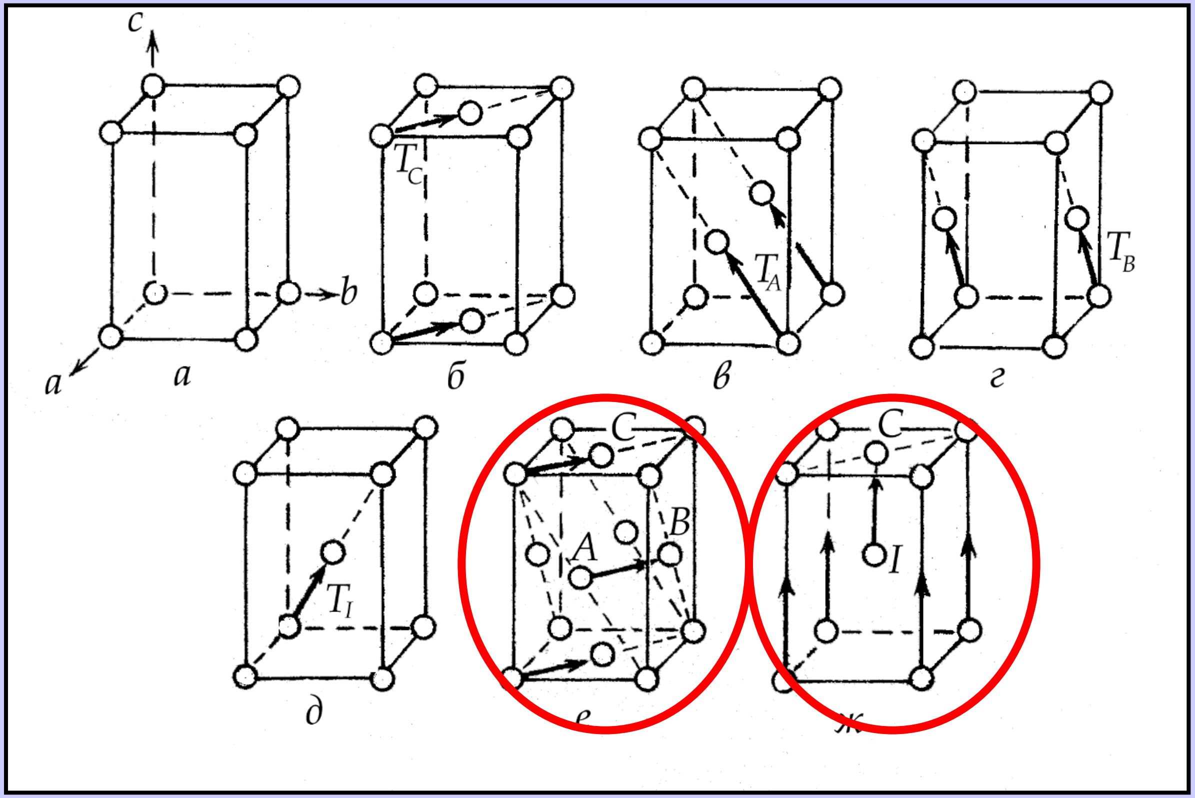
«Ушел от прямых углов без разрешения»



а – ***примитивная*** (***P***),

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

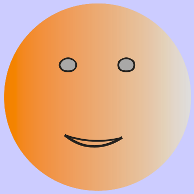
в,г - ***бокоцентрированная*** (***A***, ***B***),



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

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

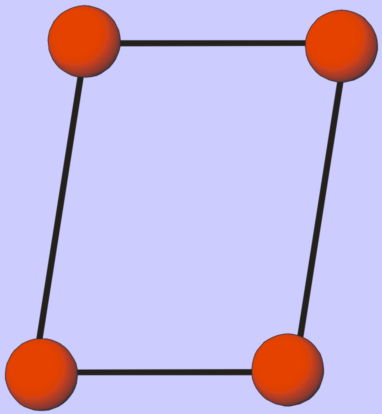
ж – центрировка грани *C* и объема (*I*) приведет к центрировке ребра *c* ячейки, т.е. к выбору ячейки меньшего размера.



Сколько же всего Браве насчитал решеток ????

Триклинная сингония

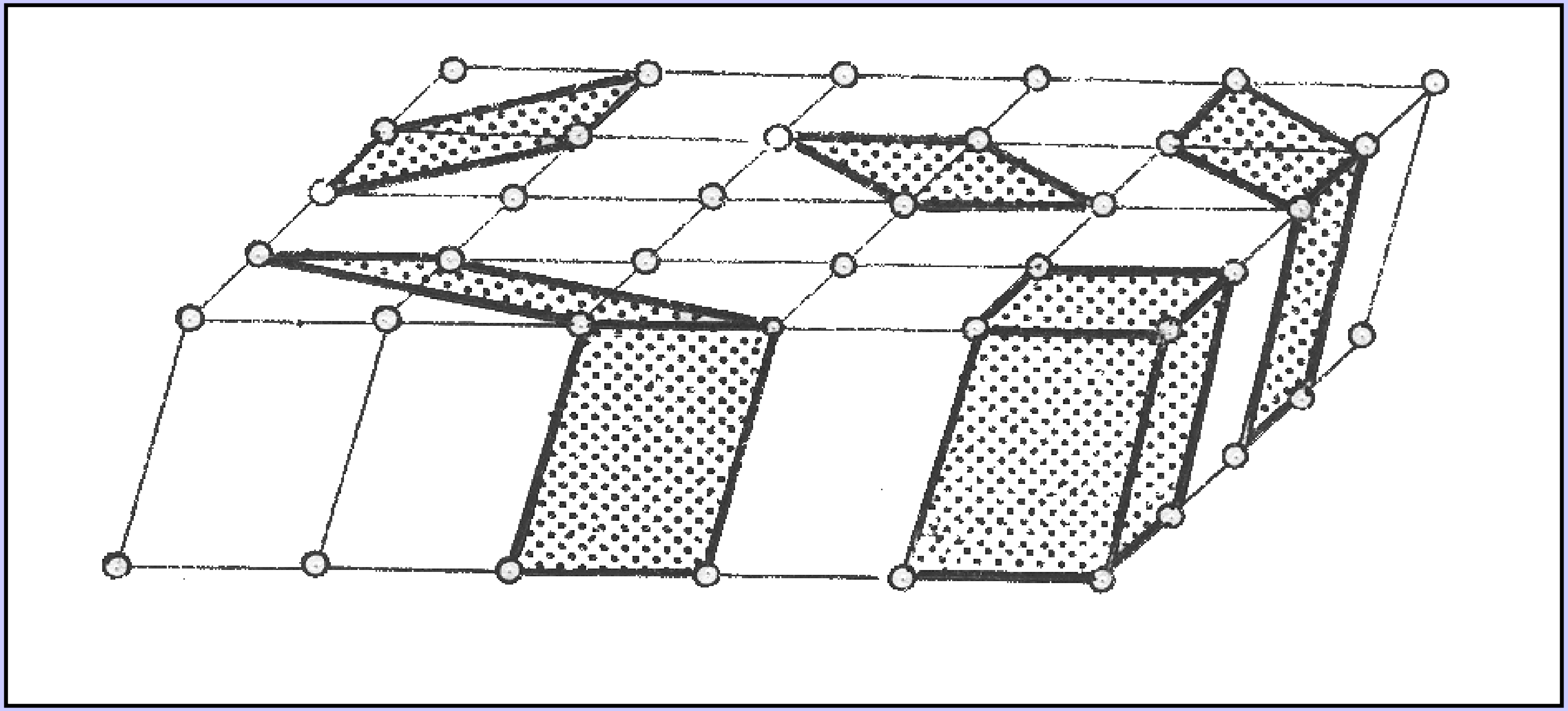
	Примитивная *P - ячейка*	Базо (боко-центрированная) *C - ячейка (A, B)*	Объемно центрированная *I - ячейка*	Гране-центрированная *F - ячейка*



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

ИТОГО - 1

Решетка триклинной симметрии. Выделены различные примитивные параллелепипеды

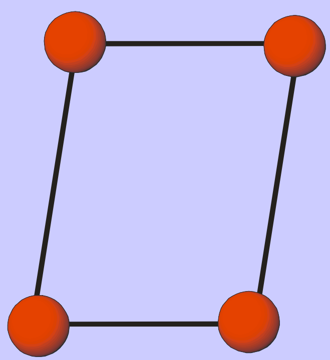


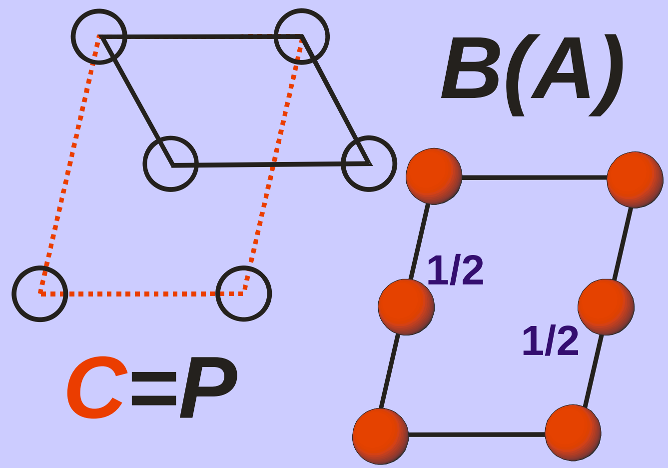
[Правила выбора ячейки Браве](#)

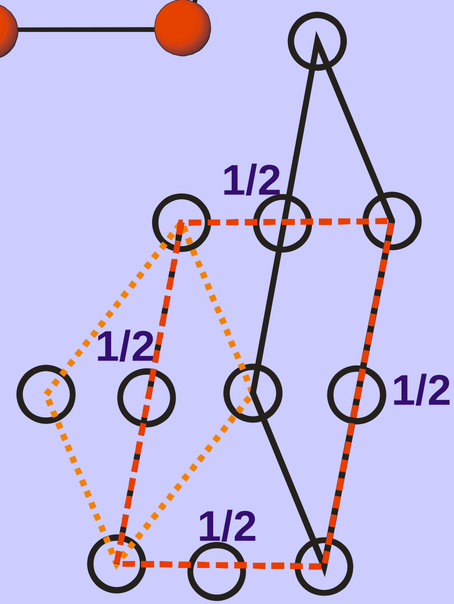
Углы приближены к 90 и тупые

Моноклинная сингония

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





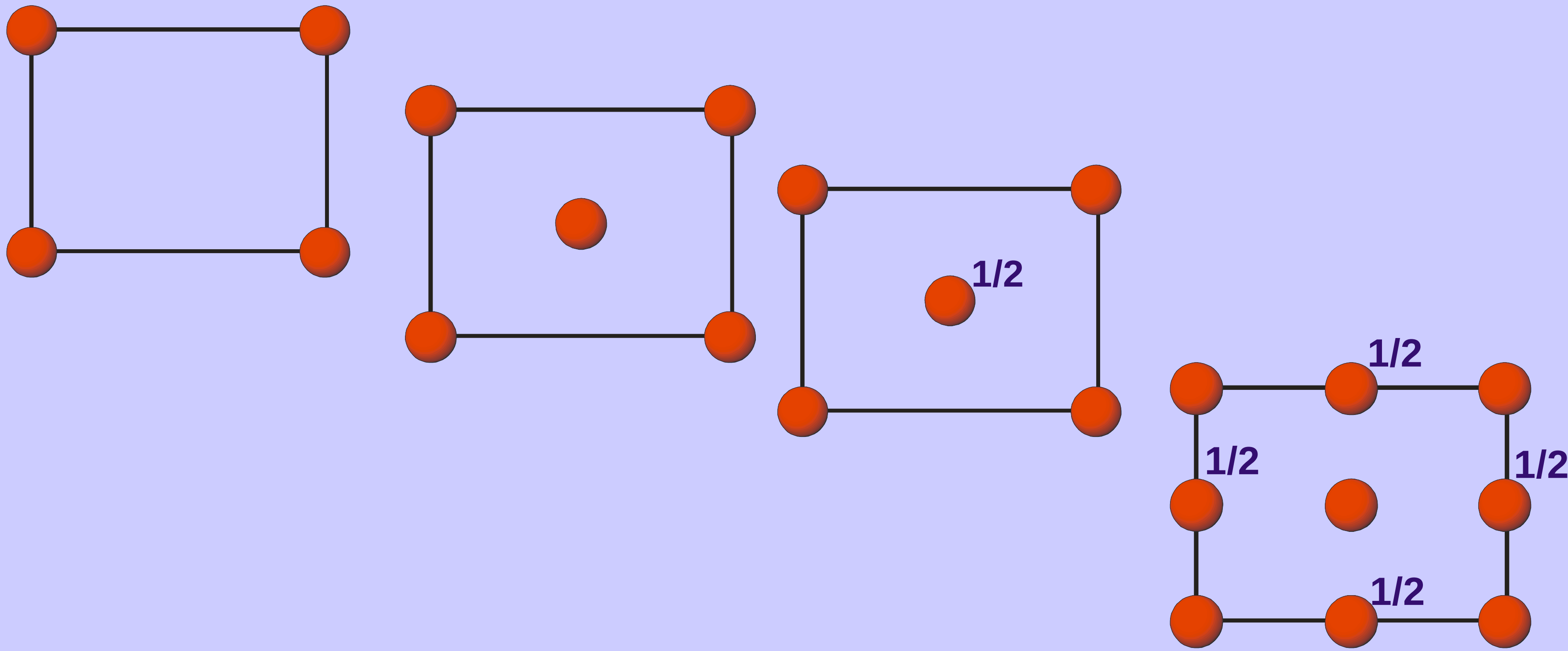


F=I=B

ИТОГО: 2+1=3

Ромбическая сингония

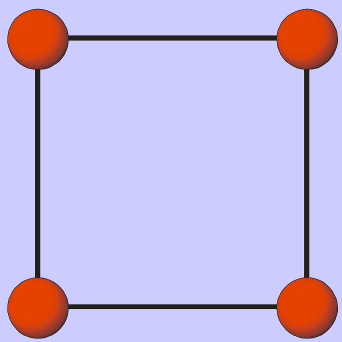
	Примитивная *P - ячейка*	Базо (боко-центрированная) *C - ячейка (A, B)*	Объемно центрированная *I - ячейка*	Гране-центрированная *F - ячейка*



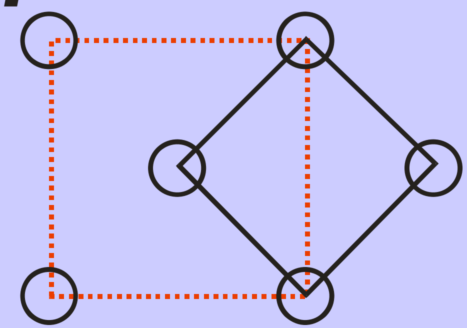
ИТОГО: 4+3=7

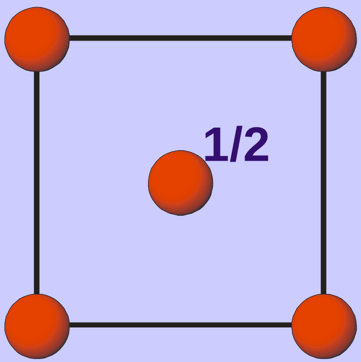
Тетрагональная сингония

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

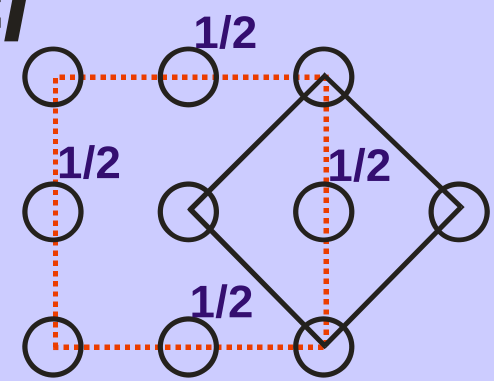


C=P





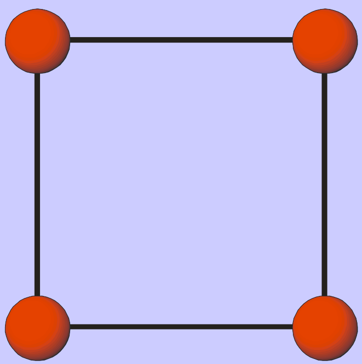
F=I

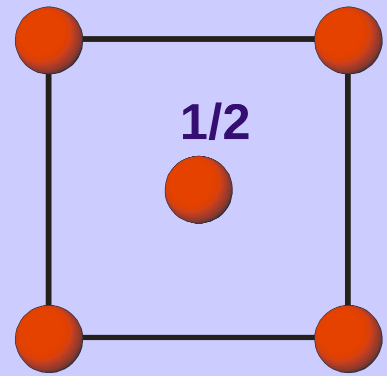


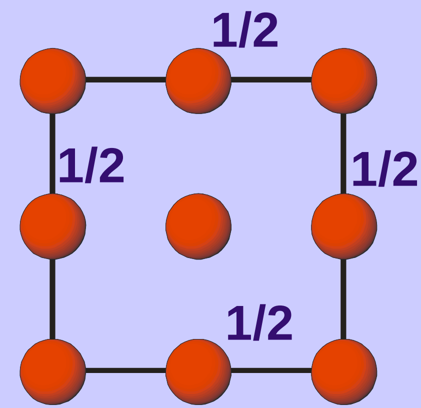
ИТОГО: 2+7=9

Кубическая сингония

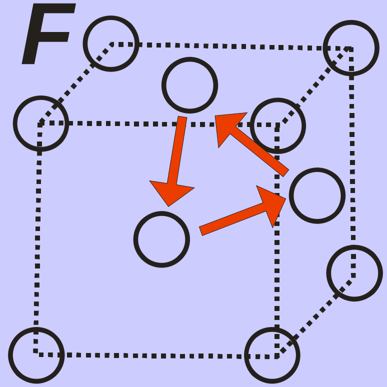
	Примитивная *P - ячейка*	Базо (боко-центрированная) *C - ячейка (A, B)*	Объемно центрированная *I - ячейка*	Гране-центрированная *F - ячейка*







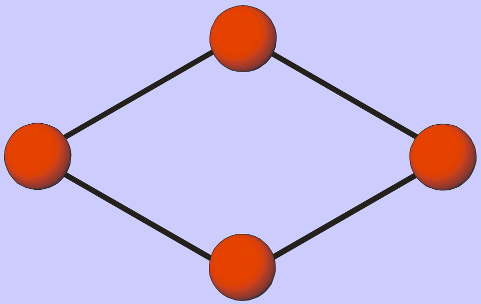
C → ***F***



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

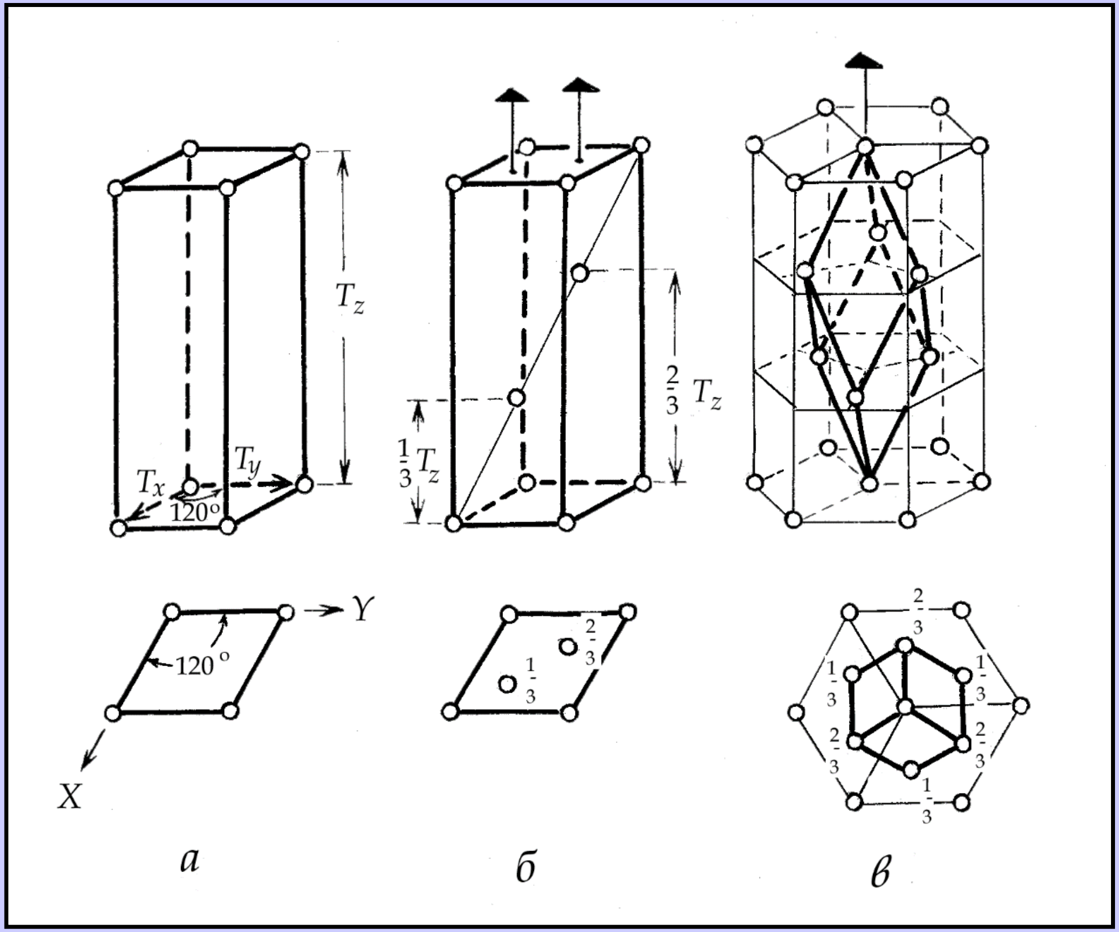
?

Симметрия позиции не соответствует симметрии вершинного узла

ИТОГО: 1+12=13?

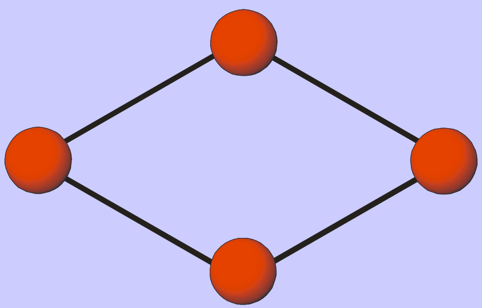
Ячейки Браве гексагональной сингонии:

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

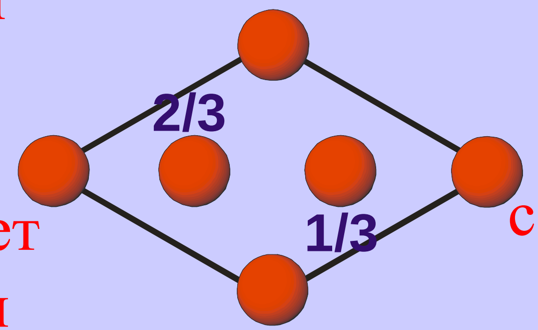


Гексагональная сингония

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

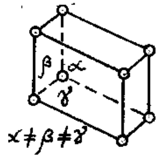
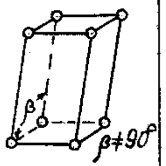
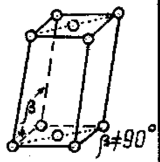
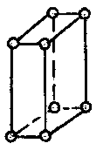
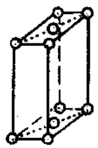
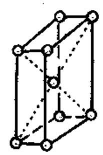
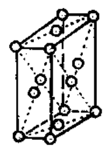
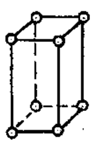
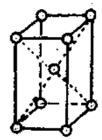
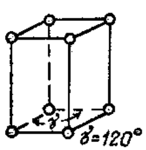
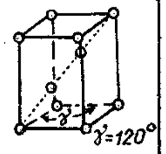
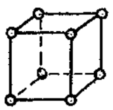
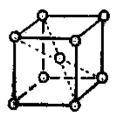
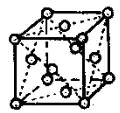


Симметрия позиции не соответствует симметрии вершинного узла



Симметрия позиции не соответствует симметрии вершинного узла

ИТОГО: 2+12=***14***

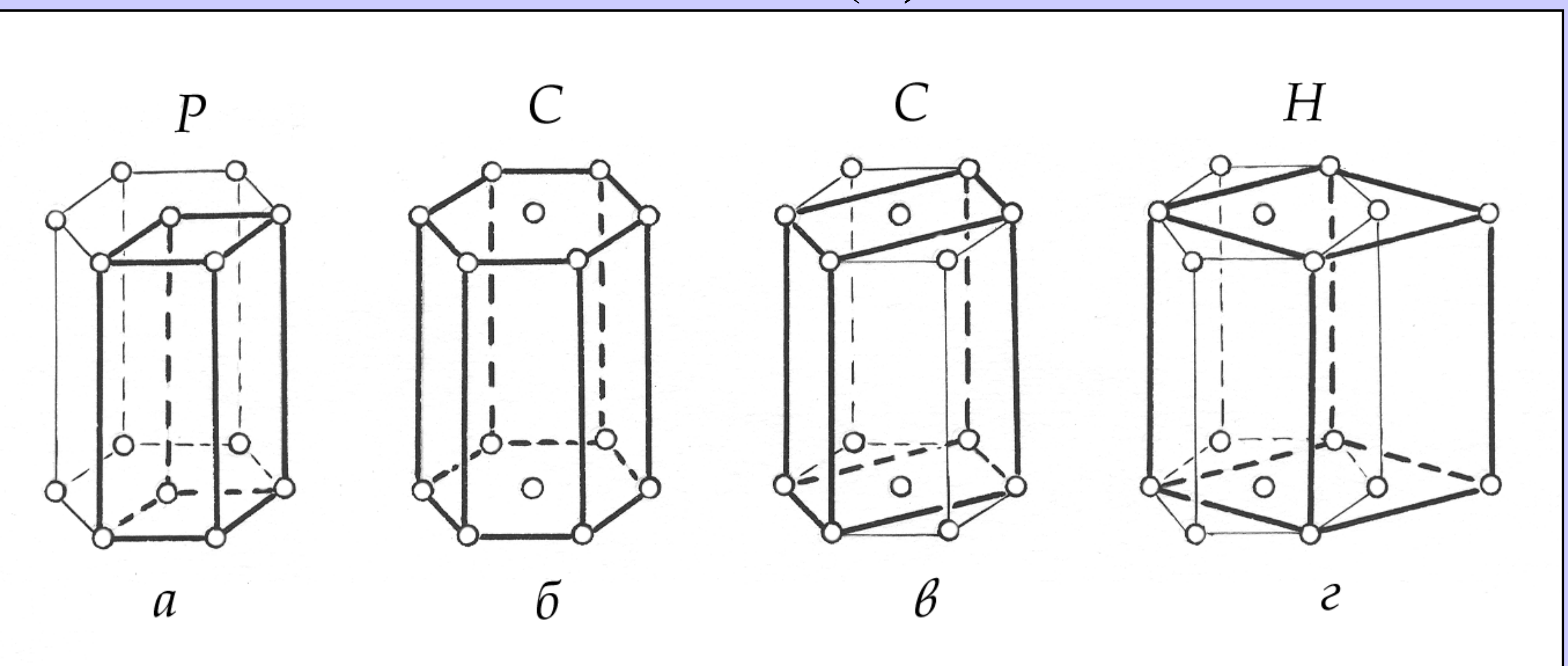
Сингония	Тип решетки				
	примитивная P	базоцентрированная C (A, B)	объемноцентрированная I	гранецентрированная F	дважды объемноцентрированная (ромбоэдрическая) R
Триклинная					
Моноклинная					
Ромбическая					
Тетрагональная					
Гексагональная					
Кубическая					

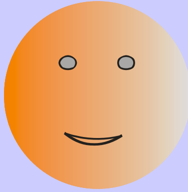
14 ячеек Браве, соответствующих 14 решеткам Браве

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*)





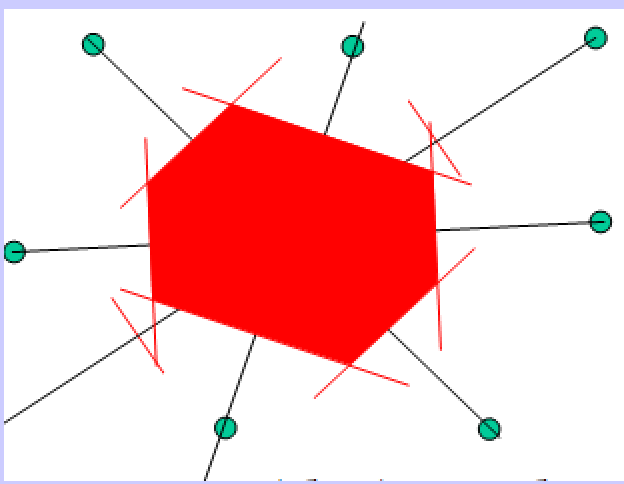
Надо знать (пригодится позже)

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

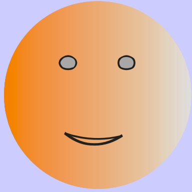
(а) Строятся линии, соединяющие ближайшие узлы решетки

(б) проводим перпендикуляры к этим линиям в их середине

(в) Многогранник наименьшего объема - ячейка Вигнера-Зейтца

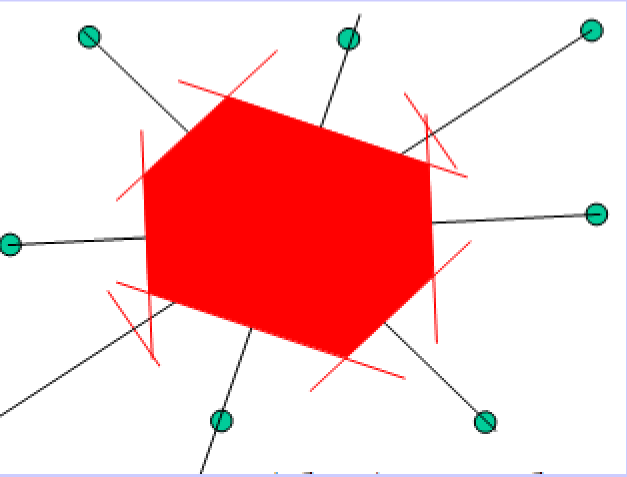


Ячейка Вигнера-Зейтца имеет тот же объем, что и обычная примитивная ячейка и содержит 1 узел. Если подвергнуть эту ячейку трансляциям, определяемым всеми векторами решетки, то она заполнит все пространство без перекрытия и разрывов. ***Симметрия ячейки Вигнера-Зейтца такая же, как и у соответствующей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



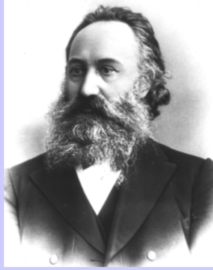
Надо знать (пригодится позже)

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.

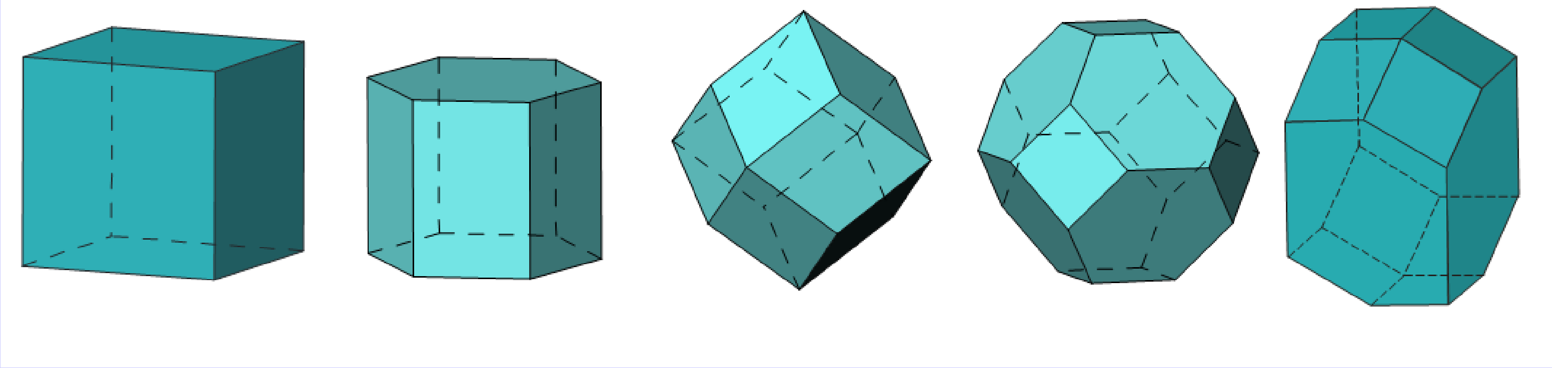


Например, если множество точек *p* будет соответствовать атомным позициям в кристаллической структуре, то вершины многогранников Вороного указывают расположение пустот, максимально комфортных для вхождения атомов другого сорта.

Разбиения на основе параллелоэдров Федорова

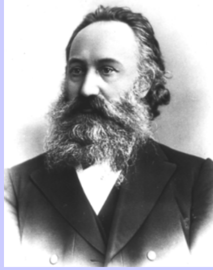


На рубеже 19-20 веков Е.С. Федоров создал теорию **параллелоэдров** - одинаковых выпуклых многогранников, заполняющих пространство в параллельном положении и имеющих попарно равные и параллельные грани. Последние могут быть как четырех-, так и шестиугольными. Федоров показал, что базовыми являются пять 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 дворе трава, на траве дрова.

От топота копыт пыль по полю летит.

Рододендроны из дендрария.

Ткет ткач ткани на платки Тане.

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.

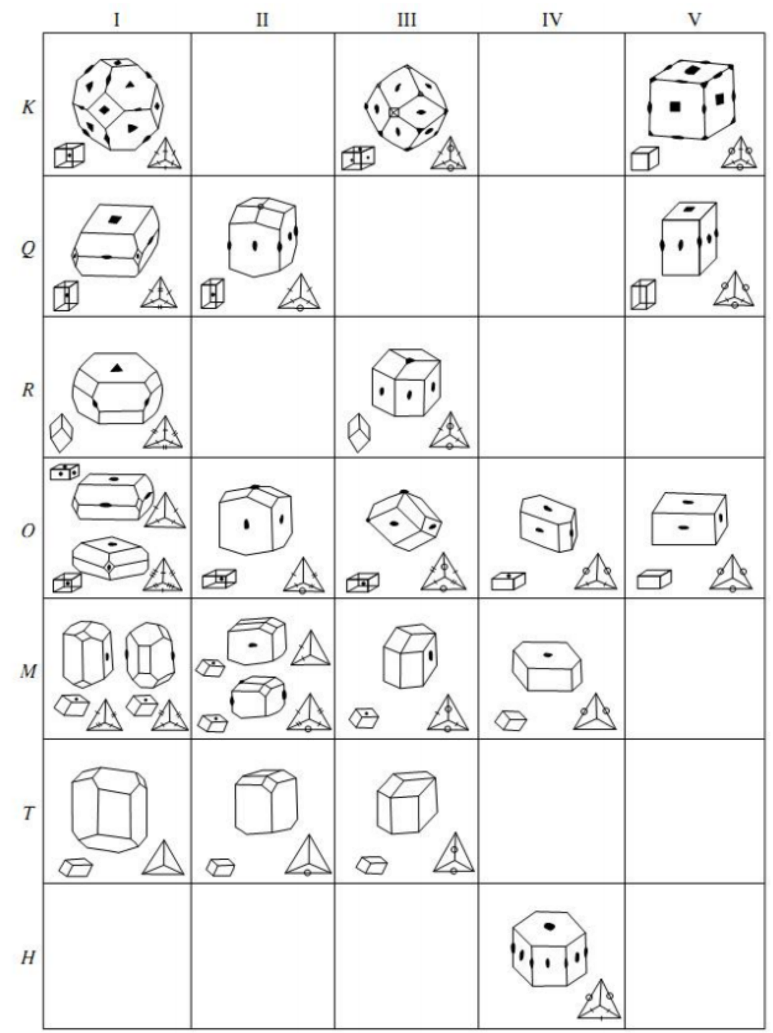
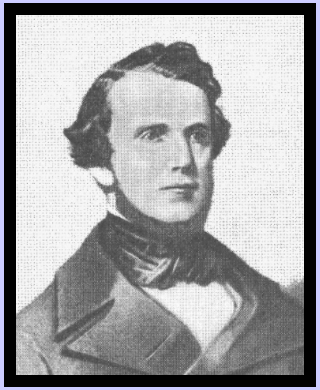
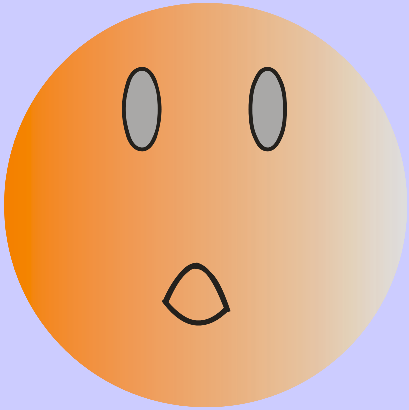


Рис. 2-12. 24 сорта решеток Делоне (согласно *Галиулину*, 1984).

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

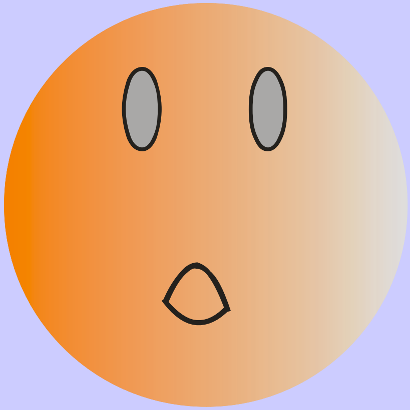
=

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.



32 + 14 = 230!

Был точечный набор (А)

Была трансляция (Б)

(А) И (Б) сидели на трубе…

И - что это?

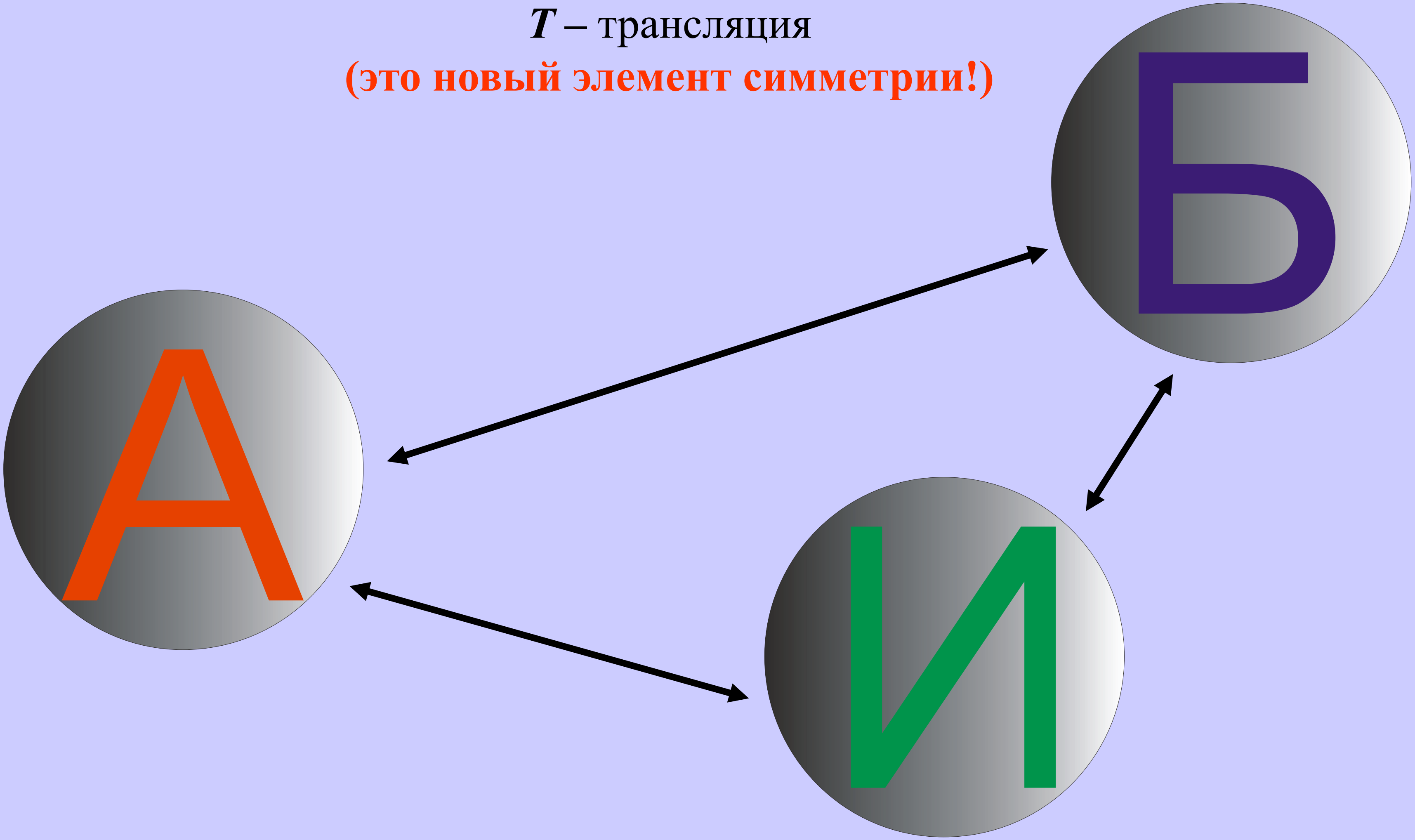
Основы кристаллографической магии



ПРОБЛЕМУ ВНУТРЕННИХ ПЕРЕВОЗОК РЕШАЮТ И (ТРАНСЛЯЦИОННЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ СИММЕТРИИ)

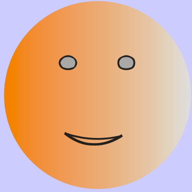
T – трансляция

(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

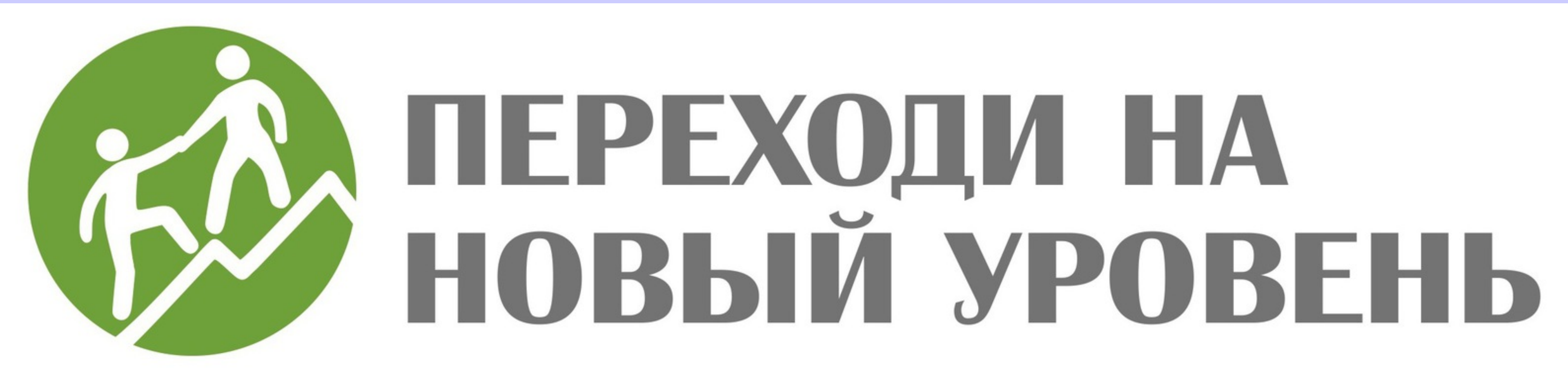
=

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!

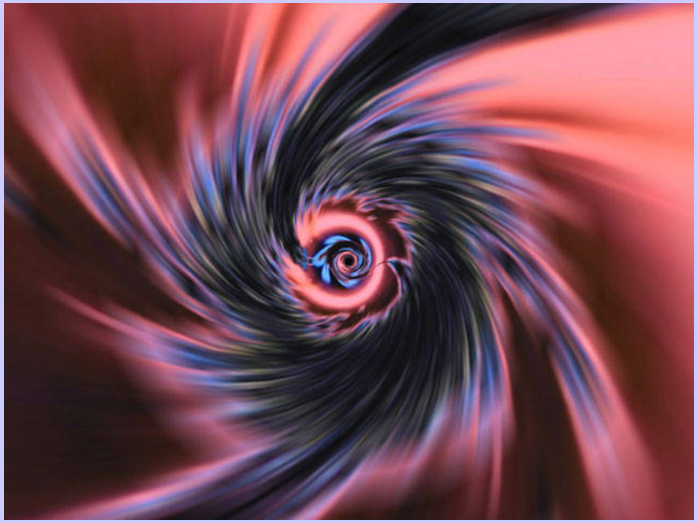


Гарри Каспаров наконец-то выиграл у компьютера и с двумя очками и тремя жизнями перешел на следующий уровень.

1-ый волшебный инструмент

«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»

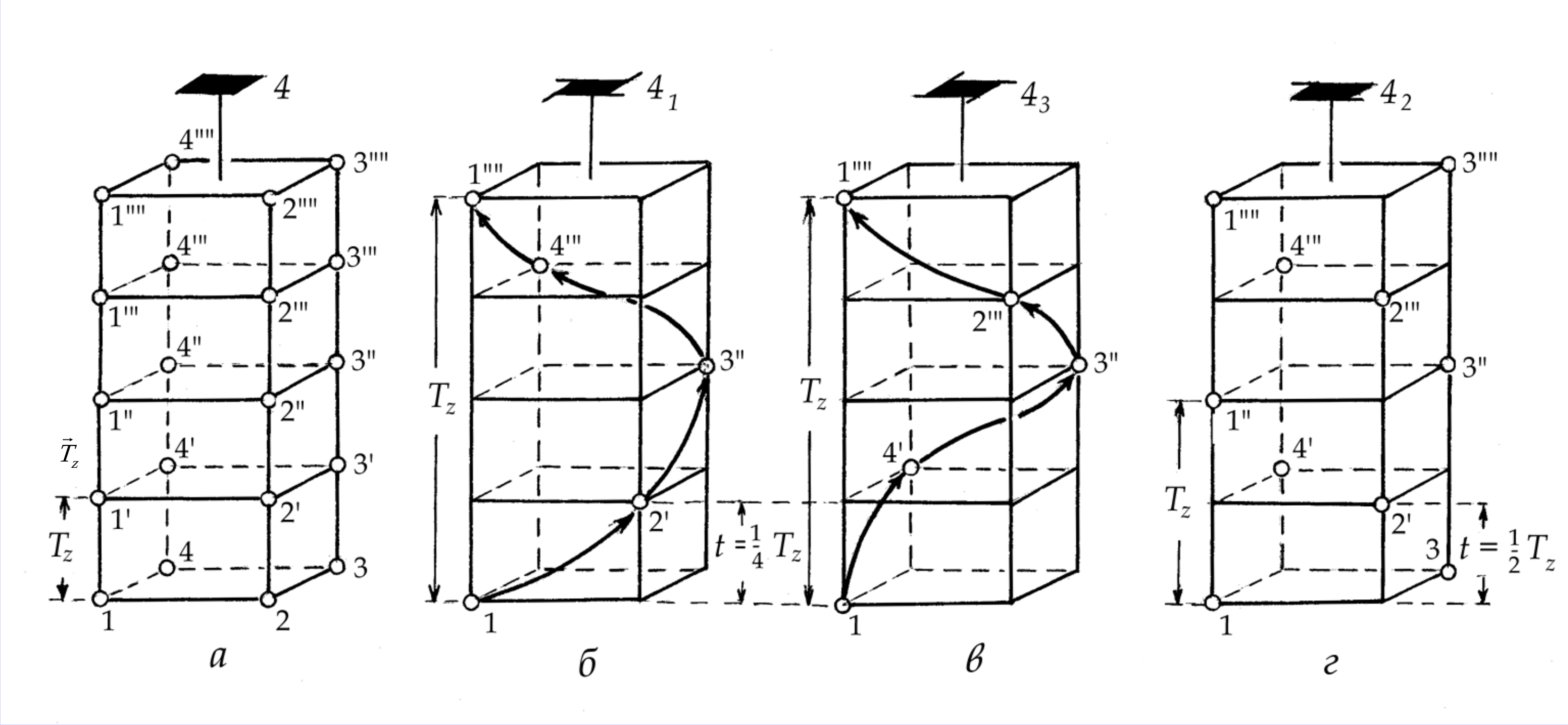


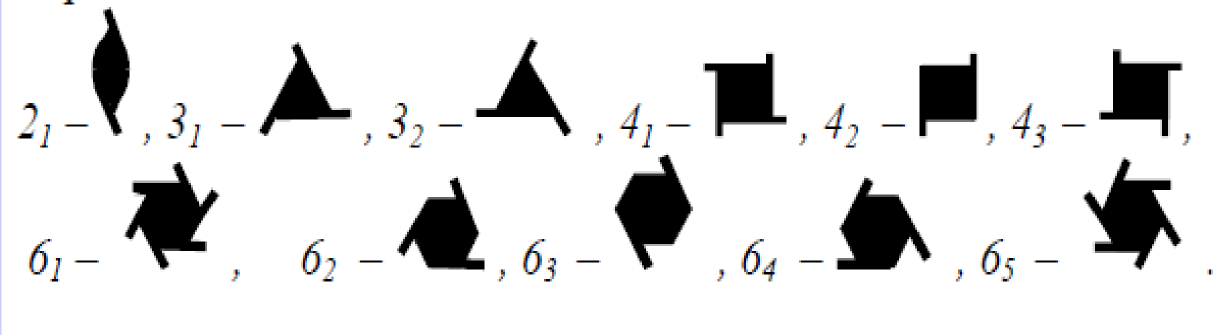
Иллюстрация взаимодействия поворотной оси 4-го порядка с параллельным ей трансляционным вектором:

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»

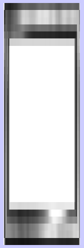


Ось	Для маглов	Для продвинутых гриффиндорцев				
2						
3						
4						
5	Не сегодня					
6						

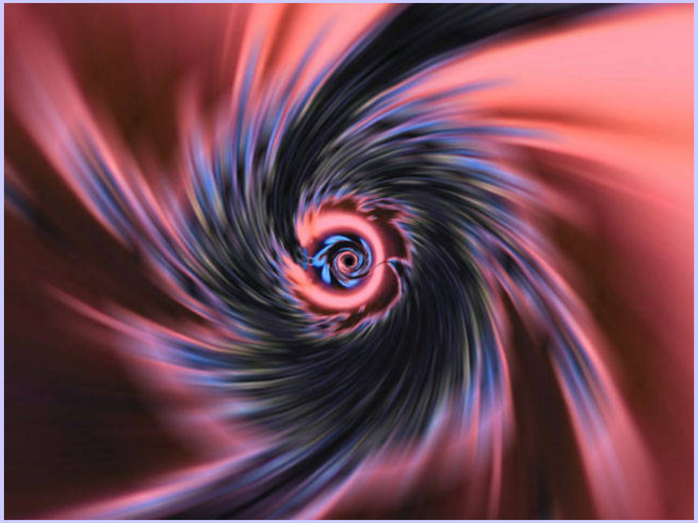
Осей 6-ого порядка ШЕСТЬ!

2-ой волшебный инструмент кристаллографа

«Портал кривых зеркал»



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

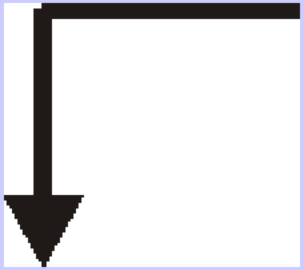


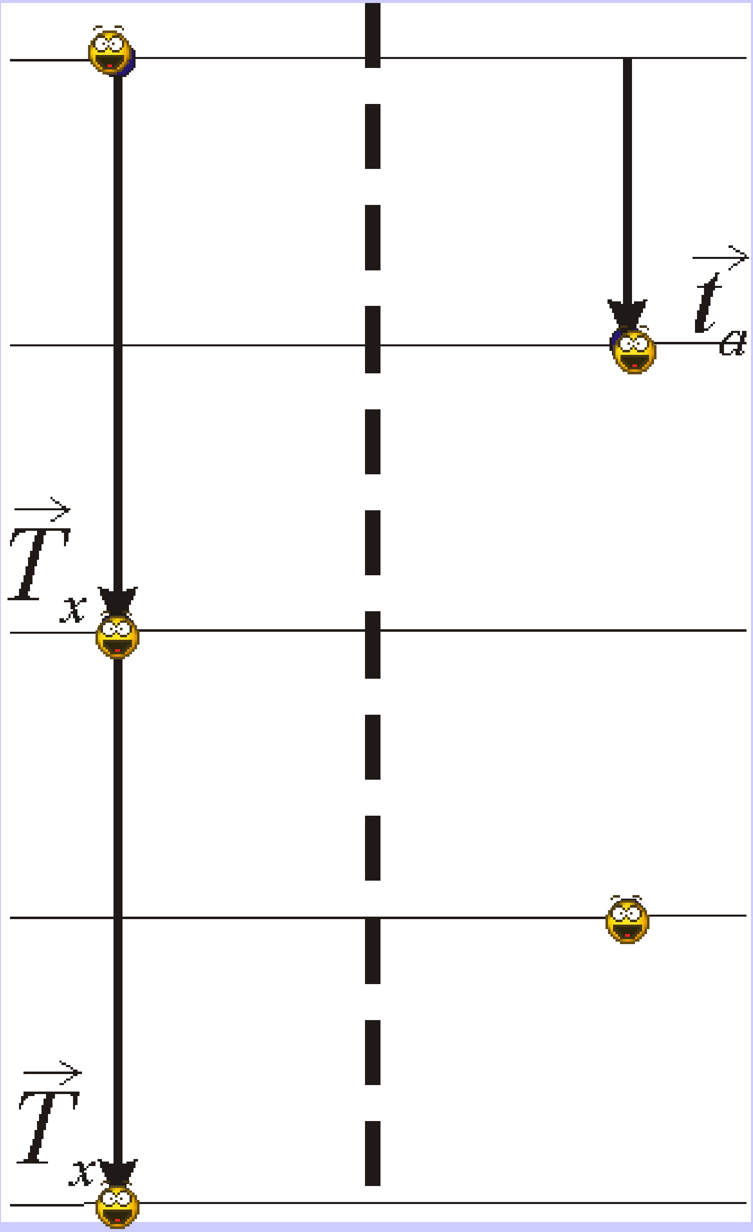
Волшебная плоскость скользящего отражения

a

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

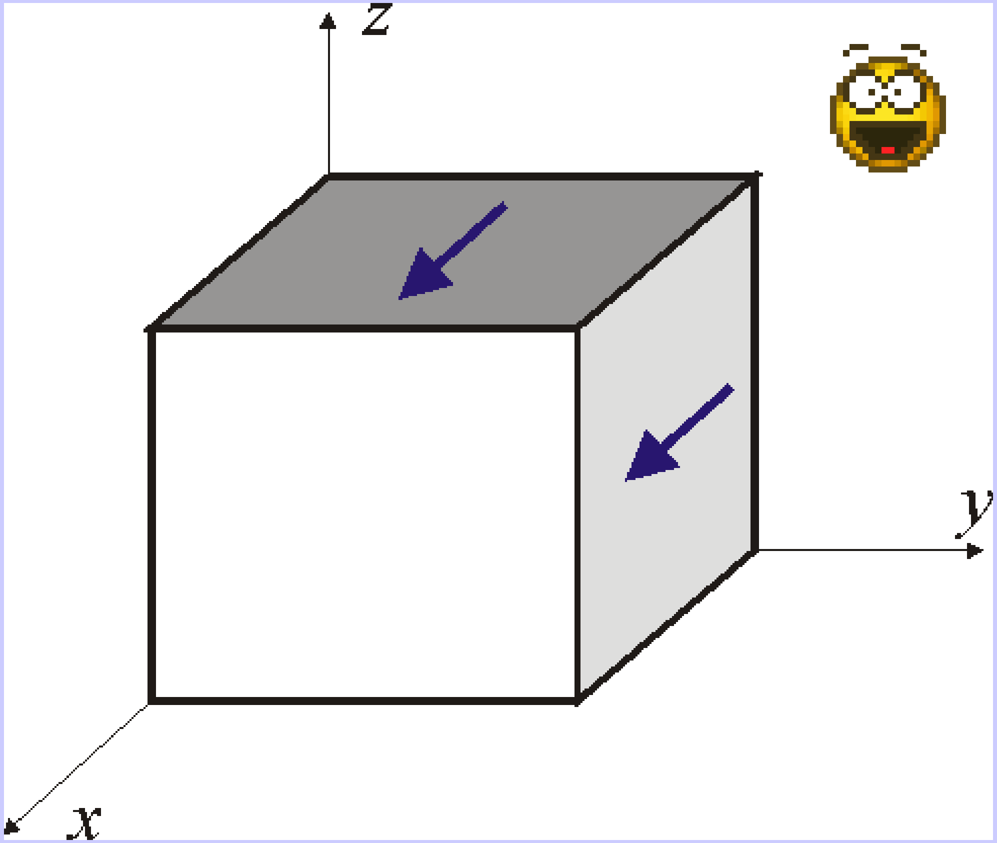
Обозначения :





Волшебная плоскость скользящего отражения

a



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

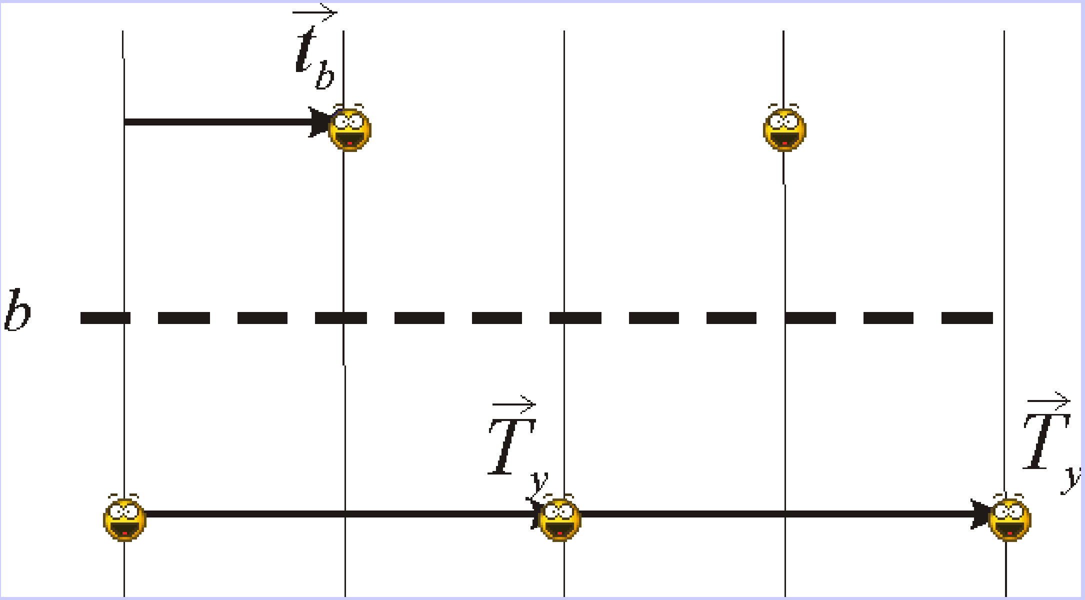
a_y – вертикальная плоскость, скользящего отражения; нормаль перпендикулярна оси y

a_x – ***быть не может!***

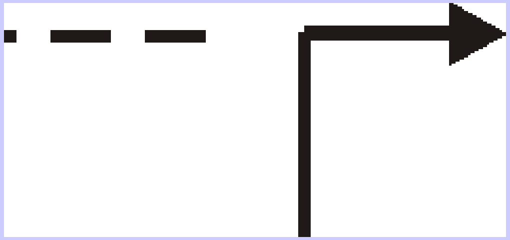
Волшебная плоскость скользящего отражения

b

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

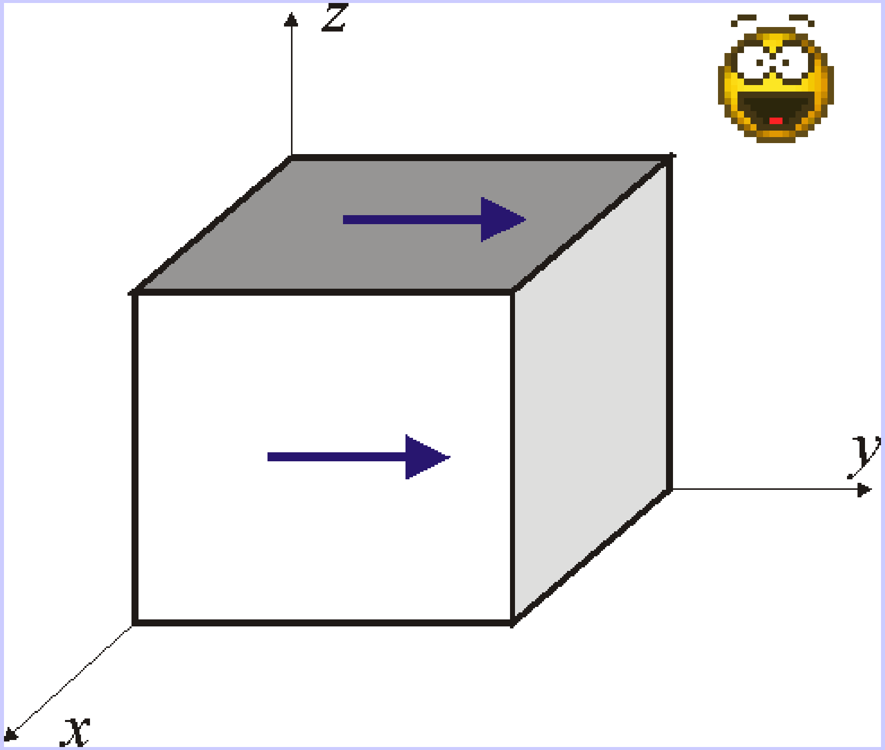


Обозначения :



Волшебная плоскость скользящего отражения

b



b_z – *горизонтальная плоскость скользящего отражения; нормаль перпендикулярна оси z*

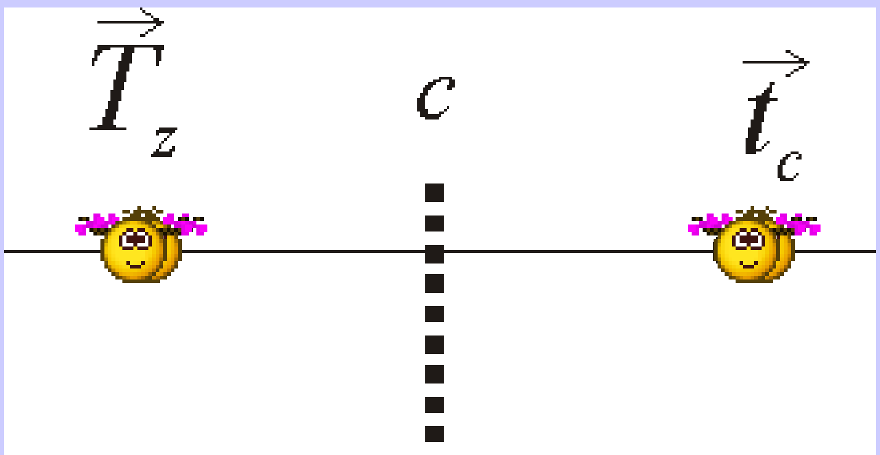
b_x – *вертикальная плоскость скользящего отражения; нормаль перпендикулярна оси x*

b_y – ***быть не может!***

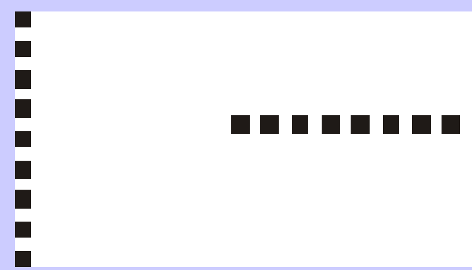
Волшебная плоскость скользящего отражения

c

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

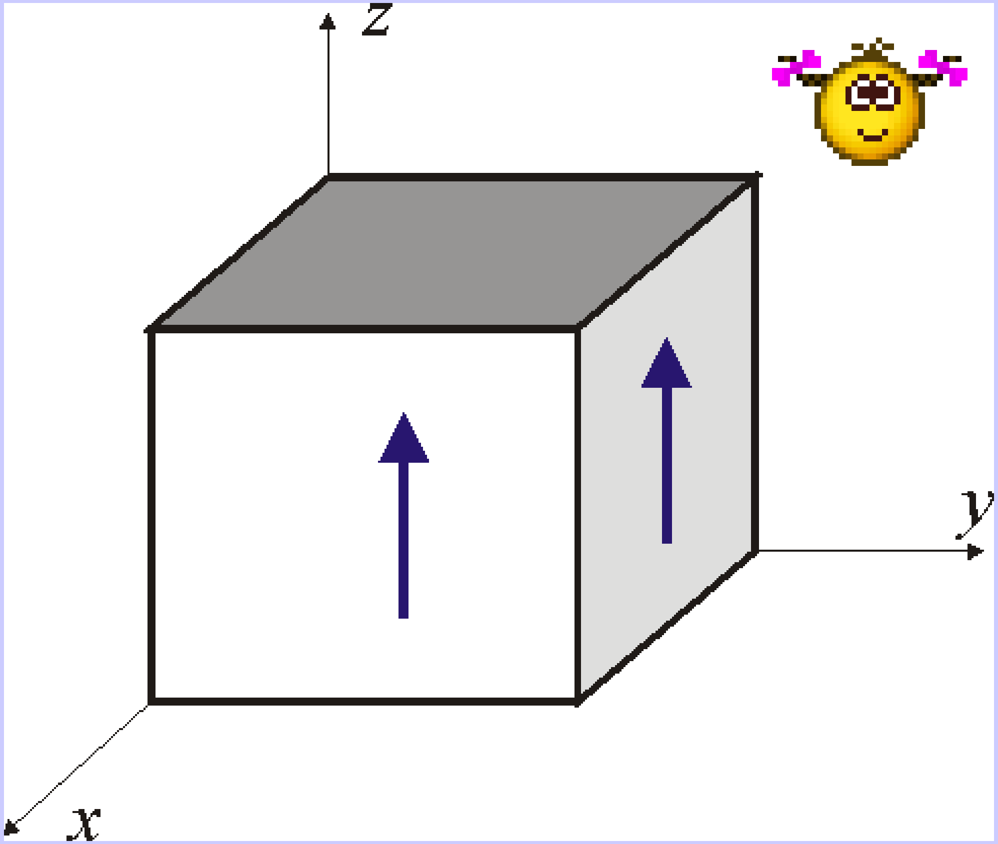


Обозначения :



Волшебная плоскость скользящего отражения

c



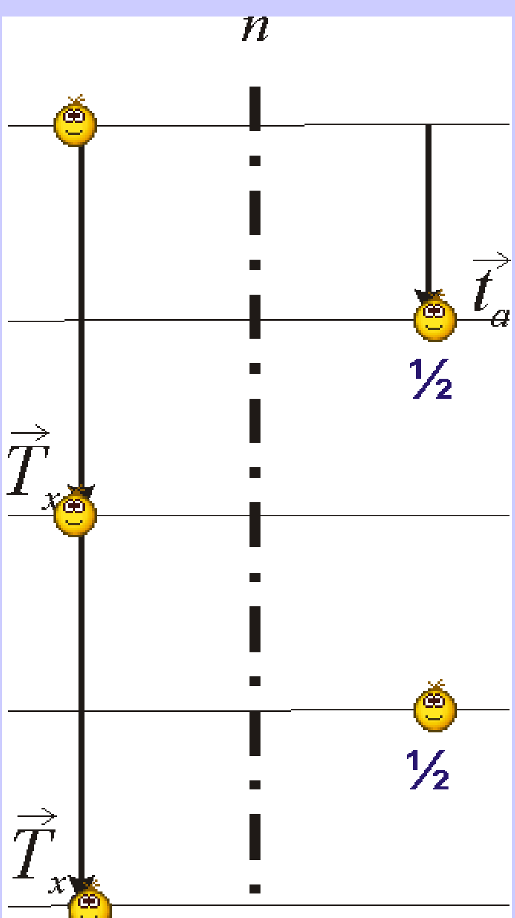
c_x – вертикальная плоскость скользящего отражения; нормаль перпендикулярна оси x

c_y – вертикальная плоскость скользящего отражения; нормаль перпендикулярна оси y

горизонтальной c быть не может!

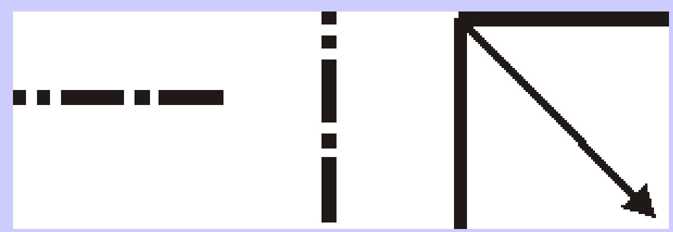
Волшебная клино-плоскость

n



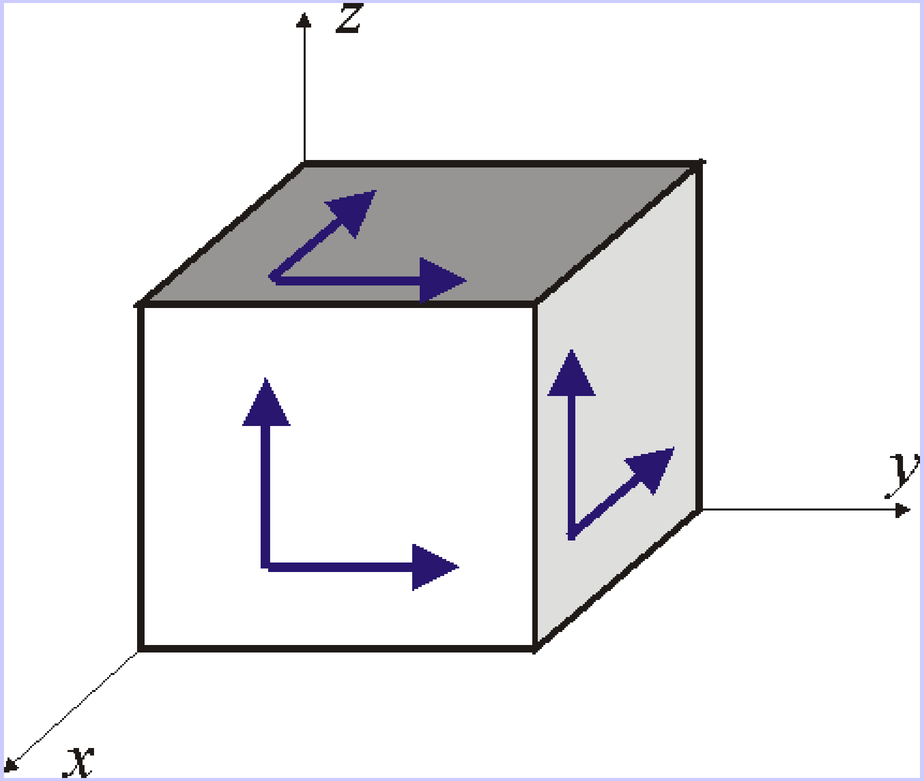
Фигурка отражается в плоскости и входит в портал, выскочив из него через половину трансляции по двум координатам

Обозначения :



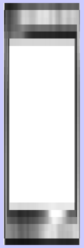
Волшебная клино-плоскость

n



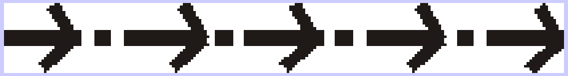
Есть три разных n

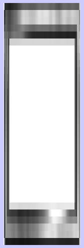
Есть еще



Волшебная клино-плоскость

d





Волшебная плоскость скользящего отражения

e

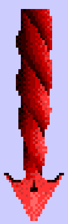
и другие…
Так что не думайте, что вам прям так сразу все расскажут

Заклинания взаимодействия (только для продвинутых)

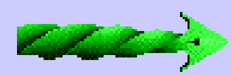
Для заклинаний

настоятельно рекомендуется приобрести волшебную палочку

1-ое волшебное заклинание взаимодействия
«Клон»

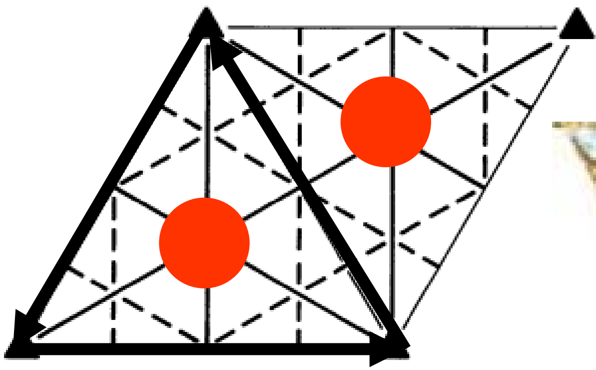


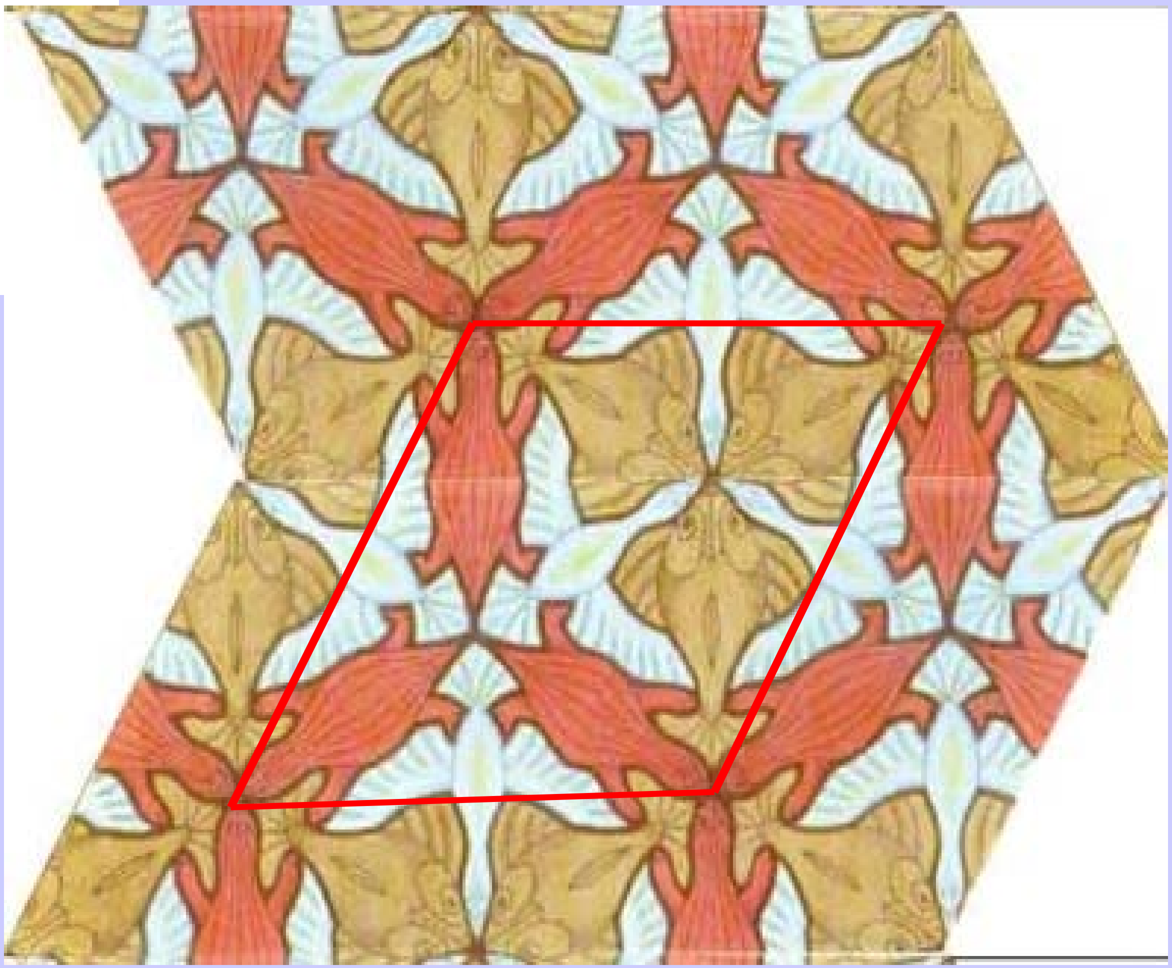
Берем поворотную ось n-ого порядка

и прикладываем к нему трансляцию. 

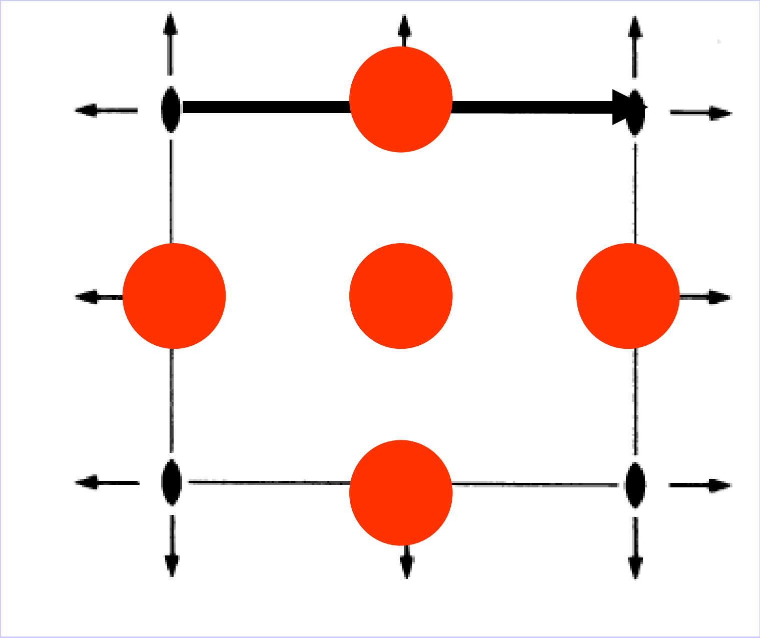
В результате кристаллографической магии,
используя волшебную палочку и произнеся «Clone!»
клонируется ось *n*-ого порядка
(такая же, но другая)
в центре магического *n*-угольника,
построенного на этой трансляции

Например:





Еще:



2-ое волшебное заклинание

«Поиск портала»

Когда встречаются две волшебные плоскости

Ищи результат их взаимодействия разложением каждой из них на магические порталы t=1/2 T
и магловские зеркальные плоскости m

Чтобы найти искомый элемент, надо использовать мозги, волшебную палочку и произнести «Portal search!»

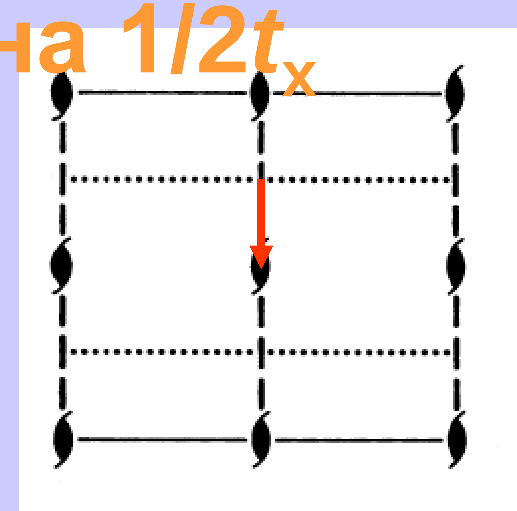
Например:

*

c_x $= m_x \, t_z$

a_y $= m_y \, t_x$

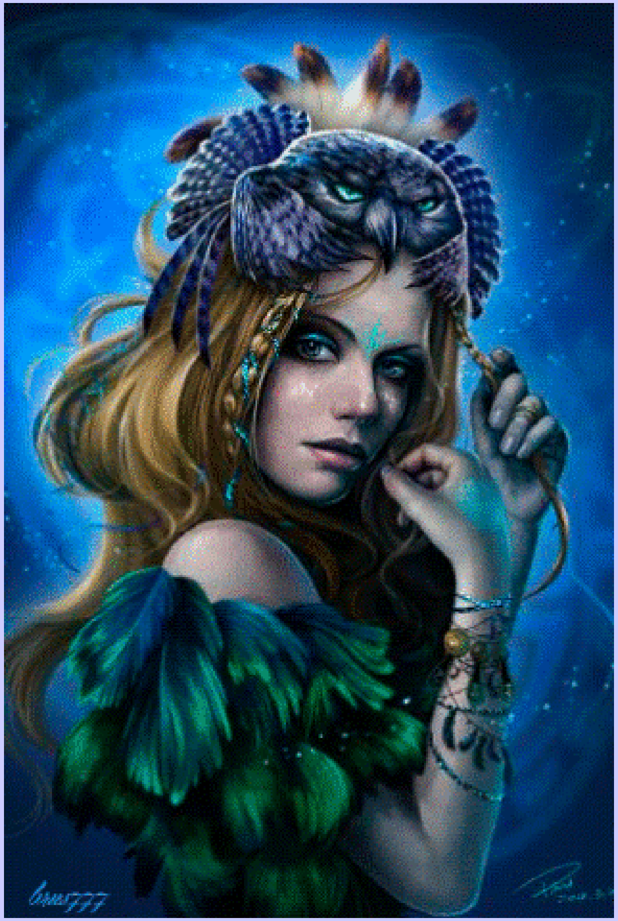
$= 2_{1z}$ смещенная на $1/2t_x$



$= m_{y*} \, m_x \, t_x t_z$

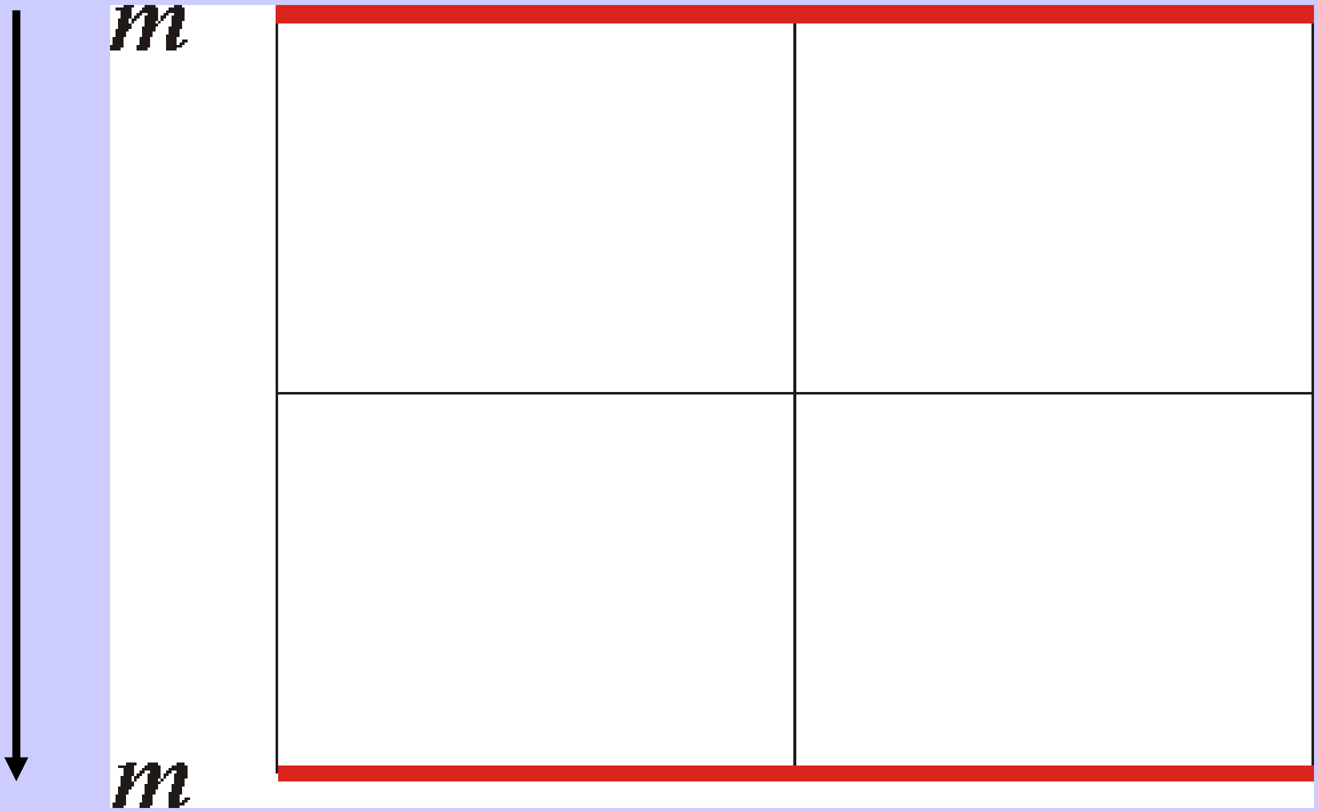
$= 2_z \, t_z t_x$ **$= 2_{1z} \, t_x$**

Откуда родилась трансляция?

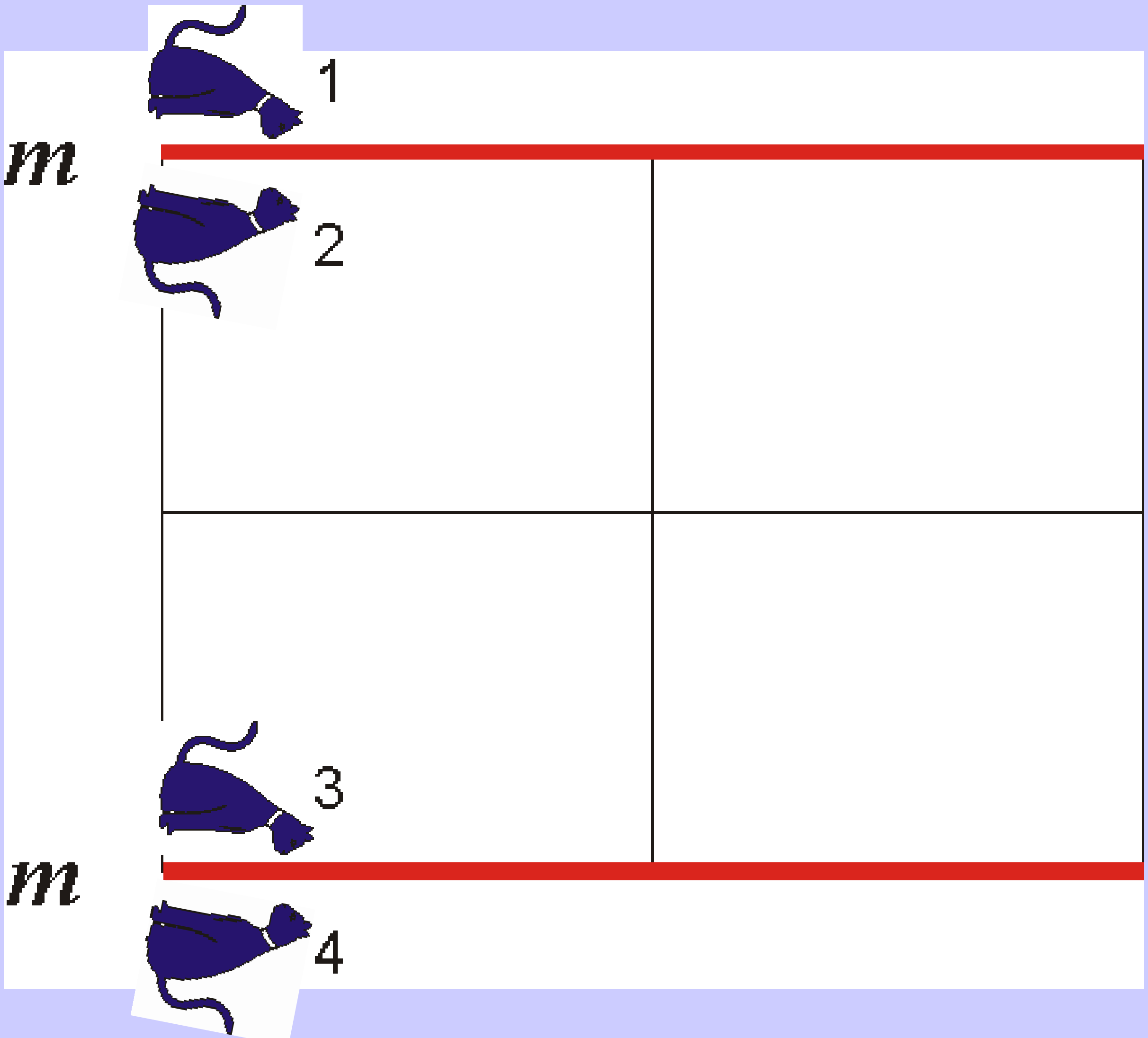


Принес аист?
Нашли в капусте?
Родилась из пены как Афродита?
Как то еще?

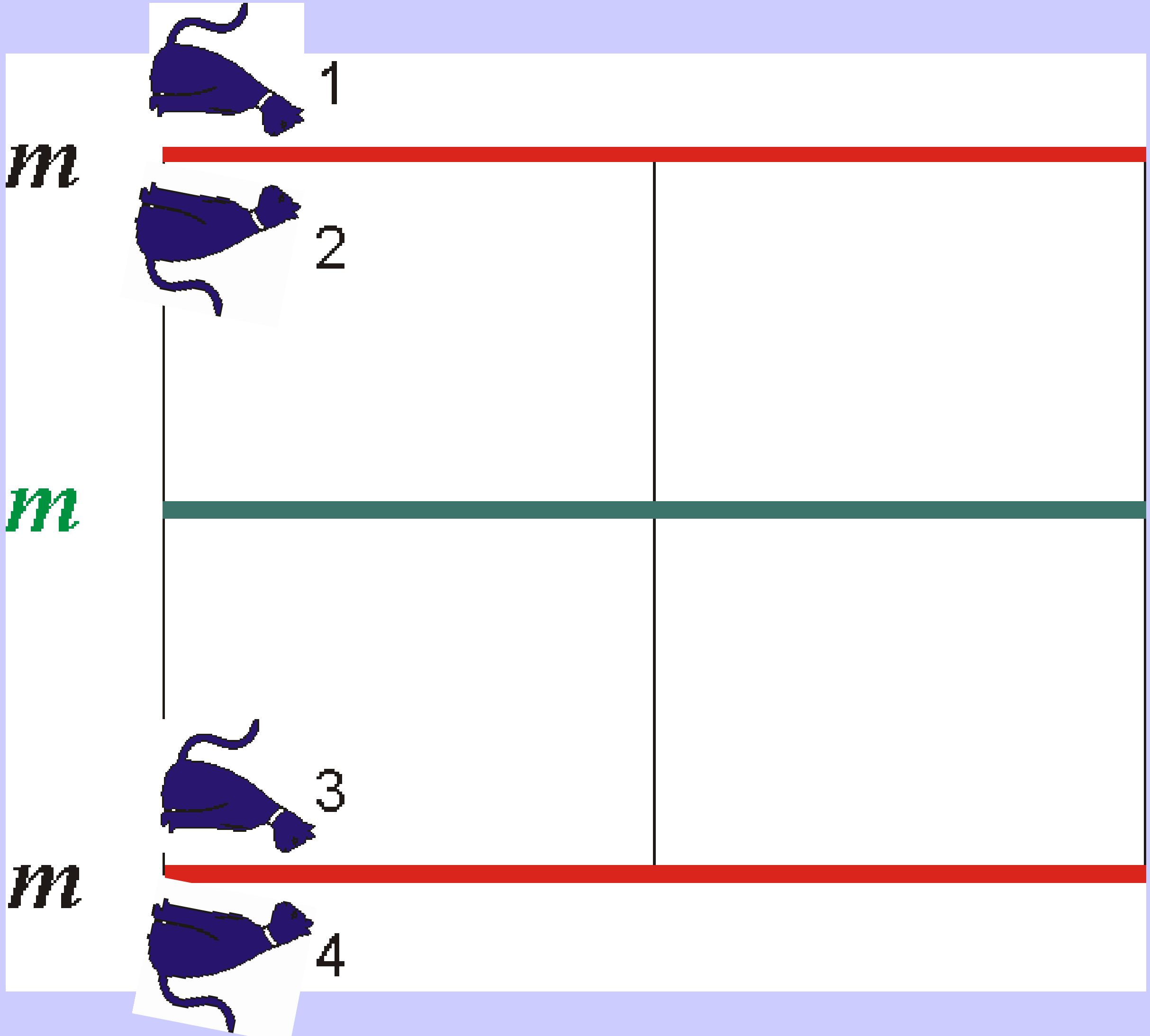
Для этого проверим, как трансляция сосуществует с плоскостями?



А как трансляция сосуществует с плоскостями?



А как трансляция сосуществует с плоскостями?

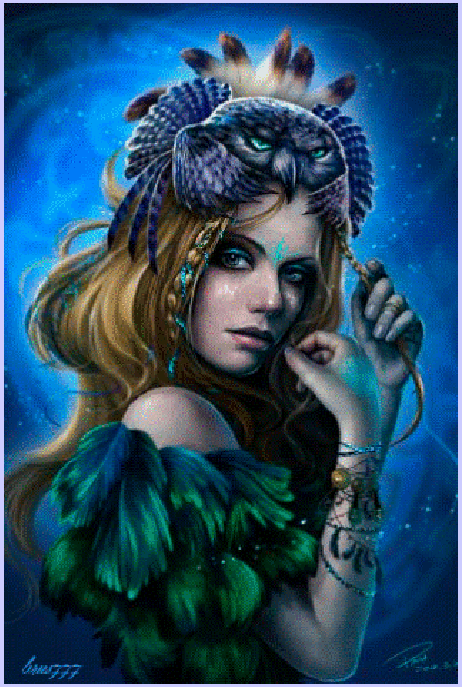


И если Европа родилась

из пены…

То трансляция родилась

(например, так как есть еще варианты кристаллографического непорочного зачатия с помощью центров инверсии и т.д.)



В результате взаимодействия двух параллельных плоскостей, находящихся друг от друга на расстоянии в два раза меньшем, чем длина новорожденной…

В СЛЕДУЮЩИЙ РАЗ

Симметрия микромира. Часть 2

- **Построение графика пространственной группы**
- **Характеристики правильных систем точек**
- **Магическая книга кристаллографа**
- **Позиция Уайкоффа – что это?**
- **Как найти трижды в одном месте центр в группах *mmm*.**
- ***Разбор группы*** *Pmab*
- **Ромбические группы, повернутые набок – дубли или клоны?**