

**Московский ордена Ленина,
ордена Октябрьской Революции
и ордена Трудового Красного Знамени
Государственный университет имени М.В. Ломоносова**

ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ФАУЛЬТЕТ

Кафедра кристаллографии и кристаллохимии.

КУРСОВАЯ РАБОТА

Простые формы кристаллов низшей категории.

Simple forms of crystals of the lowest category.

Выполнила студентка 112 группы

Грачёва А.В.

Научный руководитель:

Доктор хим. наук, профессор Еремин Н.Н.

Москва

2013

Содержание.....	2
Введение.....	3
Основная часть	
Введение в кристаллографию. Симметрия.....	4
Классы симметрии кристаллов. Категория. Сингония.....	6
Классы симметрии низшей категории.....	10
Общее представление о простых формах.....	14
Простые формы кристаллов низшей категории.....	16
Практическая часть. Создание интерактивного учебного пособия.....	9
Заключение.....	22
Список литературы.....	23

Введение.

Поступив в Московский Государственный университет, я столкнулась с множеством новых для себя предметов. Одним из них была кристаллография. Эта наука изучает не только кристаллы и их структуру, возникновения и свойства, но так же затрагивает такие вопросы, как закономерности развития Земли, её формы, процессы, происходящие в глубинах.

Преступив к изучению простых форм кристаллов, я и многие мои однокурсники столкнулись со сложностью представления этих самых простых форм. Разумеется, деревянные модели, которые предоставляет кафедра, помогают справиться с этой задачей. Но работать с ними можно в строго отведенное для этого время. Поэтому требуется ресурс способный помочь студентам в этом вопросе при их самостоятельной работе.

Заинтересовавшись этим вопросом, я узнала, что работу в создании такого ресурса уже выполняли Анатолий В. в 2008 году, Кудряшева Л. в 2011 году и команда из студентов 112 группы Мурзина Р. и Буданова Р. в 2012. И поэтому когда мой научный руководитель Еремин Н.Н. предложил одну мне написать курсовую по теме «Простые формы кристаллов низшей категории», я заинтересовалась и решила сделать анимированное пособие по простым формам кристаллов, что бы помочь будущему поколению геологов в освоении этой интересной науки.

Основная часть.

Введение в кристаллографию. Симметрия.

Кристаллография – одна из главных фундаментальных наук о Земле, ее веществе. Эта наука изучает кристаллы. Как известно, кристаллы - это твердые тела с упорядоченным внутренним строением на уровне атомов и молекул. Кристаллические тела обладают трехмерно-периодической пространственной атомной структурой и имеют вследствие этого при определенных условиях образования форму многогранников.

Правильным внутренним строением объясняются такие макроскопические свойства кристаллов, как, однородность, плоскогранность, способность самоограняться, их симметрия. Что же такое симметрия?

Термин симметрия (от греч. $\sigma\mu\mu\epsilon\tau\rho\iota\alpha$ - соразмерность, синонимы: однородность, гармония), как предполагают ученые, это понятие ввел в обиход Пифагор (VI в. До н. э.), обозначив пространственную закономерность в расположении одинаковых фигур или их частей.

Слово «симметрия» употребляется в двух значения. С одной стороны, симметричное – это что-то, что обладает хорошими пропорциями. И в этом смысле идея симметрии не ограничивается только пространственными объектами. С другой стороны, это строго геометрическое понятие. Тело (пространственный образ) может быть симметрично относительно либо данной области, либо линии.

Таким образом, сущность понятия «симметрия» заключается в закономерной повторяемости фигур (или их частей) в пространстве. И в этом смысле симметрия является свойством геометрических тел.

Относительно же внутреннего строения кристалла, термин «симметрия» объясняется следующим образом. Каждая пространственная решетка характеризуется своими параметрами, т.е. тремя векторами, на которых строится параллелепипед повторяемости и углами между ними. Поэтому кристаллы, построенные по принципу пространственной решетки, имеют закономерное

внутреннее строение и в силу этого обнаруживают закономерную повторяемость своих элементов, т.е. ту или иную степень симметричного строения. Поэтому возникает необходимость классификации кристаллов по возможным сочетаниям элементов симметрии, т.е. классам симметрии.

Классы симметрии кристаллов. Категория. Сингония.

Изучая кристаллы, ученые обратили внимание на то, что элементы симметрии располагаются в них не случайно, а закономерным образом. Полный набор элементов симметрии, вспомогательных геометрических образов (точки, прямые плоскости), с помощью которых обнаруживается симметрия фигур, строго располагающимся по отношению друг к другу называется классом симметрии.

Необходимость фиксировать то или иное направление в кристалле, ту или иную плоскость симметрии (или грань кристалла) заставляет вводить в кристаллах координатную систему. Однако пользоваться одной, наиболее распространенной в геометрии, декартовой системой в кристаллографии неудобно, так как прямоугольная система координат с одинаковыми масштабами по осям не всегда отражает симметрию кристалла. Поэтому условно эквивалентность координатных направлений можно показать с помощью единичных векторов a , b , c – по соответствующим координатным осям X , Y , Z .

Существуют три возможности соотношений этих масштабов: $a = b = c$, $a = b \neq c$, $a \neq b \neq c$. Эти соотношения позволяют разделить на кристаллографические 32 класса симметрии на три группы, называемые категориями. Таким образом, категория – это объединение классов симметрии по принципу соотношения масштабных отрезков.

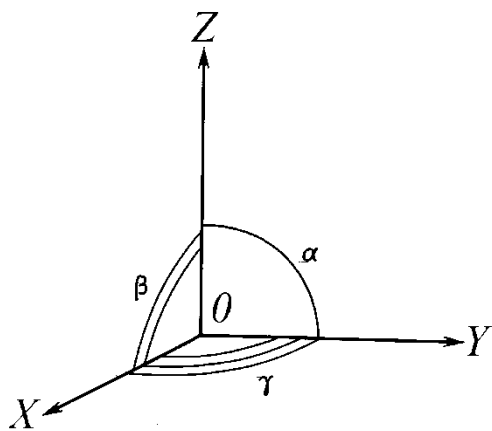


Рис.1. Применяемая в кристаллографии правая система координат [Егоров-Тисменко Ю.К., 2005]

Три категории кристаллов:

1) Кристаллы низшей категории характеризуются полной неэквивалентностью координатных направлений ($a \neq b \neq c$), которая объясняется отсутствием в них осей высшего порядка (рис. 2а).

2) Кристаллы средней категории характеризуются частичной эквивалентностью координатных осей ($a = b \neq c$), связанной с присутствием в их группах симметрии одной оси высшего порядка (рис. 2б).

3) Кристаллы высшей категории характеризуются полной эквивалентностью координатных осей ($a = b = c$) (рис. 2в).

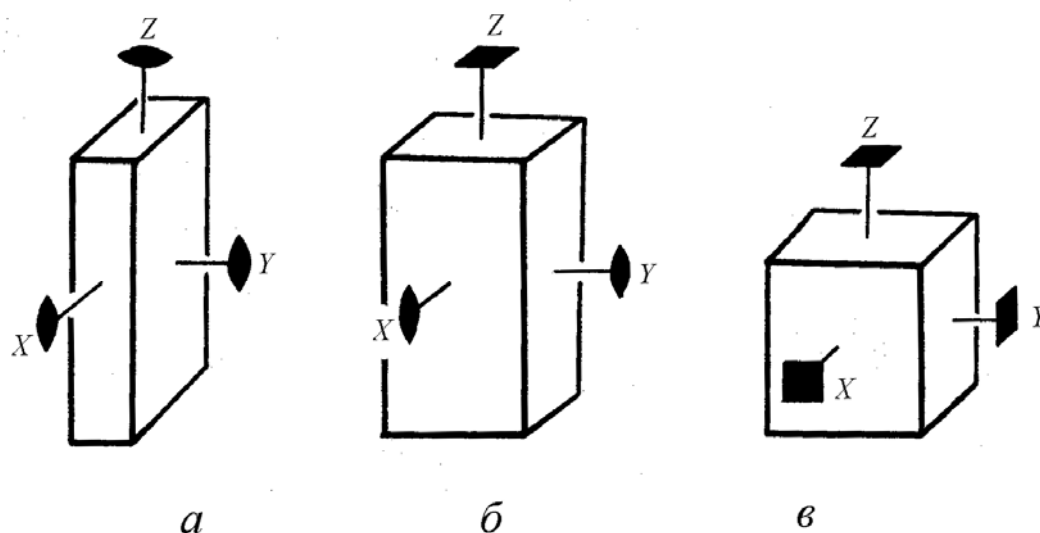


Рис. 2: а - кристалл низшей категории: все координатные направления различны, нет осей порядка больше чем два; б - кристалл средней категории – есть одна (вертикальная) ось порядка больше двух; в - кристалл высшей категории – несколько осей порядка больше двух [Егоров-Тисменко Ю.К., 2005].

Если рассмотреть все угловые соотношения в каждой из перечисленных категорий, можно вывести кристаллографические координатные системы (сингонии). Сингония – это объединение классов симметрии внутри категорий по принципу соотношения углов между координатными осями. Таким образом,

классы симметрии, принадлежащие одной сингонии, обслуживаются одной и той же координатной системой.

В низшей категории выделяют три сингонии. Самые низкосимметричные кристаллы характеризуются косоугольной координатной системой общего вида:

$$a \neq b \neq c, \alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ.$$

Название сингонии с такой косоугольной координатной системой – триклинная.

В кристаллах моноклинной сингонии косой угол, называемый углом моноклинности, всего один:

$$a \neq b \neq c, \alpha = \beta = 90^\circ, \gamma \neq 90^\circ.$$

Стоит отметить то, что в настоящее время принято устанавливать кристалл таким образом, чтобы углом моноклинности был именно γ . Такая установка кристалла называется рациональной.

Если же система координат кристалла содержит только прямые углы, то сингония будет называться ромбической:

$$a \neq b \neq c, \alpha = \beta = \gamma = 90^\circ.$$

В средней категории выделяют две сингонии: тетрагональную (греч. тетра – четыре) и гексагональную (греч. гекса – шесть), координатные системы которых обслуживают кристаллы с осями 4-го, 3-го и 6-го порядков соответственно. Координатная система тетрагональной сингонии имеет следующие характеристики:

$$a = b \neq c, \alpha = \beta = \gamma = 90^\circ.$$

Система координат гексагональной сингонии имеет следующие характеристики:

$$a = b \neq c, \alpha = \beta = 90^\circ, \gamma = 120^\circ.$$

Следует обратить внимание на то, что такая координатная система «обслуживает» кристаллы, имеющие главную ось, как третьего, так и шестого порядка. Поэтому внутри гексагональной сингонии выделяют две подсингонии: собственно гексагональную (если порядок главной оси равен 6) и тригональную (если порядок главной оси равен 3). Таким образом, достаточно часто

встречающееся в литературе выделение отдельной тригональной сингонии не совсем оправдано.

В высшей категории существует лишь одна сингония - кубическая, которая обслуживается правой декартовой системой координат:

$$a = b = c, \alpha = \beta = \gamma = 90^\circ.$$

Систематизирую вышесказанное в виде таблицы 1:

Таблица 1. Разделение 32 классов симметрии кристаллов на категории и сингонии

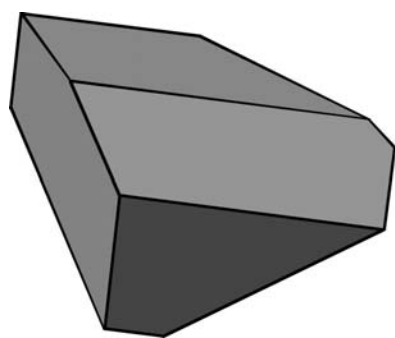
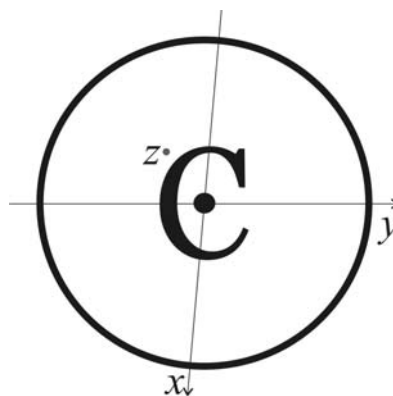
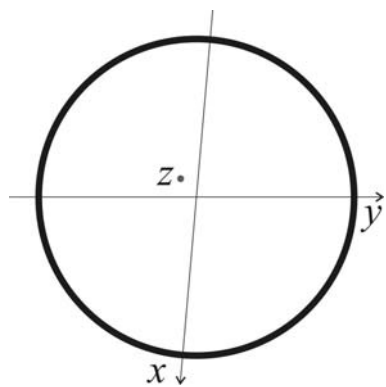
Категория	Степень эквивалентности координатных направлений	Угловые характеристики координатных систем	Сингонии
Низшая	$a \neq b \neq c$	$\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ \neq 120^\circ.$	Триклинная
		$\alpha = \beta = 90^\circ, \gamma \neq 90^\circ \neq 120^\circ.$	Моноклинная
		$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	Ромбическая
Средняя	$a = b \neq c$	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	Тетрагональная
		$\alpha = \beta = 90^\circ, \gamma = 120^\circ$	Гексагональная
Высшая	$a = b = c$	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	Кубическая

Классы симметрии низшей категории.

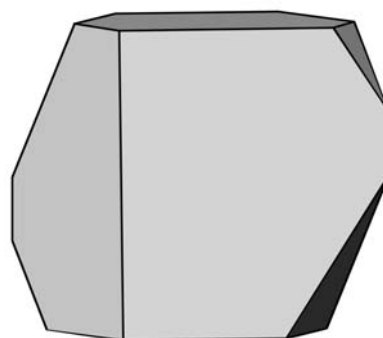
Из условия неэквивалентности координатных направлений следует, что к низшей категории могут относиться только классы, не имеющие осей высшего порядка. Иначе бы появились бы эквивалентные направления. Рассмотрим внимательнее сингонии низшей категории:

1. Триклинная сингония.

В ней не могут существовать оси выше первого порядка и плоскости. Таким образом, в этой сингонии возможны только 2 случая (два класса симметрии) – «несимметричный кристалл» с осями первого порядка и кристалл с центром отражения.



а)



б)

Рис. 3. Стереографические проекции и кристаллы триклинной сингонии
 [«Занимательная кристаллография» Н.Н. Еремин, Т.А. Еремина, 2013]

а) Проекция и типичный кристаллик класса L_1 б) Проекция и типичный кристаллик класса C

Стоит обратить внимание, что в триклинной сингонии все углы произвольные, следовательно, выход оси z будет смещен от начала координат и показан на стереографической проекции точкой (рис. 3).

Примерами кристаллов триклинной сингонии являются плагиоклазы: альбит и анортит, один из калиевых полевых шпатов - микролин, известный минерал кианит и многие другие.

2. Моноклиная сингония.

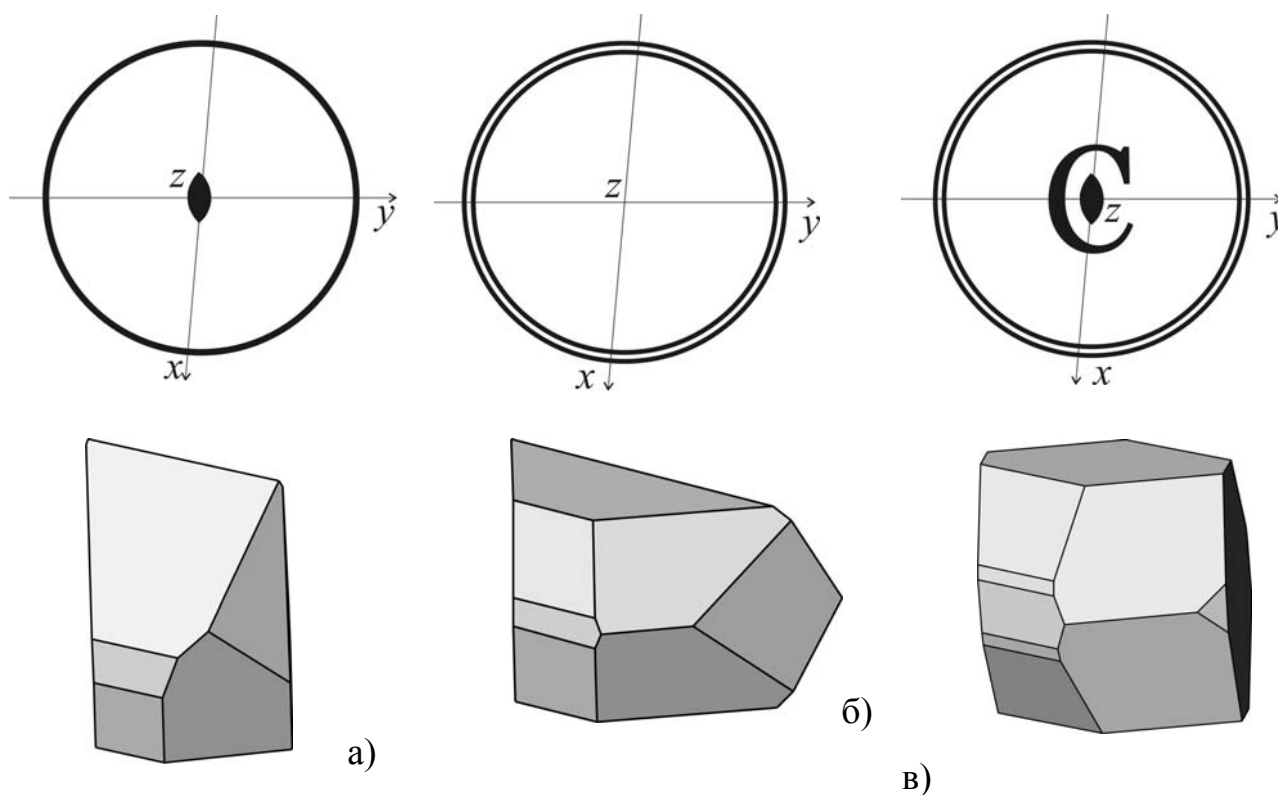


Рис. 4. Стереографические проекции и кристаллы моноклиной сингонии
 [«Занимательная кристаллография» Н.Н. Еремин, Т.А. Еремина, 2013]

а) Проекция и типичный кристаллик класса L_2 б) Проекция и типичный кристаллик класса P в) Проекция и типичный кристаллик класса L_2PC

Здесь есть возможность по одному выбранному направлению (обычно его ориентируют вертикально) иметь удваивающий элемент симметрии (ось второго порядка или нормаль к плоскости плоскость P). Это приводит к трем возможным классам моноклинной сингонии – L_2 , P и L_2PC . Угол моноклинности будет лежать в экваториальной плоскости между осями x и y, а два других угла будут прямыми. Стоит обратить внимание, что центр есть только у последнего класса.

В моноклинной сингонии кристаллизуются такие известные минералы как калиевый полевой шпат ортоклаз, пироксен диопсид, титанит (сфен), слюды – мусковит и биотит.

3. Ромбическая сингония.

В этой сингонии по всем трем взаимно перпендикулярным координатным направлениям располагаются элементы симметрии – оси второго порядка или плоскости (напомним, что плоскость фиксируется положением нормали к ней). Это приводит к трем возможным классам ромбической сингонии – $3L_2$, L_22P и $3L_23PC$. Центр также присутствует только у последнего класса.

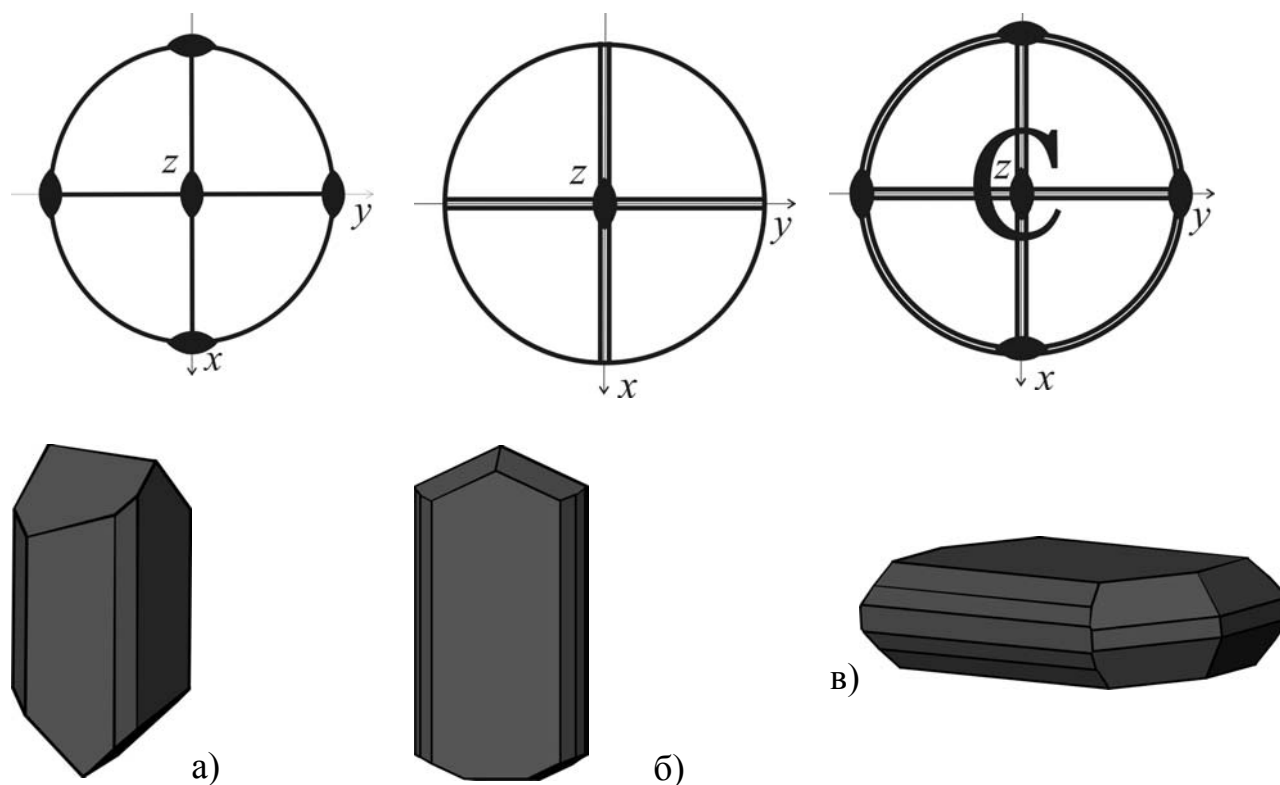


Рис. 5. Стереографические проекции и кристаллы ромбической сингонии

[«Занимательная кристаллография» Н.Н. Еремин, Т.А. Еремина, 2013]

а) Проекция и б) Проекция и в) Проекция и
типичный кристаллик типичный кристаллик типичный кристаллик
класса $3L_2$ класса L_22P класса $3L_23PC$

Так как масштабы по всем направлениям различны, то эти элементы симметрии будут неэквивалентными и полные записи этих классов по Браве будут следующие:

$L_2' L_2'' L_2'''$, $L_2 P' P''$ и $L_2' L_2'' L_2''' P' P'' P''' C$

Примерами минералов ромбической сингонии являются топаз, все разновидности оливина, кристаллы одной из модификаций серы, разновидность карбоната кальция - арагонит, сульфат барит и многие другие.

Общее представление о простых формах.

Учение о внешней форме (морфологии) кристаллов – один из разделов кристаллографии.

Огранка кристалла - это одна из важнейших характеристик кристаллического вещества. Эта характеристика помогает отличать кристаллы одного минерала от кристаллов другого. Именно при изучении внешней формы кристаллов кристаллография родилась как наука.

Внешняя форма и в наше время остается важнейшим диагностическим признаком при изучении кристаллического вещества.

В природе кристаллы одного и того же вещества могут иметь самую разную характеристику, при этом одни и грани встречаются часто, другие – реже. Огранка любого кристалла строго подчиняется его симметрии, т.е. одно из 32 точечных групп. При равномерном развитии кристаллического многогранника кристалл получает идеальную форму. Но поскольку в природе идеальных условий роста не существует, то форма реального кристалла искажается.

Совокупность (семейство) граней, связанных между собой симметрическими операциями класса симметрии есть простая форма кристалла. Стоит отметить, что грани, принадлежащие одной простой форме, равны по своим физическим свойствам. Для идеальных кристаллов они равны также и геометрически - т.е. обладают одинаковой формой и площадью поверхности.

Сколько же простых форм может быть в кристалле? Формально – сколько угодно, на практике – не больше десятка (обычно), а чаще всего меньше (рис.6).

Естественно, минимальное число простых форм равно одному, да и то лишь в том случае, если такая форма способна оконтурить собой трехмерное пространство, образовав своими гранями выпуклый многогранник. Поэтому в огранке кристалла могут участвовать грани либо одной простой формы, либо нескольких, при этом образуются *комбинационные многогранники*.

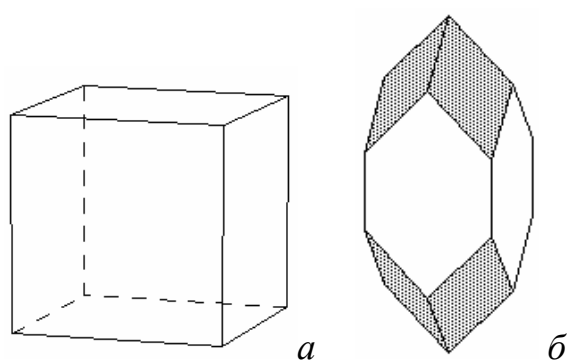


Рис. 6а – шестигранный кристалл огранен одной простой формой (кубом или гексаэдром); б – двенадцати-гранный кристалл огранен двумя простыми формами (четыре грани принадлежат одной простой форме, а восемь других – к другой).

Простые формы имеют определенные характеристики, используемые при описании.

Рассмотрим эти характеристики.

1. Форма может быть *закрытой* (рис. 6а и форма, грани которой показаны темным цветом на рисунке 6б). Это значит, что в отсутствии других форм она образует замкнутый объем. Если для первого случая это очевидно, то для второго необходимо мысленно удалить светлые грани и понять, что темные грани действительно замыкают пространство только собой. Если форма собой не замыкает пространство, то она будет *открытой*.

2. Важная характеристика простой формы – *число граней*, из которых она состоит. В кристаллах это число может варьировать от 1 до 48. Каждая простая форма имеет свое название. В основу названий положены, в основном, греческие слова.

Простые формы кристаллов низшей категории.

Рассмотрим подробнее классы низшей категории.

В классе L_1 нет размножающих элементов симметрии, следовательно, любая простая форма будет представлена одной гранью. Такая одногранная форма называется *моноэдром*. В другом классе триклинной сингонии C любая грань будет удваиваться центром инверсии, следовательно, каждая простая форма будет состоять из двух граней, параллельных друг другу. Такая простая форма носит название *пинакоид*.

В моноклинной сингонии ситуация осложняется тем, что грань может располагаться по разному, относительно удваивающих элементов симметрии: параллельно элементу симметрии, перпендикулярно, либо произвольно (наклонно).

В классе L_2 в позиции 1 будет находиться уже известный нам моноэдр, а в классах P и L_2PC он превратится в пинакоид. Пинакоид также будет находиться в позиции 2 в классах L_2 и L_2PC , тогда как в классе P , наоборот, в этой позиции будет находиться моноэдр. В наклонном положении 3 в классах L_2 и P появляются новые открытые формы, которые называются *диэдры*. И, наконец, в классе L_2PC в позиции 3 поселилась еще одна новая открытая простая форма – *ромбическая призма*. Такое название связано с тем, что сечение этой призмы представляет собой ромб.

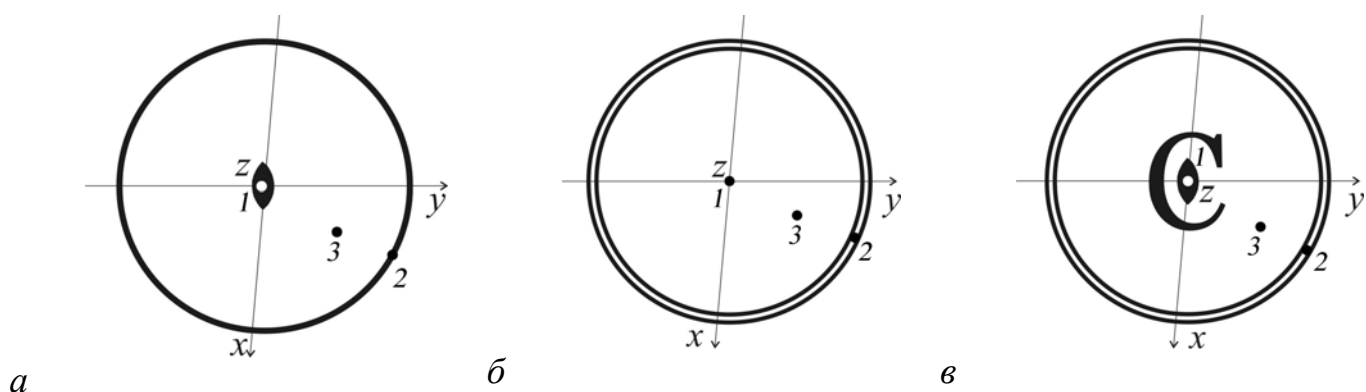


Рис.7 . Принципиально различные положения простых форм в классах моноклинной сингонии: *a* - три позиции в классе L_2 ; *б* – в классе P ; *в* – в классе L_2PC .

1 – грань перпендикулярна элементу симметрии, *2* – параллельна, *3* – наклонена по отношению к элементу симметрии

Рассмотрим три класса ромбической сингонии (рис). В классе $3L_2$ две позиции оккупируют уже известные нам формы – пинакоид (1) и ромбическая призма (2), а третья форма (3) - новая. Перед нами новая четырехгранная закрытая форма, которая называется **ромбический тетраэдр** (отметим, что 4 грани – это минимальное число, способное закрыть пространство). Грань такого тетраэдра будет представлять собой неправильный треугольник.

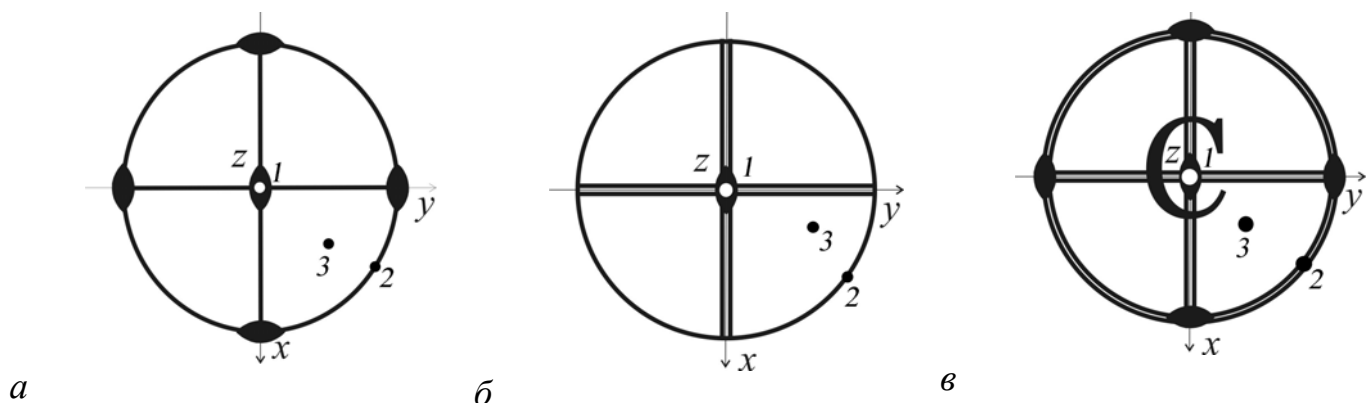


Рис. 8. Принципиально различные положения простых форм в классах ромбической сингонии: *a* - три позиции в классе $3L_2$; *б* – в классе L_22P ; *в* – в классе $3L_23PC$.


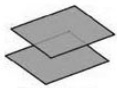
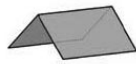
l – грань перпендикулярна элементу симметрии, 2 – параллельна, 3 – наклонена по отношению к элементу симметрии



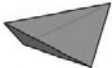

В классе L_22P первые две позиции также уже знакомы – это моноэдр (1) и ромбическая призма (2). В наклонном положении относительно элементов симметрии будет располагаться новая открытая форма – **ромбическая пирамида**. Название связано также с тем обстоятельством, что если ее расsects горизонтальной плоскостью, то мы увидим ромб. В этом классе появится ещё одна позиция – наклонная по отношению к оси второго порядка, но не в общей позиции, а перпендикулярная плоскости P (4). Эту позицию занимает диэдр, вращающийся на экваторе в пинакоид.

И, наконец, рассмотрим класс $3L_23PC$. Первые две позиции аналогичны классу $3L_2$ – их заселяют пинакоид и ромбическая призма. В наклонном положении появляется новая восьмигранная закрытая простая форма – **ромбическая бипирамида**.

В таблице 2 приведены характеристики всех простых форм низшей категории.

Таблица 2. Простые формы низшей категории

Название формы	Изображение	Число граней	Закрытая или открытая	В каких классах встречается
моноэдр		1	Открытая	L_1, L_2, P, L_22P
пинакоид		2	Открытая	$C, P, L_2, L_2PC, 3L_2, 3L_23PC$
диэдр		2	Открытая	P, L_2, L_22P

ромбическая призма		4	Открытая	$L_2PC, 3L_2,$ $L_22P, 3L_23PC$
ромбическая пирамида		4	Открытая	L_22P
ромбический тетраэдр		4	Закрытая	$3L_2$
ромбическая бипирамида		8	Закрытая	$3L_23PC$

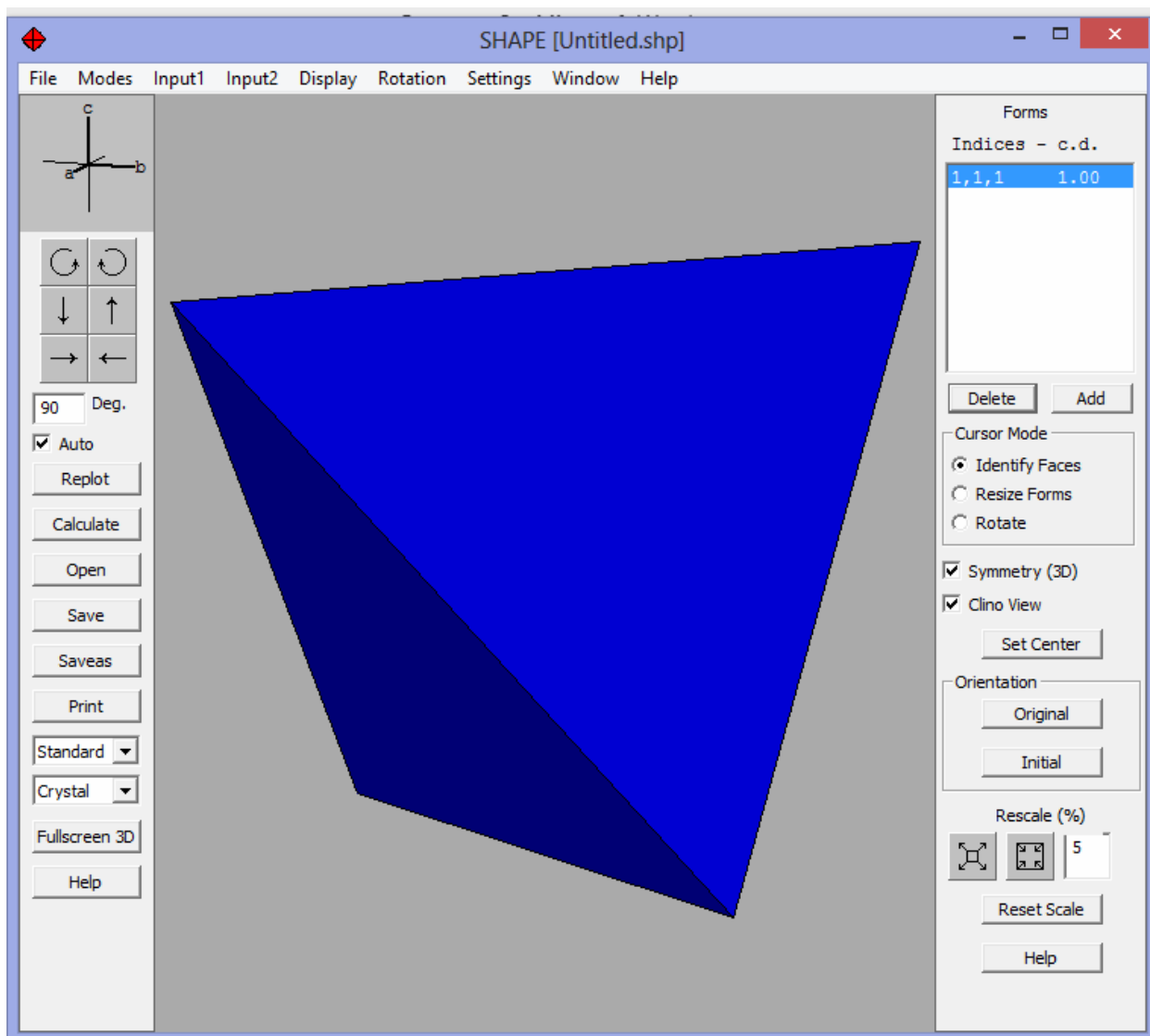
Практическая часть. Создание интерактивного учебного пособия.

Практическая часть.

План осуществления практической части нашей работы был следующий:

- 1) Создать кадры вращения каждой простой формы
- 2) Соединив все картинки в программе Animation, получить анимацию для каждой простой формы.
- 3) Создание функционального Интернет-ресурса на сервере кафедры кристаллографии.

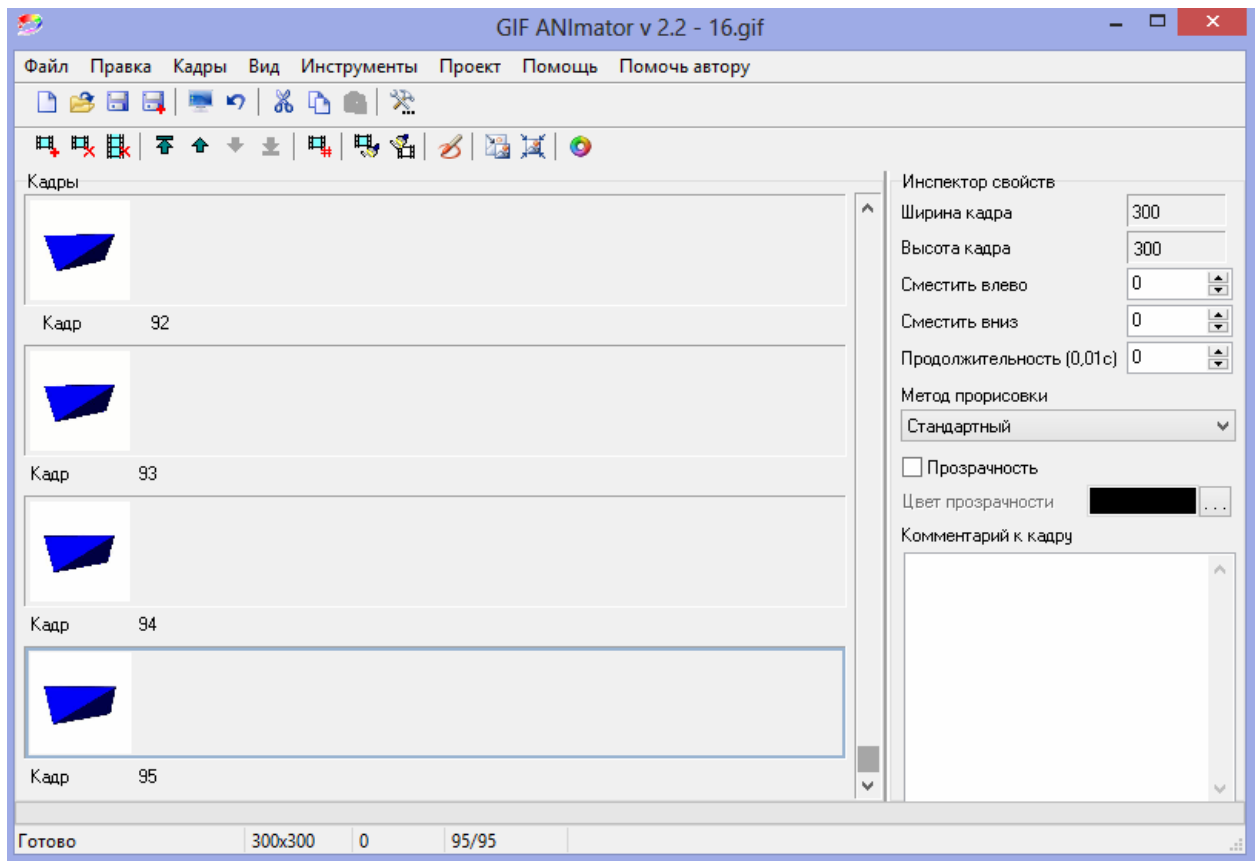
Мой научный руководитель посоветовал программу для рисования простых форм кристаллов – “SHAPE72”.



Используя знания и навыки работы методом развития зон, и определения символов простых форм кристаллов я кадр за кадром превращала и вращала простые формы всех 7 классов.

Но, несмотря на уникальность данной программы, у нее есть один минус – с ее помощью нельзя сохранить кадры в широкоизвестных форматах. Для перевода кадров из формата .wmf в формат .jpg я использовала графический редактор CorelDRAWX4.

Анимационные рисунки были созданы с помощью программы «GIF Animator».



Далее с помощью программы Arachnophilia был создан код для html-страницы, для удобства просмотра анимации.

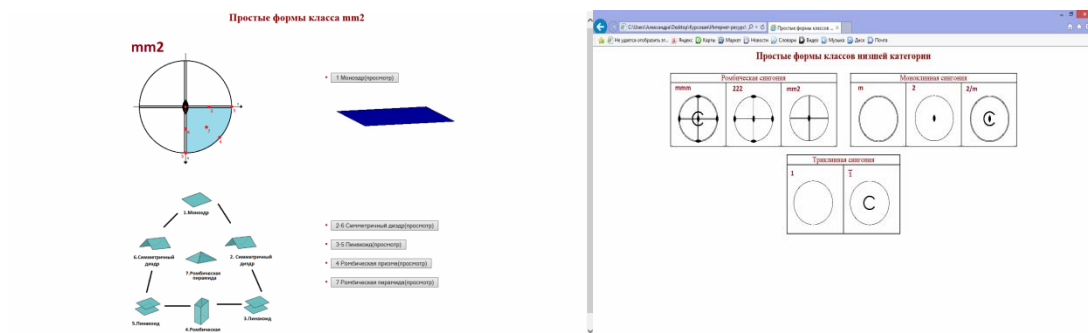


Рис.9. Вид ресурса. Первая – Страница класса. Второе – главное меню.

Заключительная часть.

В ходе работы были достигнуты поставленные цели:

- 1.Создание анимации для простых форм классов низшей категории.
- 2.Создан удобный для использования ресурс.

Благодаря курсовой работе я научилась работать в программе “SHAPE72”, «GIF Animation», CorelDRAWX4 и Arachnophilia.

Было создано учебное пособие, включающее в себя анимированные простые формы классов низшей категории с целью дальнейшего использования в интерактивном сопровождении курса «Кристаллография»

Список литературы.

- 1) «Кристаллография и кристаллохимия» учебник. Ю.К.Егоров-Тисменко; под редакцией академика В.С.Урусова. – 2-е издание. Москва «КДУ», 2010
- 2) «Основы работы с CorelDRAW X3» С.В. Царик, Интернет Университет (INTUIT.RU)
- 3) «Занимательная кристаллография» учебник. Н. Н. Еремин, Т. А. Еремина – Москва МЦНМО 2013
- 4) «Web-дизайн и язык HTML» учебное пособие. Прокопенко О.Р. Москва 2007