



**Лаборатория Неорганической Кристаллохимии
Кафедра Неорганической Химии, Химический Факультет МГУ**

Основы кристаллографии.
Симметрия кристаллов.

Москва 2010. Курс для ФНМ МГУ.

Неделя 1		Основы кристаллохимии. Симметрия кристаллов. (МЛ)	Рентгеновское излучение и его взаимодействие с веществом (ПЧ)
		Основы кинематической теории дифракции. (ПЧ)	
Неделя 2		Техника дифракционного эксперимента (ПЧ)	Общий вид дифрактограммы. Профильный анализ. (ПЧ)
		Рентгенофазовый анализ. Базы данных ICDD. Программный комплекс WinXPow (демонстрация) (МЛ)	
		Практикум. Рентгенофазовый анализ.	
Неделя 3		Индицирование дифрактограмм. (МЛ)	Метод гомологии в задачах индицирования дифрактограмм. (ЕА)
		15.04 Практические подходы к индицированию. Программный комплекс WinXPow (демонстрация) (МЛ)	
		Практикум. Индицирование дифрактограммы.	
Неделя 4		Дифракция на реальных системах. Теоретическая дифрактограмма. (ПЧ)	Симметрия обратного пространства. Взаимосвязь дифрактограммы и кристаллической структуры соединения. (ПЧ)
		Методы решения структур по порошковым дифракционным данным (МЛ)	<i>Домашняя контрольная №1.</i>
Неделя 5		Уточнение кристаллических структур. Метод Ритвельда. (МЛ)	Влияние микроструктуры образца на вид дифрактограмм. Текстурирование. (МЛ)
		Влияние микроструктуры образца на вид дифрактограмм. Размер ОКР и концентрация микронапряжений тур по данным порошковой дифракции. (МЛ)	
		Практикум. Уточнение кристаллической структуры.	
Неделя 6		10.05 Применение порошковой дифракции. Количественный фазовый анализ. (ПЧ)	10.05 Дифракционные методы. Электронная микроскопия, дифракция нейтронов, малоугловое рассеяние. (МЛ)
		13.05 Исследование тонких пленок, рефлектометрия. (ПЧ)	<i>Домашняя контрольная №2.</i>
		15.05 Практикум. Анализ ОКР и микронапряжений.	

Параметры курса

36 академических часов лекций

4 практических задачи

2 контрольные работы (домашних; или 1 домашняя и 1 лекционная).

Преподаватели:

1. к.х.н., доцент Марина Геннадьевна Розова (практические занятия)
2. к.х.н. Максим Владимирович Лобанов – лекции (1/2)
3. к.х.н. Павел Сергеевич Чижов – лекции (1/2)
4. д.х.н., проф. Евгений Викторович Антипов – 1-2 лекции.

Рейтинг: практикум + контрольные работы. Автоматы есть!

Отчетность: дифференцированный зачет.

Содержание

1. Симметрия кристаллов

- 1.1 Трансляционная симметрия. Кристаллическая решетка.
- 1.2 Допустимые операции симметрии для 3D кристаллов.
- 1.3 Решетки Браве. Понятие о центрировках.
- 1.4 Пространственная группа.

2. Структура кристалла.

- 2.1 Основная информация о структуре кристалла.
- 2.2 CIF-файл.
- 2.3 Структурные базы данных.

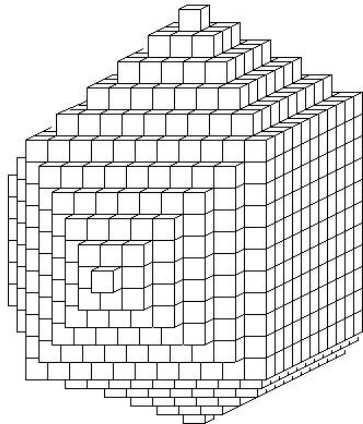
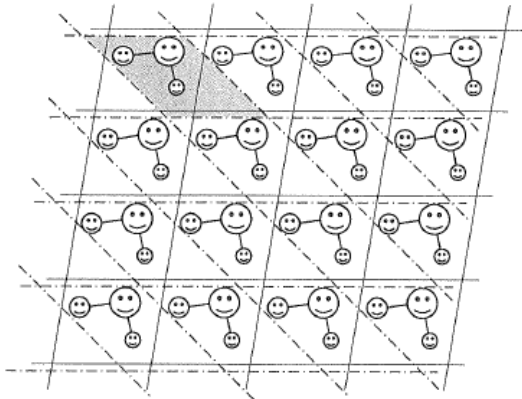
1.1 Трансляционная симметрия.

Кристалл – атомная система, характеризующаяся:

- 1) Дальним порядком
- 2) Периодичностью (обычно 3-х мерной).



Дальний порядок + периодичность = трансляционная симметрия



Трансляция (3D):

$$\mathbf{r}' = T_{nmp}(\mathbf{r}) = \mathbf{r} + n\mathbf{a} + m\mathbf{b} + p\mathbf{c}, \quad n, m, p \in \mathbb{Z}$$

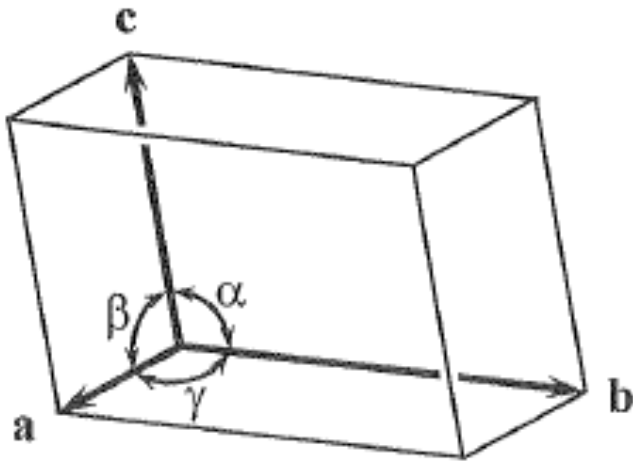
Группа трансляций T :

$$T = \{T_{nmp} : \forall n, m, p \in \mathbb{Z}\}$$

Все свойства кристалла (например, электронная плотность $\rho(\mathbf{r})$) характеризуются периодичностью:

$$T_{nmp}(\rho(\mathbf{r})) = \rho(T_{nmp}(\mathbf{r})) = \rho(\mathbf{r})$$

1.1 Прimitivesкая ячейка.

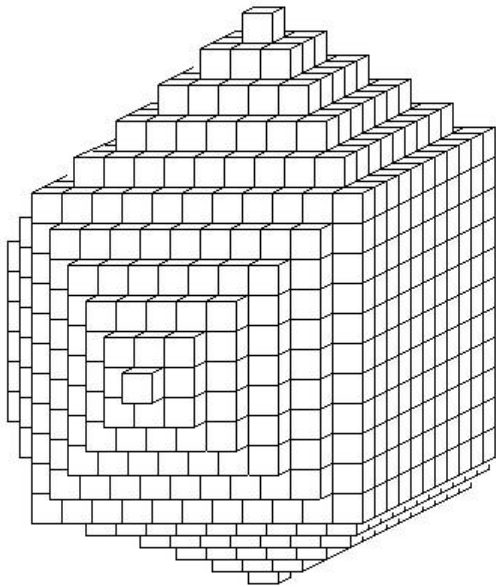


Прimitivesкая ячейка – параллелепипед наименьшего (ненулевого) объема, построенный на трансляционных векторах.

Параметры элементарной ячейки:

длины сторон $a, b, c,$

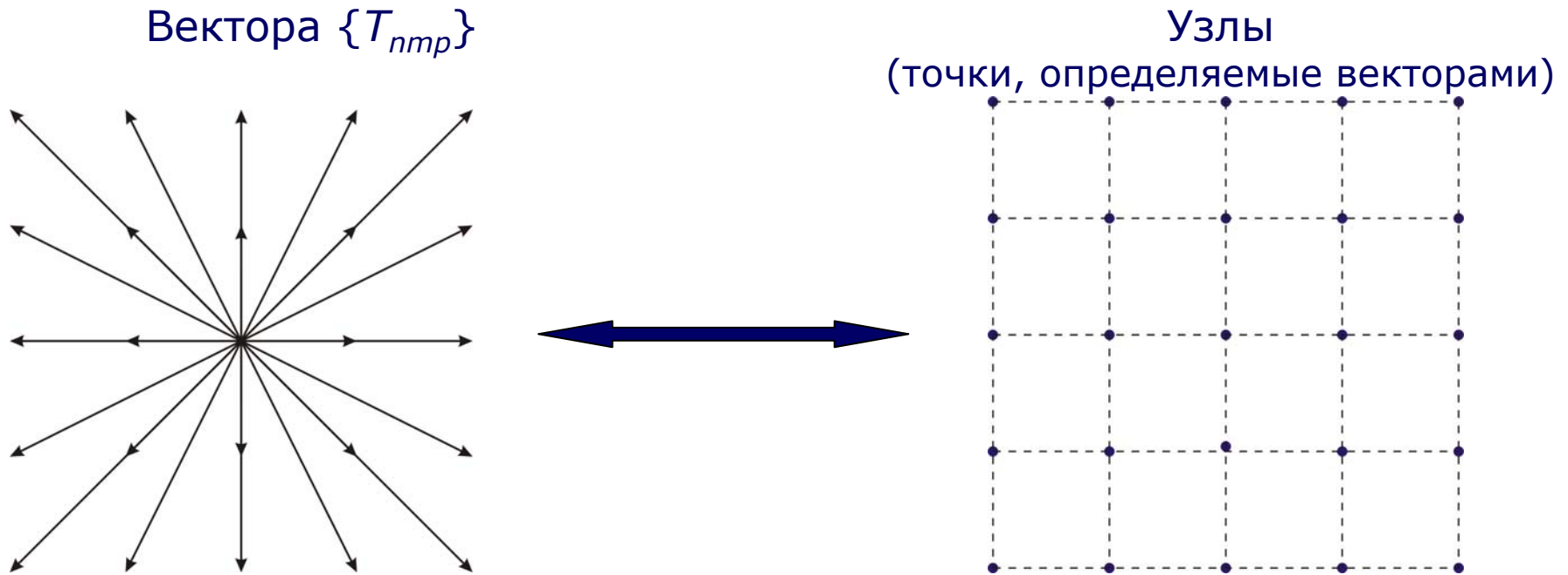
углы $\alpha, \beta, \gamma.$



Трансляция primitivesкой ячейки – воспроизведение всего объема кристалла

1.1 Кристаллическая решетка.

Кристаллическая решетка = совокупность всех векторов трансляций



Очевидно, что T – группа симметрии кристаллической решетки.

Какие дополнительные виды симметрии могут быть у кристаллической решетки?

Как минимум, центр инверсии: \mathbf{r} и $-\mathbf{r}$ одинаково являются векторами трансляций

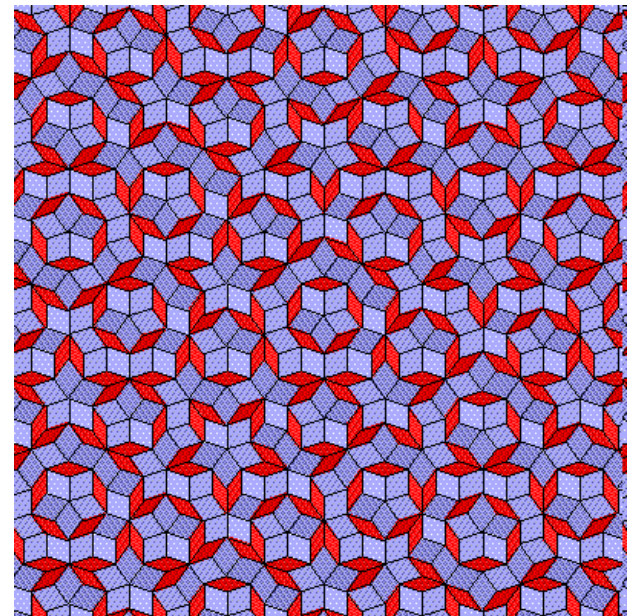
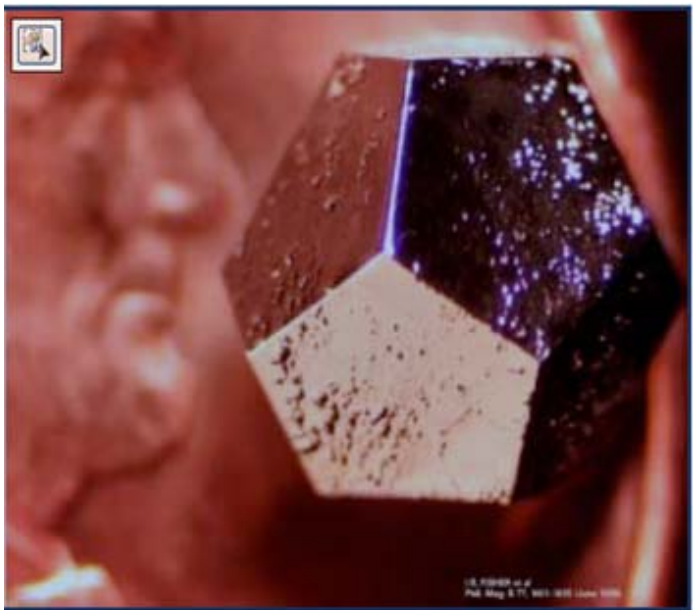
1.2 Допустимые операции симметрии.

Трансляционной симметрии не противоречат:

1. Поворотные оси n (или C_n) 1,2,3,4 и 6 порядков.
2. Поворот-инверсионные оси $-n$ (или S_n) 1,2,3,4 и 6 порядков.
3. Плоскости симметрии ($m = -2$)
4. Центр инверсии ($i = -1$)
5. $E =$ ось 1 = единичный элемент

Оси 5-го порядка в кристаллах быть не может!

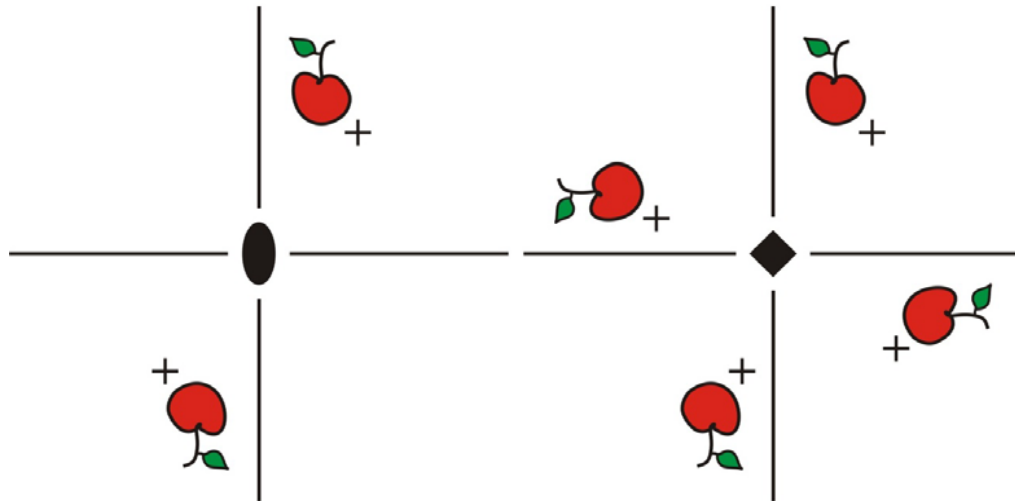
Ось 5 = отсутствие трансляционной симметрии = квазикристалл



1.2 Допустимые операции симметрии.

поворотная ось 2

поворотная ось 4



Закрытые элементы симметрии:

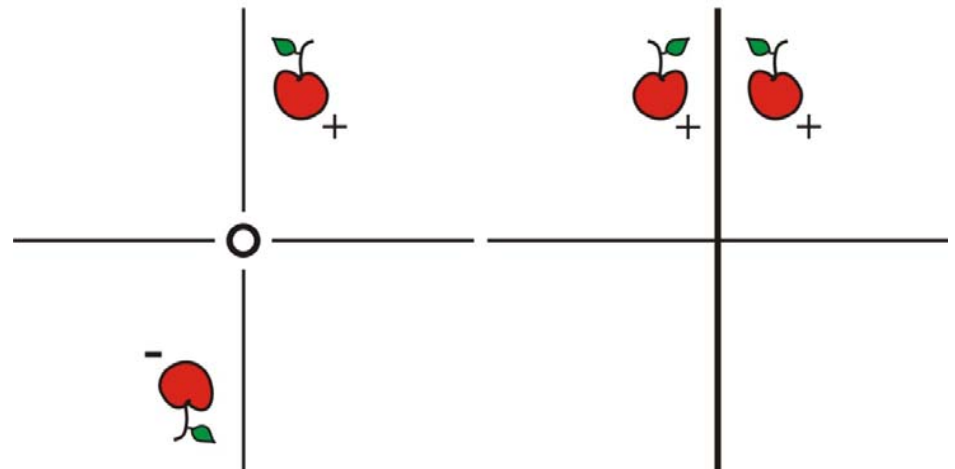
как минимум 1 точка системы не изменяет своего положения

Закрытые элементы симметрии:

поворотные и поворотно-инверсионные оси

инверсионная ось $-1 (\bar{1})$

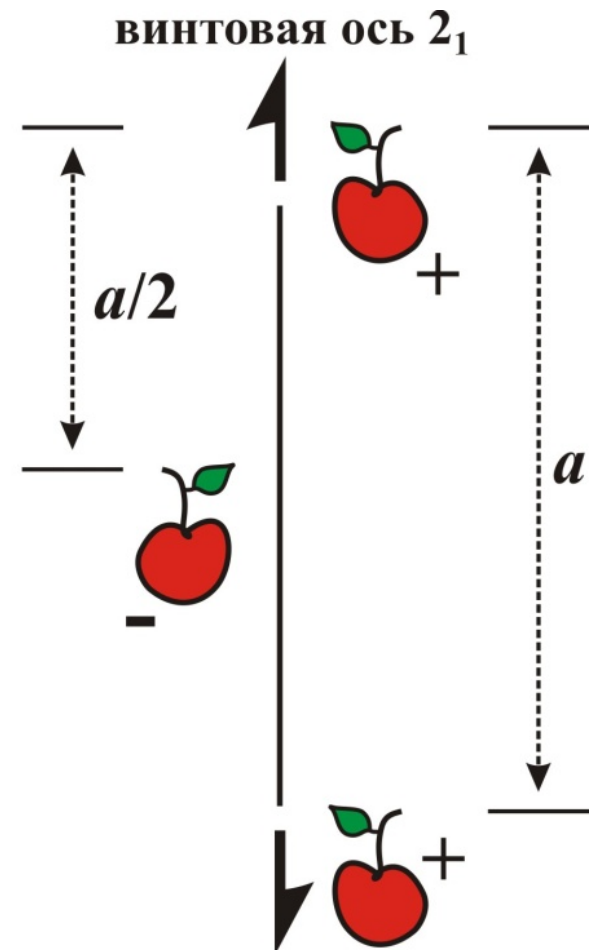
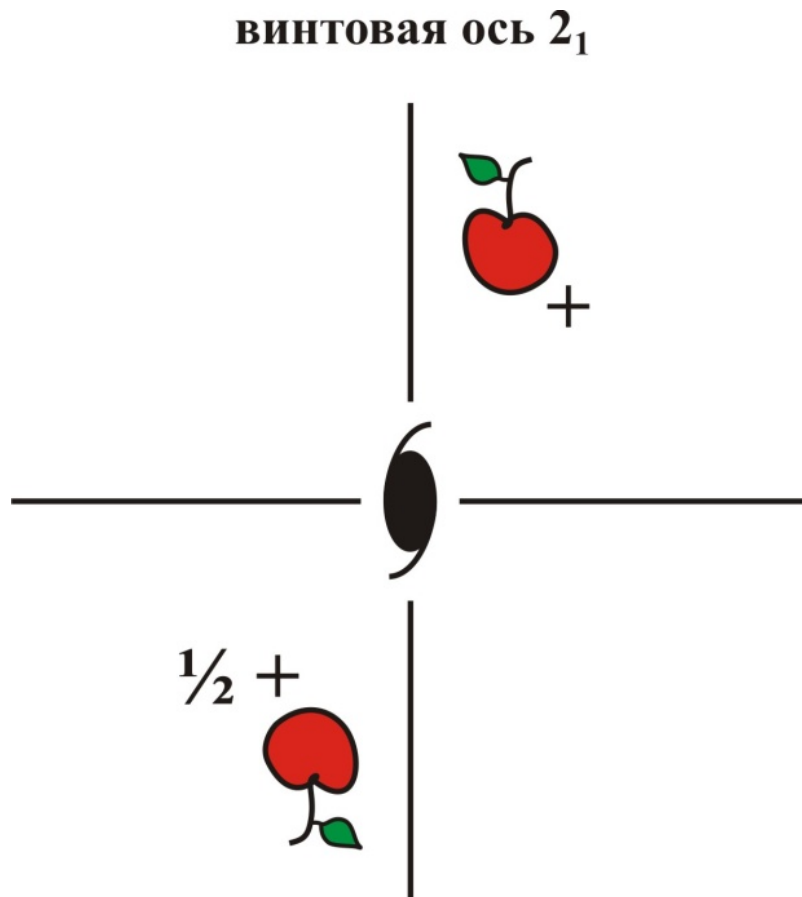
плоскость зеркального отражения $m \equiv -2 (\bar{2})$



1.2 Допустимые операции симметрии.

Открытые элементы симметрии – изменяют положение все точки.

Винтовые оси n_z (n – порядок оси, z/n – часть вектора трансляции)

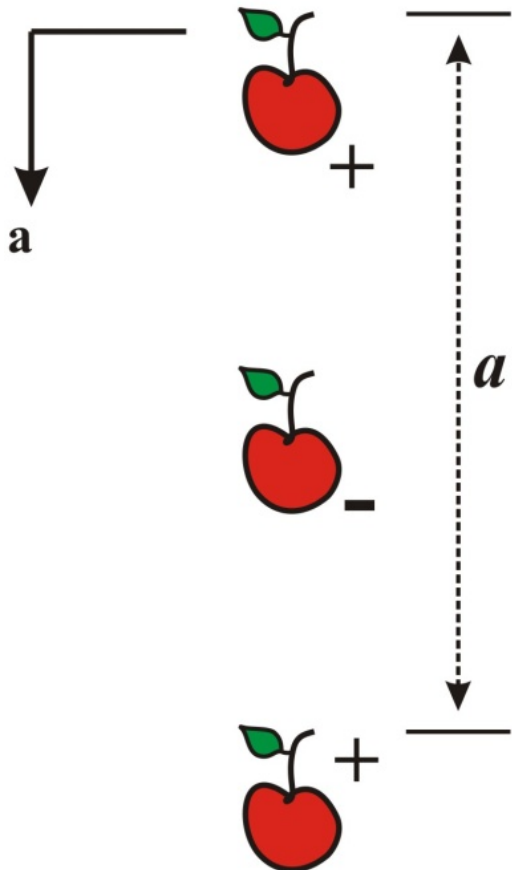


1.2 Допустимые операции симметрии.

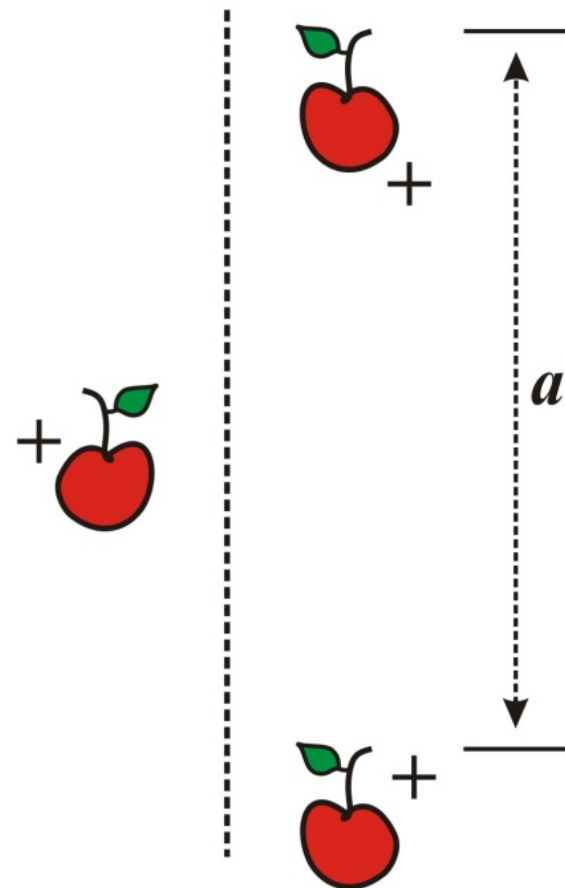
Открытые элементы симметрии – изменяют положение все точки.

Плоскости скользящего отражения a, b, c, n, d

**плоскость скользящего
отражения a**



**плоскость скользящего
отражения a**



1.2 Математическое описание преобразований

Любое симметрическое преобразование в 3D задается парой матрица + вектор:

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{pmatrix} = \mathbf{r}' = \mathbf{A}\mathbf{r} + \mathbf{t} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} x_t \\ y_t \\ z_t \end{pmatrix}$$

Например, поворот на угол относительно оси z и трансляция на $1/2$ вектора z :

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \varphi & -\sin \varphi & 0 \\ \sin \varphi & \cos \varphi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} x_t \\ y_t \\ z_t \end{pmatrix}$$

Матрица \mathbf{A} описывает воздействие закрытого элемента симметрии, \mathbf{t} – трансляции. В сумме они описывают как закрытые, так и открытые элементы симметрии.

1.2 Математическое описание преобразований

Более удобно оперировать 4-х мерными матрицами преобразований:

$$\mathbf{M} = \begin{pmatrix} \mathbf{A} & \mathbf{t} \\ \mathbf{0} & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & x_t \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & y_t \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & z_t \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

В этом случае используется четырехмерный вектор координат, и:

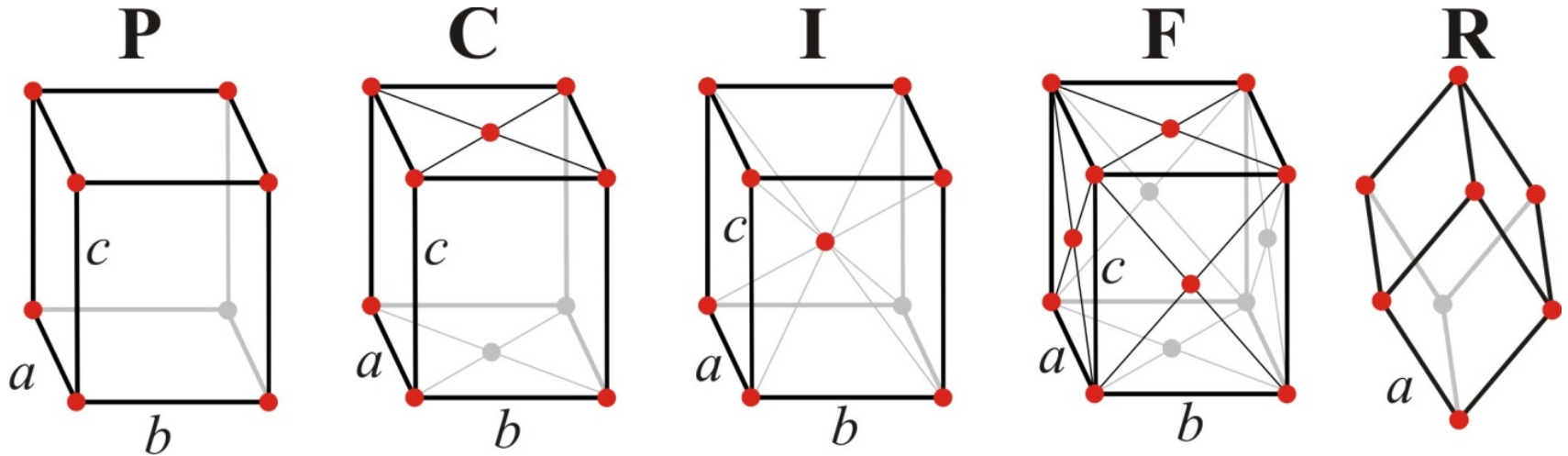
$$\mathbf{r}' = \mathbf{M}\mathbf{r} = \begin{pmatrix} \mathbf{A} & \mathbf{t} \\ \mathbf{0} & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & x_t \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & y_t \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & z_t \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_{11}x + a_{12}y + a_{13}z + x_t \\ a_{21}x + a_{22}y + a_{23}z + y_t \\ a_{31}x + a_{32}y + a_{33}z + z_t \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \mathbf{A}\mathbf{r} + \mathbf{t} \\ 1 \end{pmatrix}$$

Четырехмерное представление используют также для описания модулированных/компонентных структур.

1.3 Решетки Браве

Центрировки – возникают в том случае, когда симметрия примитивной ячейки ниже соответствующей точечной группы решетки

Ячейка увеличивается в k раз – до элементарной (кристаллографической, с наивысшей симметрией)



Наличие/ отсутствие тех или иных элементов симметрии позволяет выделить 7 решеток Браве (т.н. сингоний).

1.3 Решетки Браве

Сингония	Определяющие элементы симметрии	условия на параметры элементарных ячеек	Возможные центрировки
триклинная	нет осей выше 1 порядка	отсутствуют	P
моноклинная	существует и единственно направление, вдоль которого ось не выше 2 порядка	$\alpha = \gamma = 90^\circ$	P, C
орторомбическая	существует более одного направления (min 3), вдоль которых оси не выше 2 порядка	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	P, C, I, F
тетрагональная	существует и единственно направление, вдоль которого ось 4 порядка	$a = b, \alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	P, I
тригональная	существует и единственно направление, вдоль которого ось 3 порядка	$a = b, \alpha = \beta = 90^\circ, \gamma = 120^\circ$	P
		$a = b = c, \alpha = \beta = \gamma$	R
гексагональная	существует и единственно направление, вдоль которого ось 6 порядка	$a = b, \alpha = \beta = 90^\circ, \gamma = 120^\circ$	P
кубическая	существует более одного направления (min 4), вдоль которых оси 3 порядка	$a = b = c, \alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	P, I, F

1.4 Пространственная группа

Совокупность всех операций симметрии = группа симметрии кристалла
(пространственная группа)

$Pm\bar{3}m$

No. 221

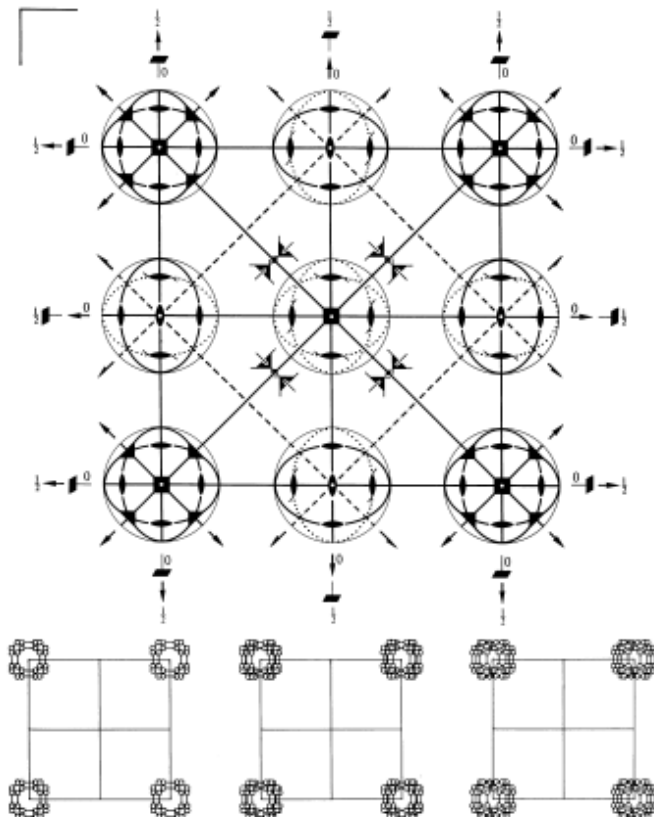
O_h^1

$P 4/m \bar{3} 2/m$

$m\bar{3}m$

Cubic

Pattern symmetry $Pm\bar{3}m$



Origin at centre ($m\bar{3}m$)

Всего существует 230 3D
пространственных групп
(т.н. федоровские группы)



Е.С.Федоров

1.4 Пространственная группа

Характеристики пространственной группы:

1. Сингония
2. Центросимметричность
3. Хиральность
4. Центрировка
5. Симморфная / несимморфная
6. Кратность общей позиции
7. Частные позиции
8. Условия погасания
9. Подгруппы / супергруппы

48	n	1	(1) x, y, z (5) z, x, y (9) y, z, x (13) y, x, \bar{z} (17) x, z, \bar{y} (21) z, y, \bar{x} (25) $\bar{x}, \bar{y}, \bar{z}$ (29) $\bar{z}, \bar{x}, \bar{y}$ (33) $\bar{y}, \bar{z}, \bar{x}$ (37) \bar{y}, \bar{x}, z (41) \bar{x}, \bar{z}, y (45) $\bar{z}, \bar{y}, \bar{x}$	(2) \bar{x}, \bar{y}, z (6) z, \bar{x}, \bar{y} (10) \bar{y}, z, \bar{x} (14) $\bar{y}, \bar{x}, \bar{z}$ (18) \bar{x}, z, y (22) z, \bar{y}, x (26) x, y, \bar{z} (30) \bar{z}, x, y (34) y, \bar{z}, x (38) y, x, z (42) x, \bar{z}, \bar{y} (46) \bar{z}, y, \bar{x}	(3) \bar{x}, y, \bar{z} (7) \bar{z}, \bar{x}, y (11) y, \bar{z}, \bar{x} (15) y, \bar{x}, z (19) $\bar{x}, \bar{z}, \bar{y}$ (23) \bar{z}, y, x (27) x, \bar{y}, z (31) z, x, \bar{y} (35) \bar{y}, z, x (39) \bar{y}, x, \bar{z} (43) x, z, y (47) z, \bar{y}, \bar{x}	(4) x, y, \bar{z} (8) \bar{z}, x, \bar{y} (12) \bar{y}, \bar{z}, x (16) \bar{y}, x, z (20) x, \bar{z}, y (24) $\bar{z}, \bar{y}, \bar{x}$ (28) \bar{x}, y, z (32) z, \bar{x}, y (36) y, z, \bar{x} (40) y, \bar{x}, \bar{z} (44) \bar{x}, z, \bar{y} (48) z, y, \bar{x}		
24	m	$. . m$	x, x, z \bar{z}, \bar{x}, x x, x, \bar{z} $\bar{x}, \bar{z}, \bar{x}$	\bar{x}, \bar{x}, z \bar{z}, x, \bar{x} $\bar{x}, \bar{x}, \bar{z}$ x, \bar{z}, x	\bar{x}, x, \bar{z} x, z, x x, \bar{x}, z z, x, \bar{x}	x, \bar{x}, \bar{z} x, \bar{z}, \bar{x} \bar{x}, x, z z, \bar{x}, x	z, x, x x, \bar{z}, \bar{x} x, z, \bar{x} \bar{z}, x, x	z, \bar{x}, \bar{x} \bar{x}, \bar{z}, x \bar{x}, z, x $\bar{z}, \bar{x}, \bar{x}$
24	l	$m . .$	$\frac{1}{2}, y, z$ $\bar{z}, \frac{1}{2}, y$ $y, \frac{1}{2}, \bar{z}$ $\frac{1}{2}, \bar{z}, \bar{y}$	$\frac{1}{2}, \bar{y}, z$ $\bar{z}, \frac{1}{2}, \bar{y}$ $\bar{y}, \frac{1}{2}, \bar{z}$ $\frac{1}{2}, \bar{z}, y$	$\frac{1}{2}, y, \bar{z}$ $y, z, \frac{1}{2}$ $y, \frac{1}{2}, z$ $z, y, \frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}, \bar{y}, \bar{z}$ $\bar{y}, z, \frac{1}{2}$ $\bar{y}, \frac{1}{2}, z$ $z, \bar{y}, \frac{1}{2}$	$z, \frac{1}{2}, y$ $y, \bar{z}, \frac{1}{2}$ $\frac{1}{2}, z, \bar{y}$ $\bar{z}, y, \frac{1}{2}$	$z, \frac{1}{2}, \bar{y}$ $\bar{y}, \bar{z}, \frac{1}{2}$ $\frac{1}{2}, z, \bar{y}$ $\bar{z}, \bar{y}, \frac{1}{2}$
24	k	$m . .$	$0, y, z$ $\bar{z}, 0, y$ $y, 0, \bar{z}$ $0, \bar{z}, \bar{y}$	$0, \bar{y}, z$ $\bar{z}, 0, \bar{y}$ $\bar{y}, 0, \bar{z}$ $0, \bar{z}, y$	$0, y, \bar{z}$ $y, z, 0$ $y, 0, z$ $z, y, 0$	$0, \bar{y}, \bar{z}$ $\bar{y}, z, 0$ $\bar{y}, 0, z$ $z, \bar{y}, 0$	$z, 0, y$ $y, \bar{z}, 0$ $0, z, \bar{y}$ $\bar{z}, y, 0$	$z, 0, \bar{y}$ $\bar{y}, \bar{z}, 0$ $0, z, \bar{y}$ $\bar{z}, \bar{y}, 0$
12	j	$m . m 2$	$\frac{1}{2}, y, y$ $\bar{y}, \frac{1}{2}, y$	$\frac{1}{2}, \bar{y}, y$ $\bar{y}, \frac{1}{2}, \bar{y}$	$\frac{1}{2}, y, \bar{y}$ $y, y, \frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}, \bar{y}, \bar{y}$ $\bar{y}, y, \frac{1}{2}$	$y, \frac{1}{2}, y$ $y, \bar{y}, \frac{1}{2}$	$y, \frac{1}{2}, \bar{y}$ $\bar{y}, \bar{y}, \frac{1}{2}$
12	i	$m . m 2$	$0, y, y$ $\bar{y}, 0, y$	$0, \bar{y}, y$ $\bar{y}, 0, \bar{y}$	$0, y, \bar{y}$ $y, y, 0$	$0, \bar{y}, \bar{y}$ $\bar{y}, y, 0$	$y, 0, y$ $y, \bar{y}, 0$	$y, 0, \bar{y}$ $\bar{y}, \bar{y}, 0$
12	h	$m m 2 . .$	$x, \frac{1}{2}, 0$ $\frac{1}{2}, x, 0$	$\bar{x}, \frac{1}{2}, 0$ $\frac{1}{2}, \bar{x}, 0$	$0, x, \frac{1}{2}$ $x, 0, \frac{1}{2}$	$0, \bar{x}, \frac{1}{2}$ $\bar{x}, 0, \frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}, 0, x$ $0, \frac{1}{2}, \bar{x}$	$\frac{1}{2}, 0, \bar{x}$ $0, \frac{1}{2}, x$
8	g	$. 3 m$	x, x, x x, x, \bar{x}	\bar{x}, \bar{x}, x $\bar{x}, \bar{x}, \bar{x}$	\bar{x}, x, \bar{x} x, \bar{x}, x	x, \bar{x}, \bar{x} \bar{x}, x, x		
6	f	$4 m . m$	$x, \frac{1}{2}, \frac{1}{2}$	$\bar{x}, \frac{1}{2}, \frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}, x, \frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}, \bar{x}, \frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}, \frac{1}{2}, x$	$\frac{1}{2}, \frac{1}{2}, \bar{x}$
6	e	$4 m . m$	$x, 0, 0$	$\bar{x}, 0, 0$	$0, x, 0$	$0, \bar{x}, 0$	$0, 0, x$	$0, 0, \bar{x}$
3	d	$4/m m . m$	$\frac{1}{2}, 0, 0$	$0, \frac{1}{2}, 0$	$0, 0, \frac{1}{2}$			
3	c	$4/m m . m$	$0, \frac{1}{2}, \frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}, 0, \frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}, \frac{1}{2}, 0$			
1	b	$m \bar{3} m$	$\frac{1}{2}, \frac{1}{2}, \frac{1}{2}$					
1	a	$m \bar{3} m$	$0, 0, 0$					

Название пространственной группы – краткое описание элементов симметрии

Pbam Pm-3m C2/m

1.4 Пространственная группа

Нестандартные установки – необычный выбор элементарной ячейки

Fd-3mZ – нестандартный выбор начала координат (сдвиг на 1/8, 1/8, 1/8)

C1 – C-центрировка для триклинной ячейки

CRYSCON

CRYSCON [La8P5C2_313.cco]

File Input Diffraction Settings Window Help

File: C:\data\chizhov\ipc\ipc_calc\La8P5C2_313.cco

Transform

LaCP

Symmetry - Custom: P 1

Symmetry Expand Layers New to Old

a 7.7679 b 7.7679 c 7.7679 alpha 109.471 beta 109.471 gamma 109.471

No.	Label	Type	Coordinates			Req	SOF	No. atoms
1	La	57	0.13000	0.13000	0.13000	0.00	1.00	1
2	La	57	0.87000	0.50000	0.00000	0.00	1.00	1
3	La	57	0.50000	0.00000	0.37000	0.00	1.00	1
4	La	57	0.00000	0.87000	0.50000	0.00	1.00	1
5	La	57	0.37000	0.50000	0.00000	0.00	1.00	1
6	La	57	0.50000	0.00000	0.87000	0.00	1.00	1
7	La	57	0.00000	0.37000	0.50000	0.00	1.00	1
8	La	57	0.63000	0.63000	0.63000	0.00	1.00	1
9	P	15	0.25000	0.62500	0.37500	0.00	1.00	1

Selected Atom:
ORTEP 10, Uiso = 0.000000
No vector

Edit Delete Add Bond Lengths/Angles Help

Transform

Symmetry Help Cancel Transform

Apply to

Translation only Use symmetry on vectors

Input atoms only

Full unit cells

Pre-symmetry translation: 0 0 0

Pre-matrix translation: 0 0 0

Tolerance (A): 0.4

Transformation Matrix:

a (new) = 0 a (old) + 0 b (old) + 0 c (old)

b (new) = 0 a (old) + 0 b (old) + 0 c (old)

c (new) = 0 a (old) + 0 b (old) + 0 c (old)

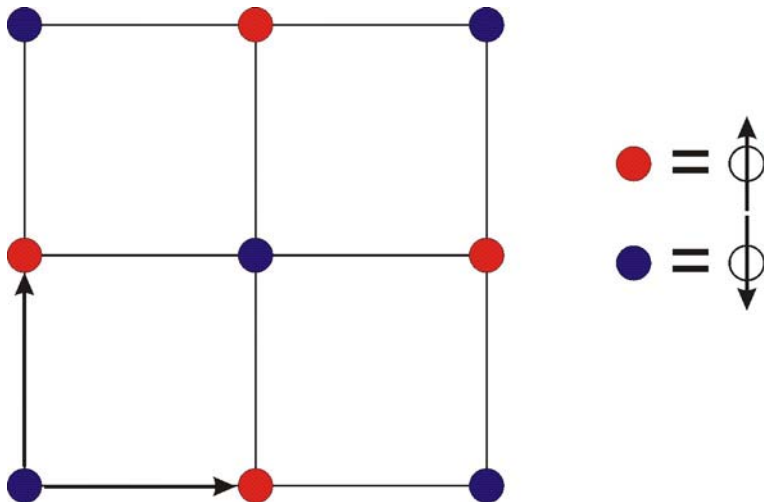
Standard Matrices: Clear

Invert Matrix

Post-matrix translation: 0 0 0 Transform HKL File

1.5 Симметрия свойств кристалла

1. Симметрия функций физических величин кристалла (ρ, φ и т.п.) характеризуется только элементами симметрии, общими с **пространственной** группой кристалла.
2. Симметрия наблюдаемых величин характеризуется только элементами симметрии, общими с **точечной** группой кристалла (принцип Неймана).
3. Симметрия кристалла под внешним воздействием = пересечение элементов симметрии кристалла и симметрии воздействия.



Спиновая плотность в антиферромагнетиках и ферромагнетиках – черные и цветные группы симметрии.

2. Структура кристалла.

Основная информация о структуре кристалла:

1. Параметры + объем элементарной ячейки.
2. Сингония.
3. Пространственная группа (символ + номер)
4. Число формульных единиц Z .
5. Симметрически неэквивалентные атомы:
 - 5.1 Тип атома.
 - 5.2 *Wyckoff number* (кратность позиции)
 - 5.3 Заселенность позиции (g).
 - 5.4 Координаты позиции.
 - 5.5 *Параметры атомного смещения?*
6. Дополнительная информация (структурный тип и т.п.)

2. Структура кристалла.

SrTiO_3 – титанат стронция

1. $a = b = c = 3.9046 \text{ \AA}$, $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$,

$V = 59.53 \text{ \AA}^3$

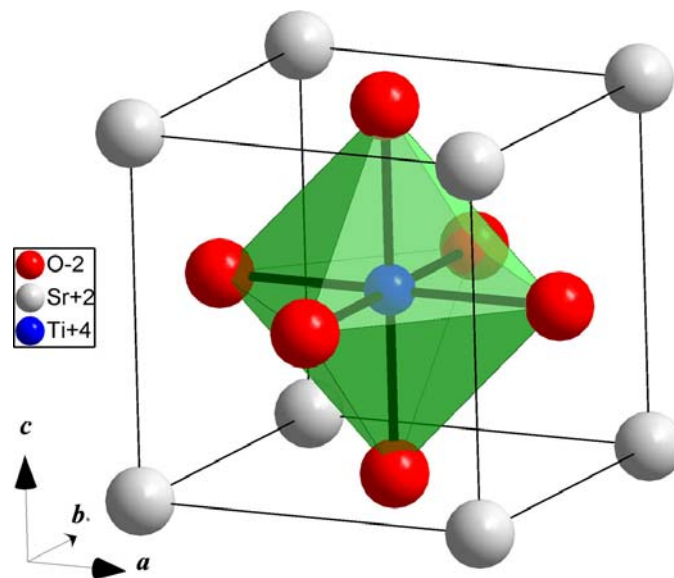
2. Кубическая сингония $Pm\bar{3}m$

3. Пространственная группа:

4. $Z = 1$

5. Атомные позиции:

Атом	Позиция	g	x/a	y/b	z/c
Sr	$1a$	1.0	0.0	0.0	0.0
Ti	$1b$	1.0	0.5	0.5	0.5
O	$3c$	1.0	0.5	0.5	0.0



В ряде программ (SHELX, Jana) заселенность указывается относительно кратности общей позиции: здесь для Sr и Ti = $1/48$, для O = $3/48 = 1/16$.

2.2 CIF-файл.

```
data_18166-ICSD
#@2005 by Fachinformationszentrum Karlsruhe, and the U.S. Secretary of
#Commerce on behalf of the United States. All rights reserved.
_database_code_ICSD          18166
_audit_creation_date         1980/01/01
_audit_update_record         2000/07/15
_chemical_name_systematic    'Calcium Carbonate'
_chemical_formula_structural 'Ca (C O3)'
_chemical_formula_sum        'C1 Ca1 O3'
_chemical_name_mineral       Calcite
_publ_section_title
;
Position and thermal parameters of oxygen atoms in calcite
;
loop_
_citation_id
_citation_journal_abbrev
_citation_year
_citation_journal_volume
_citation_page_first
_citation_page_last
_citation_journal_id_ASTM
primary 'Acta Crystallographica (1,1948-23,1967)' 1965 18 689 693 ACCRA9
loop_
_publ_author_name
'Chessin, H.'
'Hamilton, W.C.'
'Post, B.'
_cell_length_a          4.9900(2)
_cell_length_b          4.9900(2)
_cell_length_c          17.002(1)
_cell_angle_alpha       90.
_cell_angle_beta        90.
_cell_angle_gamma       120.
_cell_volume            366.63
_cell_formula_units_Z   6
_symmetry_space_group_name_H-M 'R -3 c H'
_symmetry_Int_Tables_number 167
_refine_ls_R_factor_all 0.036
```

2.3 Структурные базы данных.

1. FIZ/NIST ICSD:

The screenshot shows the FindIt software interface with the Search ICSD window open. The window title is "Search ICSD" and it has a menu bar with "File", "View", "Options", "Window", and "Help". Below the menu bar is a toolbar with various icons. The main area of the window is a periodic table of elements. The elements are color-coded: blue for H, D, T, Li, Be, Na, Mg, K, Ca, Sc, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Ge, As, Se, Br, Kr, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Tc, Ru, Rh, Pd, Ag, Cd, In, Sn, Sb, Te, I, Xe, Cs, Ba, Hf, Ta, W, Re, Os, Ir, Pt, Au, Hg, Tl, Pb, Bi, Po, At, Rn, Fr, Ra, Rf, Ha, La, Ce, Pr, Nd, Pm, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Ac, Th, Pa, U, Np, Pu, Am, Cm, Bk, Cf, Es, Fm, Md, No, Lr. A search panel on the right side of the window contains the following options: "And" (selected), "Or", "And Not", "Or Not", "AND Element Count" (with a range input), "Element Subscript" (with a dropdown and input), "Oxidation State" (with a range input), "Add", "Clear", and "<< Periodic Table". Below the periodic table, there is a "Type" section with radio buttons for "Normal" (selected), "Exclusive AND", and "Exclusive OR". A text box for "Selected Elements: (Boolean operators are in the upper right. Right click on groups to see contents.)" is present. At the bottom of the window, there are "Reset", "Clear Page", and "Search" buttons.