

# ВВЕДЕНИЕ В КРИСТАЛЛОГРАФИЮ

ЛЕКЦИЯ 1



# ВОПРОСЫ ЛЕКЦИИ

- Список рекомендованной литературы по курсу
- Краткая история кристаллографии
- Связь кристаллографии с другими естественными науками
- Основные разделы и задачи кристаллографии

# СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- а) основная литература:

1. Егоров–Тисменко, Юрий Клавдиевич. Кристаллография: учебник для студентов геологических специальностей вузов / Ю. К. Егоров-Тисменко, Г. П. Литвинская, Ю. Г. Загальская. —М.: Изд. МГУ, 1992. —288 с.
2. Егоров-Тисменко, Юрий Клавдиевич. Кристаллография и кристаллохимия: учебник для студентов вузов, обучающихся по спец "Геология" / Ю.К. Егоров-Тисменко.—Москва: КДУ, 2005.—587 с.
3. Чупрунов, Евгений Владимирович. Основы кристаллографии: учеб. для студентов вузов, обучающихся по физ. и хим. спец. / Е. В. Чупрунов, А. Ф. Хохлов, М. А. Фаддеев.—М.: Физматлит, 2004.—498, [2] с.
4. Задачи по кристаллографии: учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по физ. и хим. спец. / [Головачев В.П., Сафьянов Ю.Н., Чупрунов Е.В. и др.]; под ред. Е. В. Чупрунова, А. Ф. Хохлова.—М.: Физматлит, 2003.—191,[17] с.
5. Чупрунов, Евгений Владимирович. Основы кристаллографии: учеб. для студентов вузов, обучающихся по физ. и хим. спец. / Е.В. Чупрунов, А.Ф. Хохлов, М.А. Фаддеев.—Москва: Физматлит, 2006.—498, [2] с.

## ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

- 1. Чупрунов, Евгений Владимирович. Кристаллография: Учеб. для студентов вузов, обучающихся по физ. и хим. спец. / Е.В.Чупрунов, А.Ф.Хохлов, М.А.Фаддеев.—М.: Изд-во Физ.-мат. лит., 2000.—496с.:
- 2. Бокий Г. Б. Кристаллохимия / Г. Б. Бокий.—Изд. 3-е, перераб. и доп.—Москва: Наука, 1971.—400 с.
- 3. Шаскольская Марианна Петровна. Кристаллография: Учебник для втузов / М. П. Шаскольская.—Изд. 2-е, перераб. и доп.—Москва: Высшая школа, 1984.—375с.
- 4. Шаскольская, Марианна Петровна. Кристаллография: учебник для втузов / М. П. Шаскольская.—Москва: Высшая школа, 1976.—391с.
- 5. Загальская, Юдифь Герцевна. Геометрическая кристаллография.: учебное пособие / Ю.Г. Загальская, Г. П. Литвинская; Под ред. Н. В. Белов.—Москва: Изд-во Московского университета, 1973.—163с.
- 6. Загальская Юдифь Герцевна. Геометрическая микрокристаллография.: учебное пособие / Ю.Г. Загальская, Г.П. Литвинская; Под ред. Н. В. Белов.—М.: Изд-во Московского университета, 1976.—238 с.
- 7. Попов Г.М. Кристаллография: Учебн. для студ. геол. ин-тов и фак. / Г.М. Попов.—изд. 4-е, испр. и доп.—М.: Высш. шк., 1964.—370 с.
- 8. Попов, Георгий Михайлович. Кристаллография: Учеб. Для студентов геологических институтов и факультетов./ Г. М. Попов, И. И. Шафрановский. изд. 5-е, испр. и доп. —М.: Высшая школа, 1972. —352 с.

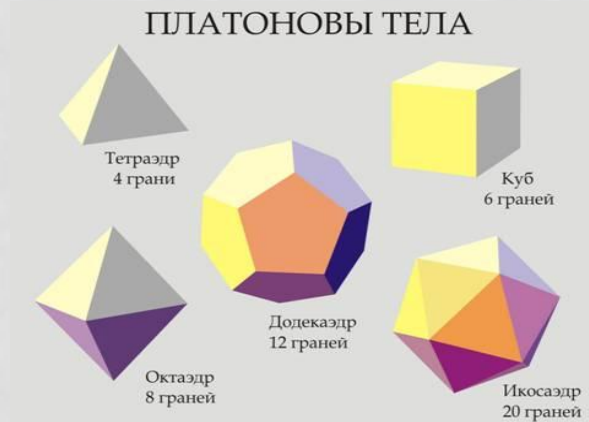
# Краткая история кристаллографии

- **Эмпирический этап (до начала XVI века)**

Период постепенного накопления знаний о форме, геометрических особенностях кристаллов минералов.

Кристаллам минералов приписывались магические свойства с древности (амулеты и обереги) алмаз защищает от врагов, горный хрусталь предотвращает от дурного глаза и т.д.

428-348 г. До н.э. космогеническая геометрия Платона, базировавшаяся на пяти высокосимметричных правильных многогранниках. Чтобы уничтожить воду (икосаэдр 20 граней), необходимы 1 часть огня (тетраэдр 4 грани) и две части воздуха (2 октаэдра с 8 гранями)  $20=4+2*8$ .

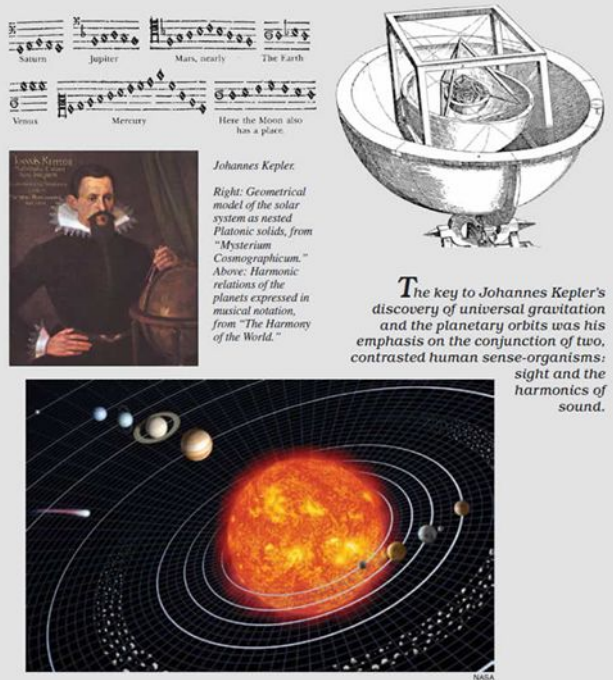


Четыре элемента, из которых строится мир:

- Тетраэдр – огонь
- Октаэдр – воздух
- Икосаэдр – вода
- Куб – земля

Додекаэдр - вселенная

Самое основное свойство кристаллических тел – **симметрия**, находило свое применение в самых разных областях жизни человека: от понятия красивый человек (гармоничный) до строения вселенной...



В 1597 г. Иоганн Кеплер (1571-1630 гг.) опубликовал книгу «Гармония мира», в которой исходя из единого геометрического принципа, попытался рассчитать число орбит, их относительные размеры и характер расположения планет. Геометрию он считал «прообразом красоты мира».

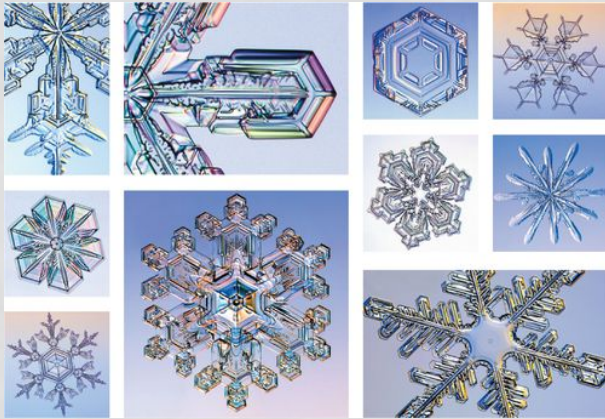
[http://www.schillerinstitute.org/lar\\_related/2010/lyn\\_secret\\_economy.html](http://www.schillerinstitute.org/lar_related/2010/lyn_secret_economy.html)

Построение И.Кеплера – шесть сфер, соответствующих орбитам шести планет : Сатурна, Юпитера, Марса, Венеры и Меркурия, разделенные кубом, тетраэдром, додекаэдром, октаэдром и икосаэдром



- **Теоретический (объяснительный) - XVI - XIX века – период интенсивного теоретического исследования форм и выявления внутреннего строения кристаллов**

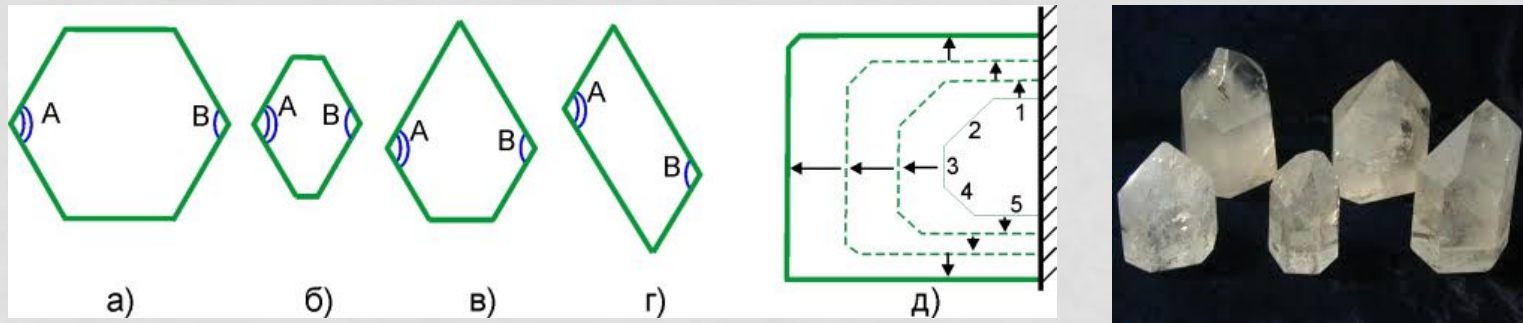
- 1501-1576 гг. итальянский математик Дж.Кардано считал, что кристаллы рождаются, живут, болеют, стареют и погибают. Он попытался объяснить шестигранные призматические формы кристаллов горного хрусталя укладкой шарообразных частиц



1611 г. Кеплер в своем трактате «О шестиугольных снежинках» высказал предположение о связи правильной шестиугольной формы снежинок с плоскостной укладкой шарообразных частиц вещества. Сравнивая снежинки разных видов он обратил внимание на то, что все лучи снежинок сходятся в одной точке, следовательно, по его предположению, в центре находится формообразующая сила.

В 1669 г. Н.Стенон сформулировал основные понятия о формировании кристаллов: «Рост кристаллов происходит не изнутри, как растений, но путем наложения на внешние плоскости кристалла мельчайших частиц, приносящихся извне жидкостью».



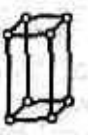
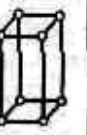
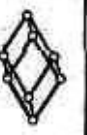
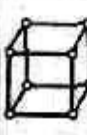





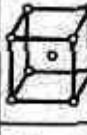


На реальных кристаллах кварца он вывел **основной закон геометрической кристаллографии** – закон постоянства углов: «Хотя кристаллы одного и того же вещества (минерала) могут иметь разную форму, углы между их соответственными гранями остаются неизменными».



1749 г. М.В.Ломоносов в своей диссертационной работе «О рождении и природе селитры» закон постоянства углов объяснил плотнейшей упаковкой шарообразных частиц.

1783 г. Фр. минералог Ж.Б.-Л. Роме-де-Лиль издал книгу под названием «Кристаллография, или Описание форм, присущих всем телам минерального царства», где предложил свой вариант основного закона кристаллографии: «**Грани кристалла могут изменяться по своей форме и относительным размерам, но их взаимные наклоны постоянны и неизменны для каждого рода кристаллов**».



Сингония Тип решетки	Три- клинная $a \neq b \neq c$ $\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$	Моно- клинная $a \neq b \neq c$ $\alpha = \gamma = 90^\circ \neq \beta$	Ромби- ческая $a \neq b \neq c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	Тетраго- нальная $a = b \neq c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	Триго- нальная (ромбоэ- дрическая) $a = b = c$ $\gamma = \beta = \alpha \neq 90^\circ$	Гексаго- нальная $a = b \neq c$ $\gamma = 120^\circ \neq \alpha = 90^\circ$	Куби- ческая $a = b = c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$
Примитивный							
Базоцентри- рованный							
Объемноцен- трированный							
Гранецентри- рованный							

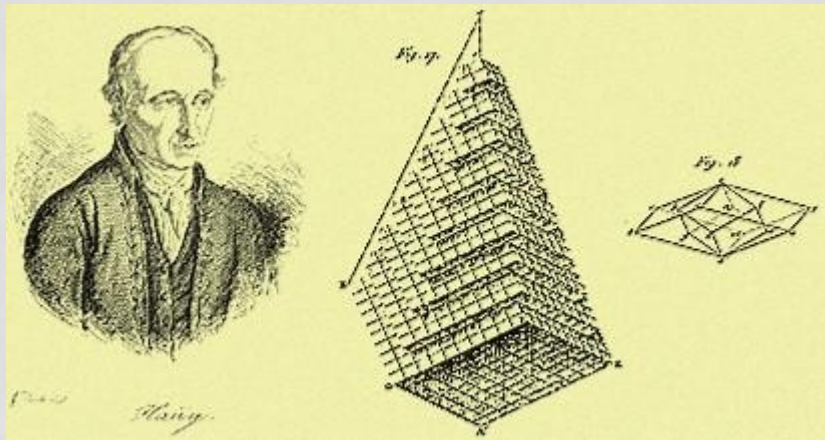
1848 г. франц. кристаллограф А. Браве предложил 14 типов элементарных ячеек, из которых состоят пространственные решетки кристаллов.

Центры тяжести молекул располагаются в кристалле в виде узлов пространственной решетки, характеризующейся трехмерной периодичностью.

О.Браве ввел понятия об осях симметрии, плоскости симметрии, центре симметрии и дал определение симметричной фигуры

1874 г. Р.Ж. Гаюи предложил новую теорию строения кристаллов: кристалл, по его мнению, построен из параллелепипедов – молекулярных кирпичиков. У каждого вещества своя форма молекул-кирпичиков: у галита – куб, у кальцита - ромбоэдр, у флюорита – октаэдр. Различная форма кристаллов - различные способы укладки молекул-кирпичиков.

Гаюи - автор второго закона кристаллографии – **закона рациональных отношений параметров граней кристаллов**



<http://www.geowiki.fr/index.php?title=Ha%C3%BCy>

Гаюи открыл, что плоскости спайности, постоянны и имеют соотношение с наружной формой.

Далее, он нашел весьма важный закон о рациональности разрезов по осям, который имеет значение для всего строения кристалла.

К значительнейшим исследованиям Гаюи относится и открытие закона симметрии, состоящего в том, что **при изменении формы кристалла через комбинацию с другими формами все однородные части, ребра, углы, плоскости всегда изменяются одновременно и одинаковым образом.**

1830 г. Нем.проф.минералогии И.Ф.Гессель издает труд под названием «Кристаллометрия» где выводит 32 класса симметрии кристаллов. Труд не находит понимания в ученом мире.

1855 г. Свой вариант вывода 32 классов симметрии предлагает Е.С.Федоров

1867 г. А. В. Гадолин в своей работе «Вывод всех кристаллографических систем и их подразделений из одного общего начала» строго выводит 32 группы – совокупности элементов симметрии, которые могут существовать в кристаллических многогранниках. Эти группы он разбивает на кристаллографические системы - сингонии: триклинную, моноклинную, ромбическую, тетрагональную, гексагональную и кубическую.

1890 г. Е. С. Фёдоров и независимо от него нем. математик А. Шёнфлис в 1891г. строго математически вывели 230 пространственных групп симметрии – 230 способов размещения материальных частиц в кристаллическом пространстве

<b>Сингония</b>	<b>Число точечных групп</b>	<b>Число решеток Браве</b>	<b>Число пространственных групп</b>
<b>триклинная</b>	2	1	2
<b>моноклинная</b>	3	2	13
<b>ромбическая</b>	3	4	59
<b>тетрагональная</b>	7	2	68
<b>тригональная</b>	5	1	25
<b>гексагональная</b>	7	1	27
<b>кубическая</b>	5	3	36
<b>Всего</b>	<b>32</b>	<b>14</b>	<b>230</b>

В 1894 г. П.Кюри сформулировал **закон суперпозиции симметрии**: *в результате наложения нескольких явлений различной природы, каждое из которых обладает своей собственной симметрией, в одной и той же системе сохраняются лишь совпадающие элементы симметрии этих явлений.*

В природе встречаются объекты двух типов симметрии: все, что растет или развивается по вертикали, т.е. вверх относительно земной поверхности имеет ось симметрии – симметрию конуса; все, что растет или развивается параллельно или под углом к земной поверхности обладает плоскостью симметрии. Все, что находится на планете Земля находится в поле земного притяжения и имеет отпечаток его воздействия. Сила тяжести имеет симметрию конуса, включающую одну вертикальную ось симметрии и бесконечное количество вертикальных плоскостей симметрии в ней пересекающихся. Следовательно, у всего, что развивается вертикально, вектор роста совпадает с осью симметрии конуса, а у всего, что развивается горизонтально, вектор роста совпадает с одной из вертикальных плоскостей симметрии.



Этот закон суперпозиции симметрии проявляется во внешней форме кристаллических тел. Форма образующихся кристаллов отражает условия роста кристаллов.

## • Прогностический период (современный) с XIX в. по настоящее время

- 1895 г. Открытие немецким физиком В.К.Рентгеном – X-лучей, названных рентгеновскими.
- 1912 г. исследования дифракции рентгеновских лучей в кристаллах (нем. физик М. Лауэ, экспериментально подтвердили их периодическое решётчатое строение).
- Первые рентгенографические расшифровки атомные структуры кристаллов галита, алмаза, сфалерита и др., были осуществлены в 1913г. англ. физиками У. Г. Брэггом и У. Л. Брэггом. Уравнение Брэгга-Вульфа

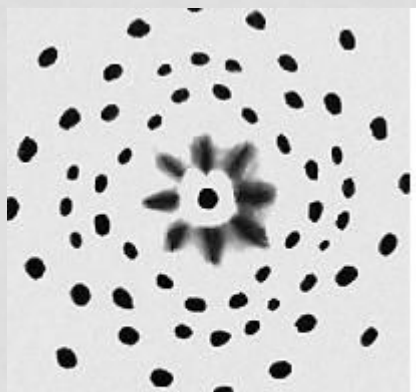
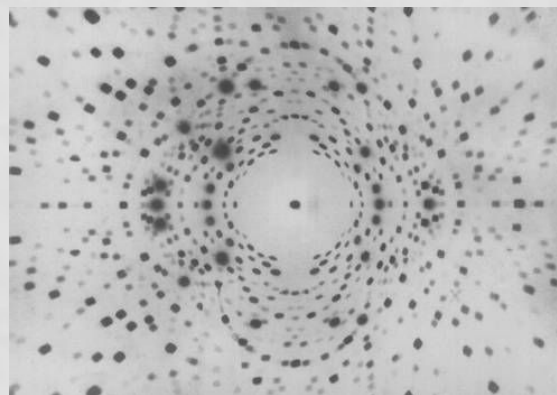


Рис. 6.10. Лауэграмма монокристалла NaCl



Лауэграмма ориентированного монокристалла берилла. Первичный пучок рентгеновских лучей направлен вдоль оси симметрии 2-го порядка. Монокристалл состоит из двух несколько разориентированных блоков, поэтому некоторые пятна двойные.



Дальнейшее **изучение атомной структуры кристаллов** связано с именами амер. учёного Л. Полинга, норв. учёного В. Гольдшмидта, англ. учёного Дж. Бернала и сов. учёного Н. В. Белова;

**исследование роста кристаллов и их физ. свойств** — с именами нем. учёного В. Фохта, болг. учёного И. Н. Странского, сов. учёных Г. В. Вульфа, А. В. Шубникова и др.

1927 г. Открытие дифракции электронов от кристаллических областей легло в основу электронографических методов. С помощью их изучают тонкие пленки, тонкие игольчатые кристаллы, поверхности монокристаллов в отраженных лучах.

XX век развитие методов оптической спектроскопии по **изучению тонких особенностей состава и строения кристаллов на атомно-электронном уровне**;

Электронный парамагнитный резонанс, открытый Е.К.Завойским в 1944 г. в Казани, применяется для **диагностирования в минералах примеси парамагнитных ионов переходных групп** ;

Ядерный магнитный резонанс позволяет обнаружить парамагнитные ионы в составе минерала и их концентрацию, получить **сведения о структурном положении атомов, их координации, симметрии и силе кристаллических полей** .



# СВЯЗЬ КРИСТАЛЛОГРАФИИ С ДРУГИМИ НАУКАМИ



# ОПРЕДЕЛЕНИЕ, ОСНОВНЫЕ РАЗДЕЛЫ И ЗАДАЧИ КРИСТАЛЛОГРАФИИ

**Кристаллография** – это наука, изучающая внешнюю форму, внутреннее строение, физико-химические свойства и процессы образования (синтеза) кристаллов

## Основные разделы кристаллографии

- Геометрическая (математическая) кристаллография
- Кристаллофизика
- Кристаллохимия
- Кристаллогенезис

## Основные задачи кристаллографии

- Установление закономерностей внешней и внутренней симметрии кристаллических многогранников
- Установление зависимости физических свойств кристаллов (электрических, оптических, механических и др.) от симметрии кристаллов
- Изучение структурных особенностей различных веществ (расположение атомов в структуре)
- Изучение процессов образования и роста кристаллов