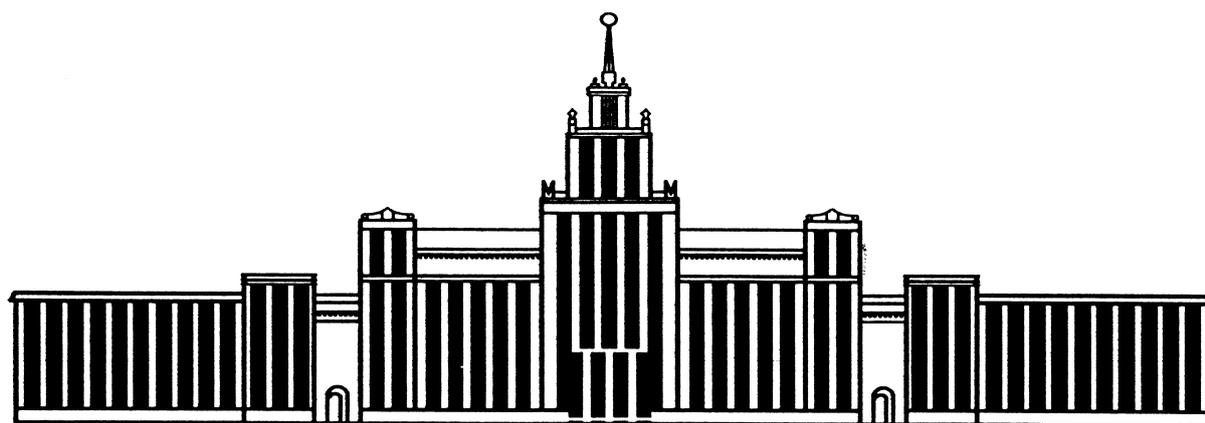

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ



ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

548(07)
М15

КРИСТАЛЛОГРАФИЯ

Методические указания по выполнению
лабораторных работ

Челябинск
2014

Министерство образования и науки Российской Федерации
Южно-Уральский государственный университет
Филиал в г. Миассе
Кафедра минералогии и геохимии

548(07)
М15

КРИСТАЛЛОГРАФИЯ

Методические указания по выполнению
лабораторных работ

Челябинск
Издательский центр ЮУрГУ
2014

УДК 548(076.5)
М15

*Одобрено
учебно-методической комиссией
геологического факультета филиала ЮУрГУ в г. Миассе*

*Рецензент
И.В. Сняковская*

Кристаллография: методические указания по выполнению лабораторных работ / сост. Е.П. Макагонов. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2014. – 54 с.

В методических указаниях даются рекомендации по выполнению лабораторных работ при освоении дисциплины «Кристаллография». Пособие знакомит студента с доступными приемами гониометрического измерения кристаллов, с порядком проведения расчетов и обработки результатов измерений кристаллов с помощью стереографических проекций, примеры оформления отчетов.

Рекомендуется для работы со студентами технических вузов, осуществляющих подготовку бакалавров по направлениям «Геология», «Материаловедение», «Металлургия», «Строительство» и «Химия».

УДК 548(076.5)

© Издательский центр ЮУрГУ, 2014

ВВЕДЕНИЕ

Целью лабораторных работ является овладение методиками гониометрических измерений кристаллов и обработки результатов измерений, получение навыков описания симметрии и форм кристаллов, развитие пространственного воображения.

Форма кристаллов служит важным диагностическим признаком, позволяющим определять минералы при геологических исследованиях. Физические свойства кристаллов отличаются в различных кристаллографических направлениях, поэтому внешняя форма дает возможность правильно выбрать схемы обработки кристаллосырья при изготовлении оптических препаратов, ювелирных изделий и для других технических целей.

Неоднородное строение кристаллов часто связано с секториальным распределением химических примесей, обусловленных физическим различием простых форм кристаллов для одного и того же вещества. Значительное влияние на форму оказывают состав среды и условия кристаллизации (влияние силы тяжести, направленность потоков питающего вещества, температуры и давления), что дает возможность реконструировать эволюцию кристаллообразующих сред и делать генетические выводы.

Для решения задач прикладной и теоретической минералогии широко используется графическое представление результатов измерения кристаллов – наиболее информативный способ характеристики габитуса кристаллов, их взаимоотношений в агрегатах.

При построении проекций кристаллов обычно применяется специальная стереографическая сетка, предложенная русским ученым Г.В. Вульфом. С помощью этой сетки достигается необходимая точность при решении большинства задач геометрической кристаллографии. Для проведения более высокоточных работ рекомендуется использовать специализированную программу Shape for Windows.

При составлении методических указаний учтены основные учебники и учебные пособия по геометрической кристаллографии.

Рекомендуется для работы со студентами технических вузов, осуществляющих подготовку бакалавров по направлениям «Геология», «Материаловедение», «Металлургия», «Строительство» и «Химия».

Лабораторная работа 1 РЕАЛЬНЫЕ КРИСТАЛЛЫ

Цель работы: ознакомление с реальными кристаллами минералов. Проверка их на соответствие основному закону кристаллографии (закону Н. Стенона: форма и размеры граней для одного и того же вещества могут быть различны, но углы между соответственными гранями постоянны).

Исходный материал: коллекция реальных кристаллов.

Решаемая задача: получение первых навыков описания кристаллов, обучение измерению углов между гранями с помощью прикладного гониометра.

Лабораторное обеспечение: коллекция реальных кристаллов, бинокулярный микроскоп, прикладные гониометры, транспортиры, линейки, справочная литература.

Порядок выполнения работы:

1. Нарисовать кристалл.

2. Произвести описание кристалла по схеме:

- название (по каталогу коллекции);
- химическая формула (по справочным данным);
- облик кристалла (призматический, таблитчатый, изометричный и т.п.);
- качество граней (для просмотра используется бинокулярный микроскоп);
- простейшие физические свойства – определяются визуально (цвет, блеск, прозрачность, спайность).

3. Произвести измерение углов между гранями прикладным гониометром.

Перед измерением на рисунке пронумеровать грани. При измерении необходимо следить, чтобы щечки гониометра плотно прилегали к измеряемым граням и располагались перпендикулярно ребру между гранями. Измерение между каждыми двумя гранями произвести не менее трех раз. Результаты занести в таблицу (табл. 1).

Таблица 1

№ п/п	Измеряемые грани		Результаты замеров углов между гранями, градусы			
	1	2	1-й замер	2-й замер	3-й замер	Среднее

Форма представления результатов: в письменном виде с устным отчетом.

Лабораторная работа 2

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ СИММЕТРИИ КРИСТАЛЛОВ

Цель работы: освоение методики определения элементов симметрии, сингонии и категории кристаллов.

Исходный материал: наборы моделей кристаллов.

Решаемая задача: научиться определять симметрию кристаллов и описывать ее, используя понятия об элементах симметрии. Составление формулы симметрии, определение сингонии и категории кристалла.

Лабораторное обеспечение: наборы моделей кристаллов низшей, средней и высшей категории, демонстрационные модели кристаллов, таблицы 32-х видов симметрии кристаллов.

Порядок выполнения работы:

1. Поочередно для каждой модели кристалла определить и записать в рабочую тетрадь обнаруженные элементы симметрии. При определении элементов симметрии учитывается, что плоскость симметрии делит фигуру на две зеркально равные части. Поворот вокруг оси симметрии позволяет совмещать фигуру саму с собой. При наличии центра симметрии для каждой грани (без исключений) должна быть параллельная и равная ей грань (с учетом противоположного расположения ребер). Для этого кристалл кладется на стол избранной гранью и определяется наличие сверху параллельной грани того же типа.

2. Составить формулу симметрии в соответствии с правилами. При подсчете количества элементов симметрии модель не вращают, чтобы избежать повторного подсчета некоторых элементов симметрии. Найденная формула должна соответствовать одному из видов симметрии (приложение 1).

3. Определить сингонию и категорию кристалла.

4. Представить результаты проделанной работы.

Форма представления результатов: в письменном виде с устным отчетом и демонстрацией расположения найденных элементов симметрии.

Лабораторная работа 3

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОСТЫХ ФОРМ КРИСТАЛЛОВ

Цель работы: освоение методики определения простых форм кристаллов и их комбинаций.

Исходный материал: наборы моделей кристаллов.

Решаемая задача: определение симметрии кристалла, определение количества и типов простых форм на моделях кристаллов.

Лабораторное обеспечение: наборы моделей наиболее распространенных простых форм и наиболее распространенных форм кристаллов, демонстрационные модели, таблицы 32-х видов симметрии, рисунки наиболее распространенных простых форм кристаллов.

Порядок выполнения работы:

1. Для каждой модели определить и записать в рабочую тетрадь формулу симметрии, сингонию и категорию кристалла (используя таблицу 32-х видов симметрии, приложение 1).

2. На модели кристалла определить количество сортов граней (по размеру и виду). Необходимо учитывать, что грани одного сорта относятся к одной простой форме, *если они связаны элементами симметрии*. Правильность определения простых форм и их название устанавливается сравнением со справочными изображениями простых форм (приложение 2, 3) или демонстрационными моделями простых форм.

Если сортов граней несколько, то для восстановления простых форм кристаллов мысленно продолжают грани одного вида до пересечения друг с другом.

3. Занести результаты в таблицу с графами: № модели, Категория, Сингония, Вид симметрии, Суммарное количество простых форм, Название простых форм и их количество (табл. 2).

Таблица 2

Пример заполнения таблицы

№ модели	Категория	Сингония	Вид симметрии	Суммарное количество простых форм	Название простых форм и их количество
1	низшая	моноклинная	L_2PC	3	пинакоид –1, ромбическая призма -2
2	высшая	кубическая	$3L_44L_36L_29PC$	3	гексаэдр (куб) – 1, октаэдр –1, ромбододекаэдр – 1

Форма представления результатов: в письменном виде с устным отчетом и демонстрацией на моделях кристаллов расположения найденных элементов симметрии и простых форм.

Лабораторная работа 4 СТЕРЕОГРАФИЧЕСКИЕ ПРОЕКЦИИ

Цель работы: приобретение навыков по обработке результатов гониометрических исследований для решения кристаллографических задач.

Исходный материал: комплект задач решаемых при использовании сетки Вульфа.

Решаемая задача: освоение методов работы со стереографическими и гномостереографическими проекциями элементов кристалла.

Лабораторное обеспечение: прибор для демонстрации методов решения задач, сетки Вульфа, калька.

Порядок выполнения работы:

1. Ознакомиться с принципами построения сетки Вульфа (приложение 4).

2. Подготовить на кальке основу для решения задач. Сетку Вульфа расположить так, чтобы ее экватор был горизонтален. На сетку кладут кальку. На кальке крестиком отмечают центр проекции, а горизонтальной черточкой на правом конце экватора сетки — нулевую точку. По этим двум отметкам всегда можно привести чертеж в исходное положение.

Вся работа выполняется на кальке. Не допускаются никакие отметки на самой сетке. Все построения производятся при помощи концентрических вращений чертежа вокруг его центра. При поворотах чертежа ось поворота нельзя фиксировать иглой: от этого не только портится сетка, но и делается менее отчетливым центр чертежа, что очень существенно сказывается на точности решения задач.

Угловые расстояния между точками измеряются по меридианам и по горизонтальному и вертикальному диаметрам сетки. Положение любой точки на сетке Вульфа определяется ее сферическими координатами φ и ρ . За нулевую отметку сферической координаты φ принимается риска, отмеченная с правой стороны чертежа. Градусы угла φ отсчитываются от места нуля по внешнему кругу проекций по часовой стрелке. За нулевую отметку сферической координаты ρ принимается центр проекции. Градусы ρ отсчитываются по радиусам от центра проекции к ее краям.

3. Освоение методов решения задач с использованием сетки Вульфа (даны ниже).

Форма представления результатов: чертежи на кальке, письменные ответы.

Задачи на построение проекций элементов кристаллов с применением сетки Вульфа

Задача 1. Построить стереографические проекции точек с координатами: А ($\varphi = 30^\circ$, $\rho = 40^\circ$), В ($\varphi = 163^\circ$, $\rho = 67^\circ$).

Решение: для нахождения точки А отсчитывают заданный угол $\varphi = 30^\circ$ от черточки с $\varphi_0 = 0^\circ$ по внешнему кругу проекций по часовой стрелке и делают отметку на круге (рис. 1). Затем поворачивают кальку так, чтобы найденная точка попала на окончание одного из диаметров сетки (при вращении необходимо следить, чтобы центр кальки совпадал с центром сетки). Далее по данному диаметру от центра сетки отсчитывают ρ и ставят точку А. Возвращают кальку в исходное положение. В том же порядке производится построение стереографической проекции точки В.

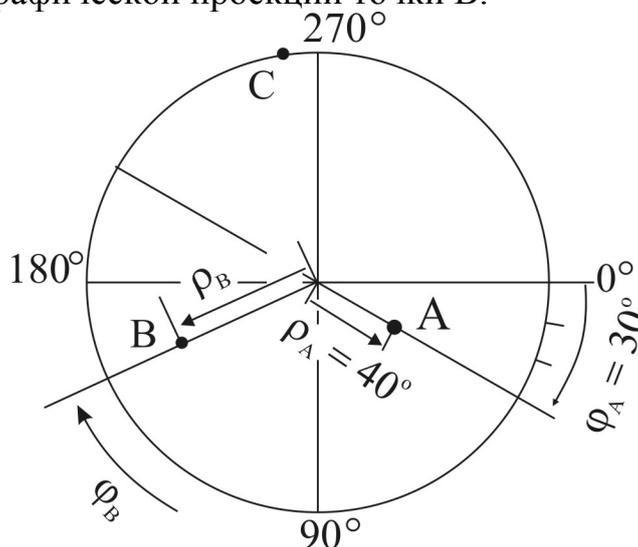


Рис. 1. Стереографическая проекция точек А и В

Задача 2. Построить стереографическую проекцию точки С ($\varphi = 262^\circ$ и $\rho = 90^\circ$).

Решение: точка С находится на внешнем круге проекции с координатой $\varphi = 262^\circ$ (см. рис. 1).

Задача 3 (обратная). Определить сферические координаты заданной точки на стереографической проекции. Точка наносится ассистентом.

Решение: вращают кальку так, чтобы заданная точка попала на один из диаметров сетки, и отсчитывают угол ρ по диаметру от центра проекции. На конце этого диаметра делают отметку. Отсчитывают φ по основному кругу от $\varphi_0 = 0^\circ$ до найденной отметки.

Задача 4. Построить стереографическую проекцию точки D', заданной координатами $\varphi = 300^\circ$, и $\rho = 100^\circ$.

Решение: отсчитывают заданный угол $\varphi = 300^\circ$ от отметки $\varphi_0 = 0^\circ$ по основному кругу проекций по часовой стрелке и наносят черточку на круге (рис. 2).

Далее поворачивают кальку так, чтобы отмеченная черточка попала на окончание одного из диаметров сетки (при вращении необходимо следить, чтобы центр кальки совпадал с центром сетки). От центра проекции до края

90°, поэтому остальные 10° отсчитывают в обратную сторону: от конца диаметра к центру проекции. Такую точку, находящуюся как бы под плоскостью чертежа (на обратной стороне проекции сферы), обозначают крестиком.

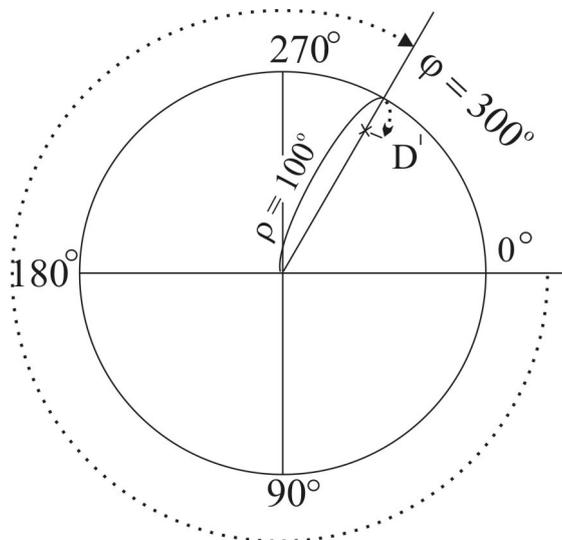


Рис. 2. Построение точки D' на стереографической проекции

Задача 5. Построить точку D , диаметрально противоположную D' . Определить ее сферические координаты.

Решение: точку D' совмещают с одним из диаметров сетки и отсчитывают с помощью сетки по этому диаметру 180°. Диаметрально противоположные точки находятся на разных половинах сферы и располагаются симметрично относительно центра сферы (рис. 3). Определяют сферические координаты точки D ($\varphi = 120^\circ$, и $\rho = 80^\circ$).

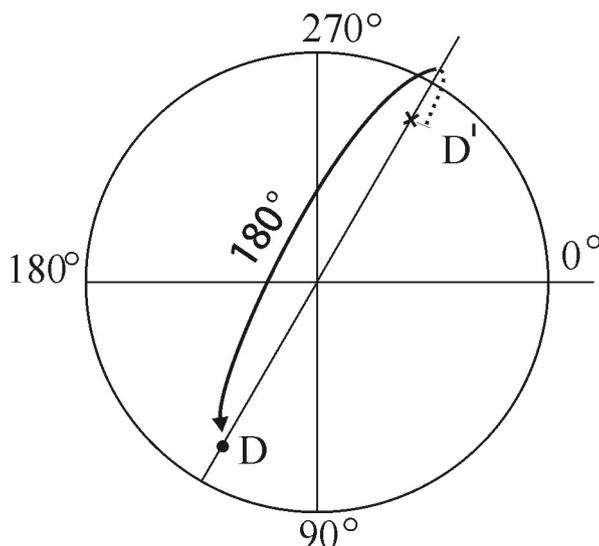


Рис. 3. Построение точки D диаметрально противоположной точке D'

Задача 6. Через заданные точки A , C , B провести дуги больших кругов AC и AB . Координаты точек приведены в задачах № 1-2.

Решение: вращая кальку, совмещают точку С с верхним полюсом сетки Вульфа. От полюса через точку А проводят дугу по меридиану. Этот меридиан и является искомой дугой большого круга АС (рис. 4).

Далее, вращая кальку, приводят на один меридиан точки А и В. Этот меридиан и является искомой дугой большого круга АВ.

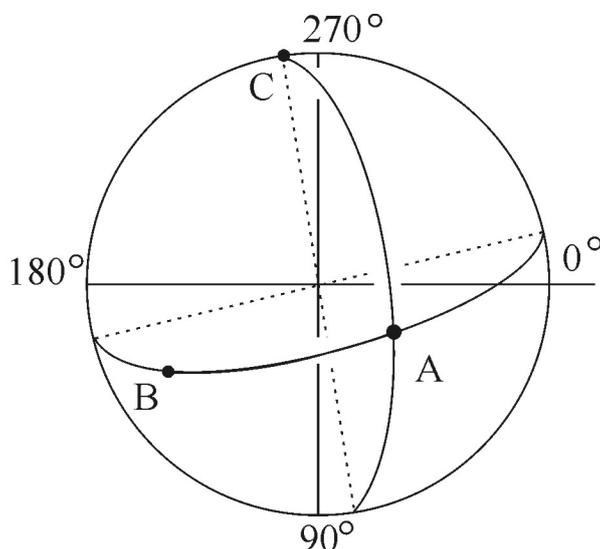


Рис. 4. Построение дуг больших кругов, проходящих через точки А–С и А–В

Задача 7. Измерить угловое расстояние между точками А и С и между точками А и В.

Решение: угловые расстояния на сфере измеряются по дугам больших кругов, т. е. на сетке Вульфа по меридианам или по диаметрам. Точка С находится на внешнем круге проекций. Вращая кальку совмещают точку С с точкой пересечения всех меридианов (на вершине сетки). Производят отсчет по меридиану, проходящему через точки С и А.

Для определения углового расстояния между точками А и В вращая кальку приводят точки А и В на один меридиан и отсчитывают по нему угол АВ ($\angle AC = 113^\circ$, $\angle AB = 96^\circ$).

Задача 8. Через две заданные точки А и D' провести дугу большого круга.

Решение: точки А и D' (крестик) находятся на разных полусферах. Поворачивают кальку так, чтобы обе точки попали на меридианы, которые расположены симметрично относительно центра сетки. Часть дуги, проходящую по нижней полусфере, прочерчивают пунктиром, а по верхней полусфере — сплошной чертой (рис. 5).

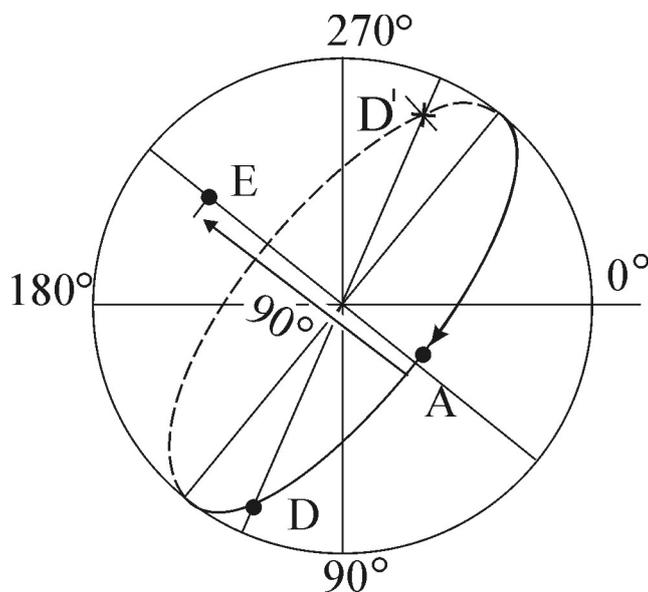


Рис. 5. Построение дуги большого круга через точки A и D'

Задача 9. Измерить угловое расстояние между двумя заданными точками A и D'.

Решение: точки лежат в разных полушарах (точка A и крестик D' на рис. 5). Поворачивают кальку так, чтобы обе точки попали на меридианы, симметричные относительно центра сетки. Отсчитывают угол сначала по одному меридиану от точки A до края проекции, и, далее, продолжают отсчет от этого края проекции до точки D'. $\angle AD' = 98^\circ$.

Задача 10. Найти полюс дуги большого круга, соединяющего точки A и B.

Решение: полюсом дуги служит точка, отстоящая от всех точек дуги на 90° . Совмещают дугу с одним из меридианов. От точки пересечения этой дуги с экватором отсчитывают 90° в сторону центра проекции. Найденная точка отсчета и есть полюс P_{AB} (рис. 6).

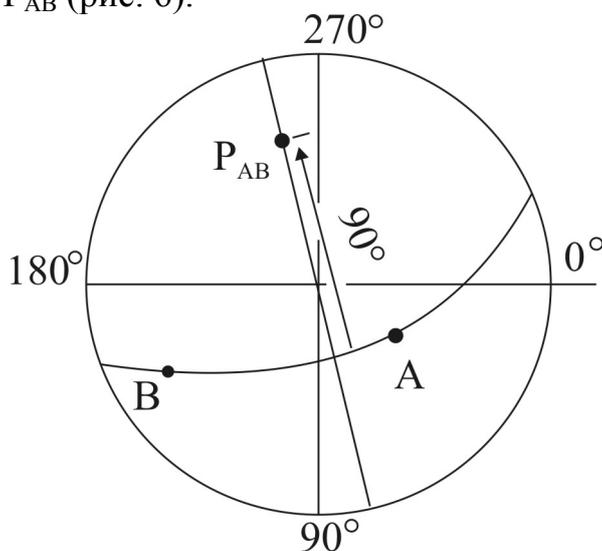


Рис. 6. Определение положения полюса дуги AB

Задача 11 (обратная). По заданным полюсам граней найти их стереографические проекции (дуги больших кругов). Полюса находятся в точках А ($\varphi = 30^\circ$, $\rho = 40^\circ$) и В ($\varphi = 163^\circ$, $\rho = 67^\circ$).

Решение: вращая кальку, выводят точку А на экватор сетки. Отсчитывают по экватору 90° в направлении центра сетки и отмечают меридиан, проходящий через точку отсчета. Этот меридиан и является искомым (рис. 7). Так же находят стереографическую проекцию грани В.

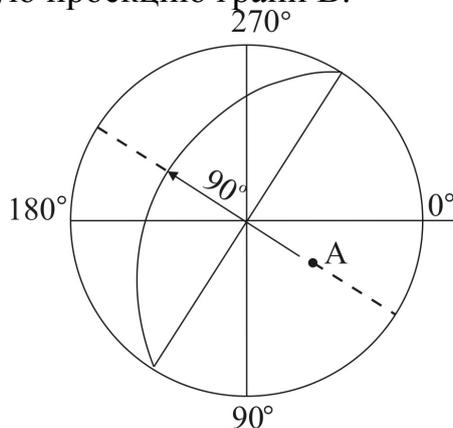


Рис. 7. Нахождение дуги большого круга по полюсу в точке А

Задача 12. Найти угол между двумя стереографическими проекциями граней А и В.

Решение: точку пересечения двух дуг (стереографических проекций граней А и В) выводят на горизонтальный диаметр сетки Вульфа. От этой точки отсчитывают по диаметру 90° и на нем делают отметку. Через эту отметку по меридиану проводят дугу (рис. 8). Далее производят отсчет между двумя первыми дугами – стереографическими проекциями граней А и В. $\angle AB = 84^\circ$.

Проверка: искомый угол между гранями равен дополнению до угла между полюсами двух дуг больших кругов, т.е. если расстояние между полюсами к граням А и В равно 96° (см. задачу №7), то угол между гранями равен $(180^\circ - 96^\circ) = 84^\circ$.

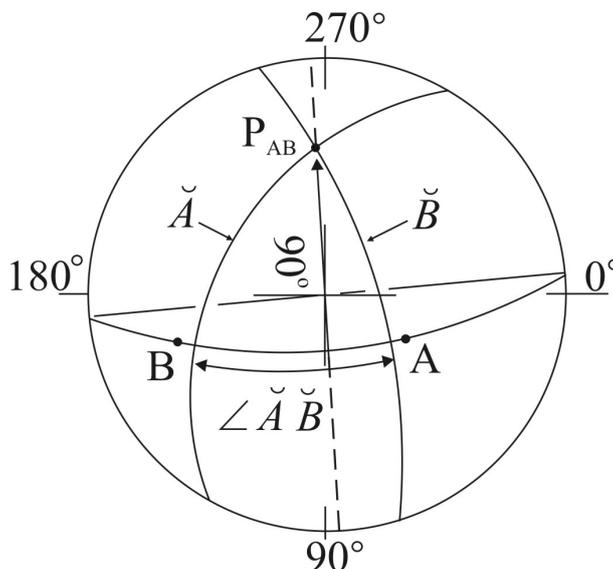


Рис. 8. Угол между стереографическими проекциями граней А и В

Задача 13. Построить зону и найти ось зоны граней по их гномостереографическим проекциям: А ($\varphi = 30^\circ$, $\rho = 40^\circ$) и D ($\varphi = 120^\circ$, $\rho = 80^\circ$).

Решение: полюса граней (гномостереографические проекции граней), принадлежащих к одной зоне, находятся на одной дуге большого круга. Вращают кальку так, чтобы точки проекций попали на один меридиан. От точки пересечения этого меридиана с экватором отсчитывают 90° по направлению к центру проекции. Полученная точка Е на экваторе есть проекция оси зоны (см. рис. 5).

Задача 14. Построить малый круг со сферическим радиусом $R = 30^\circ$ и центром Z с координатами $\varphi = 30^\circ$, $\rho = 0^\circ$.

Решение: при $\rho = 0^\circ$ центр окружности совпадает с центром проекции. По вертикальной линии от центра в обе стороны отсчитывают по 30° и ставят первые две точки (точки 1, 2 на рис. 9). Также отсчитывают по 30° в обе стороны от центра проекции по горизонтальной линии, отмечая следующие две точки (точки 3, 4 на рис. 9). Повернув кальку на несколько градусов вокруг центра, снова находят положение следующих четырех точек. Продолжая эти операции, получают совокупность точек, расположенных вокруг центра Z на окружности.

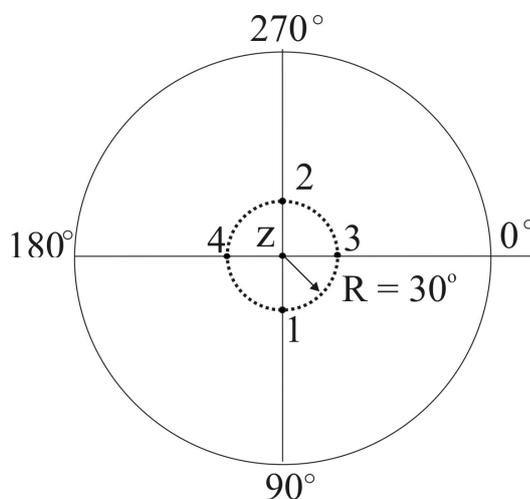


Рис. 9. Построение проекции малого круга с центром в точке Z ($\rho = 0^\circ$)

Задача 15. Построить окружность с радиусом 50° и центром в точке H с координатами $\varphi = 30^\circ$, $\rho = 40^\circ$.

Решение: по сферическим координатам наносят на проекцию точку H . Совмещают точку с горизонтальным диаметром проекции. От точки H отсчитывают по 50° в обе стороны и ставят две точки. По меридиану, проходящему через точку H , вверх и вниз отсчитывают также по 50° и ставят следующие две точки (точки 1–2 и 3–4 на рис. 10а).

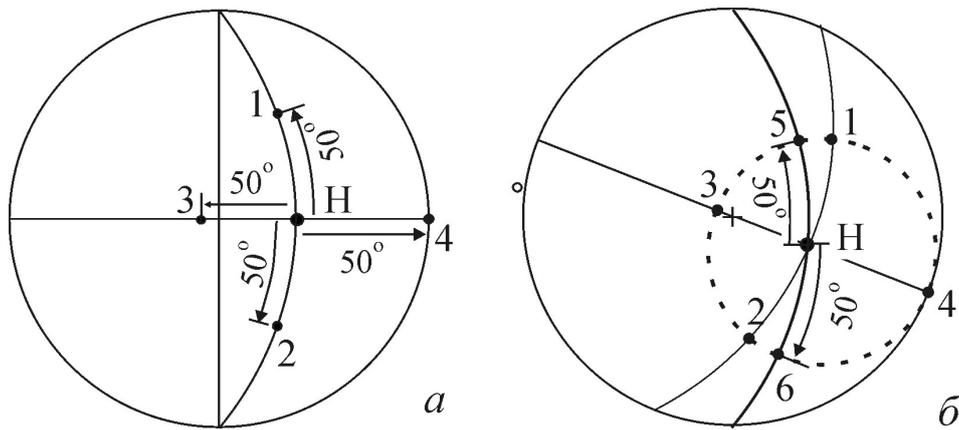


Рис. 10. Последовательность построения точек окружности на стереографической проекции верхней полусферы: а – нанесение точек 1–4, б – нанесение точек 5–6

Затем поворачивают кальку так, чтобы точка Н, совместилась с какой-либо параллелью сетки Вульфа. По меридиану, проходящему через точку Н, вверх и вниз отсчитывают опять 50° и ставят следующие две точки (точки 5 и 6 на рис. 10б).

Далее поворачивают кальку так, чтобы точка Н совмещалась с другими параллелями и по меридианам, проходящим через точку Н, вверх и вниз отсчитывают по 50° . В итоге получают совокупность точек, расположенных на окружности.

Задача 16. Построить окружность с радиусом 50° и центром в точке G с координатами $\varphi = 120^\circ$, $\rho = 90^\circ$.

Решение: точка G будет располагаться на внешнем круге проекции. Отсчитав угол $\varphi = 120^\circ$, ставят точку G. Совмещают эту точку с вертикальным диаметром проекции. От этой точки отсчитывают по любому меридиану 50° и проводят параллель. Таким образом, вычерчивается часть малого круга, которая находится на верхней полусфере (рис. 11). Остальная часть круга, располагается на нижней полусфере. Проекция круга на нижней и верхней полусферах совпадают.

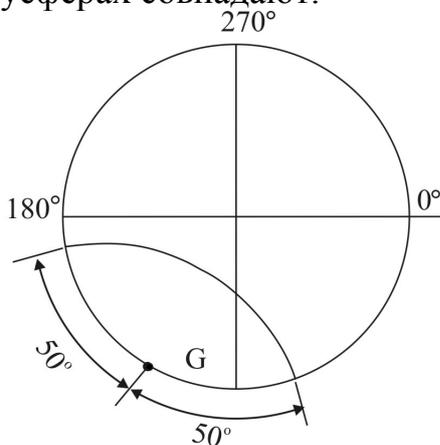


Рис. 11. Стереографическая проекция окружности с центром на внешнем круге проекций

Задача 17. Построить окружность с радиусом 50° и центром в точке F с координатами $\varphi = 220^\circ$, $\rho = 70^\circ$.

Решение: по сферическим координатам наносят на проекцию точку F. Поворотом кальки выводят эту точку на горизонтальный диаметр. От точки F отсчитывают по горизонтальному диаметру 50° и ставят точку (точка 1 на рис. 12а). По этому же диаметру отсчитывают градусы в обратную сторону от точки F до края проекции и, далее, к центру – 50° . Ставят крестик (точка 2 на нижней полусфере на рис. 12а). По меридиану, проходящему через точку F, расставляют точки, находящиеся в 50° от F (точки 3 и 4 на рис. 12б).

Далее поворачивают кальку в ту или иную сторону на несколько градусов. По меридианам, проходящим через точку F, вверх и вниз расставляют точки, находящиеся в 50° от F. Если расстояние от F до края проекции меньше 50° градусов, то отсчитывают сферические градусы до края круга, а затем продолжают отсчеты по меридиану, который расположен симметрично первому. Ставят крестик.

Поворачивая кальку, повторяют построения. Затем соединяют точки сплошной линией, а крестики – пунктирной линией. На краю проекции эти линии должны совпасть. Сплошная линия показывает часть круга, расположенного на верхней полусфере, а пунктирная линия показывает часть круга, расположенного на нижней полусфере (рис. 12в).

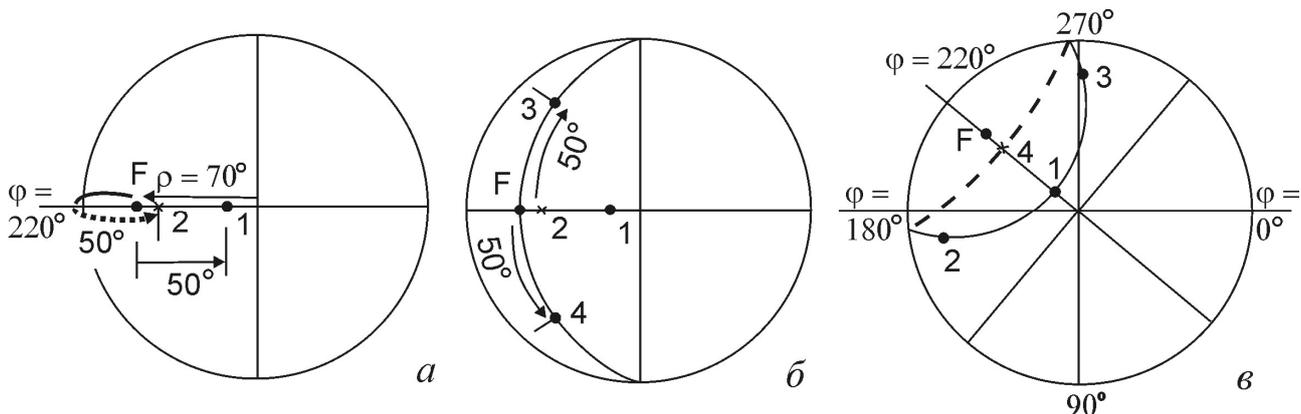


Рис. 12. Последовательность построения точек окружности на краю стереографической проекции: а – нанесение точек 1 и 2 на горизонтальном диаметре, б – нанесение точек 3 и 4 на меридиане, проходящем через точку F, в – окончательный вид проекции малого круга

Задача 18. Совместить путем поворота две точки А ($\varphi = 30^\circ$, $\rho = 40^\circ$) и В ($\varphi = 163^\circ$ и $\rho = 67^\circ$).

Решение: Кальку с нанесенными точками А и В поворачивают так, чтобы они попали на одну параллель сетки Вульфа. Угол поворота равен углу между точками, измеренному по параллели. Ось поворота является вертикальный диаметр. Точки совместятся продвижением одной из них до другой по параллели.

Лабораторная работа 5 ГРАФИЧЕСКОЕ ВЫЧИСЛЕНИЕ КРИСТАЛЛОВ

Цель работы: освоение методики расчетов символов граней кристаллов и относительных параметров решетки кристаллов.

Исходный материал: чертежи кристаллов.

Решаемая задача: требуется определить символы граней и параметры кристаллов.

Лабораторное обеспечение: плакаты с чертежами проекций кристаллов, прибор для демонстрации построения стереографических проекций, калька, сетки Вульфа.

Порядок выполнения работы:

1. По чертежу определяется симметрия кристалла.
2. Определяются названия простых форм (приложение 2–3).
3. Производится построение гномостереографических проекций граней по данным гониометрических замеров, используя навыки, полученные при проведении лабораторной работы № 4. Положение других граней определяется с учетом элементов симметрии (приложение 5). Расположение некоторых граней определяется по их принадлежности к пересекающимся поясам (зонам) граней. Следует учесть, что все грани одного пояса пересекаются по параллельным ребрам. Полюса всех граней пояса находятся в одной плоскости, т. е. на чертеже – на одной дуге большого круга. Каждая грань принадлежит двум и более поясам. Учитывая это, находят положение граней в точках пересечения поясов (приложение 6).

4. Определяется положение осей координат с учетом правил установки кристаллов.

5. Выбирается единичная грань (111), расположенная косо по отношению к осям координат.

6. Делаются замеры углов между полюсами граней и осями координат ρ_X , ρ_Y , ρ_Z . Рассчитываются косинусы этих углов $\cos \rho_X$, $\cos \rho_Y$, $\cos \rho_Z$. Результаты заносят в таблицу.

7. Рассчитывают символы граней, используя формулу отношения косинусов $h : k : l = (\cos \rho_X / \cos \rho_{X_0}) : (\cos \rho_Y / \cos \rho_{Y_0}) : (\cos \rho_Z / \cos \rho_{Z_0})$, где ρ_{X_0} , ρ_{Y_0} , ρ_{Z_0} – углы между осями координат и полюсом единичной грани.

8. Определяются относительные параметры кристалла по формуле $a : b : c = (1/\cos \rho_{X_0}) : (1/\cos \rho_{Y_0}) : (1/\cos \rho_{Z_0}) = (\cos \rho_{Y_0} / \cos \rho_{X_0}) : 1 : (\cos \rho_{Y_0} / \cos \rho_{Z_0})$.

Форма представления результатов:

письменные отчет.

Особенности расчетов кристаллов разных сингоний рассмотрим на примере ортоклаза (моноклинная сингония) и кварца (тригональная сингония).

Вычисление кристалла ортоклаза KAlSi_3O_8

Дано: чертеж кристалла ортоклаза (рис. 13). Замеры углов между гранями: $m-m^{III} = 61^\circ 13'$, $c-m = 67^\circ 47'$, $c-x = 50^\circ 16'$, $c-y = 80^\circ 18'$. Грани каждой формы обозначены одинаковыми буквами и отличаются только количеством штрихов.

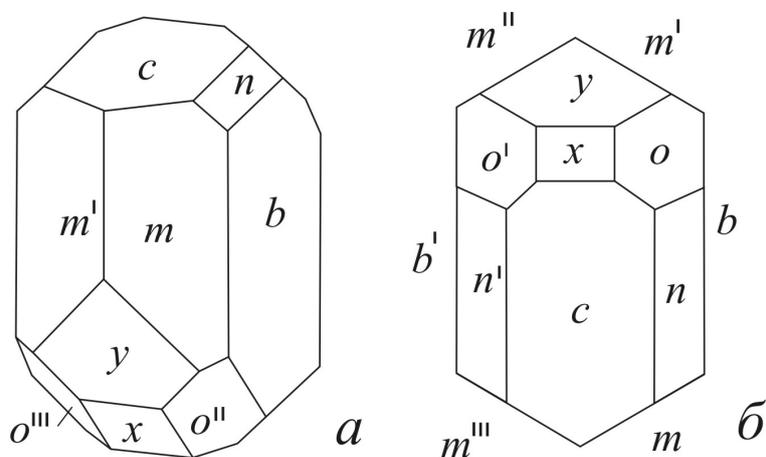


Рис. 13. Кристалл ортоклаза: а – вид сбоку, б – вид сверху

Решение:

1. Определение симметрии кристалла – L_2PC .

2. Простые формы: $\{m\}$, $\{n\}$, $\{o\}$ – ромбические призмы; $\{b\}$, $\{c\}$, $\{y\}$, $\{x\}$ – пинакоиды.

3. На кальке вычерчивается основной круг проекции, отмечается центр проекции и место нуля для углов φ . Наносятся стереографические проекции плоскости симметрии и оси второго порядка в стандартной установке для этого вида симметрии.

Расставляются гномостереографические проекции граней ромбической призмы $\{m\}$. Так как грани этой призмы вертикальные, то их гномостереографические проекции (соответствующие точки) будут находиться на внешнем круге проекции. Грани m и m^{III} располагаются симметрично относительно плоскости симметрии. Наносим их на проекцию, отсчитав по внешнему кругу в обе стороны от вертикальной линии по $30^\circ 36.5'$ (т.е. по половине угла между гранями m и m^{III}).

Проекция граней пинакоида $\{b\}$ находятся на концах горизонтального диаметра.

Грань c перпендикулярна плоскости симметрии, поэтому полюс грани располагается в плоскости симметрии, т.е. на проекции – на вертикальной линии. Используя замер угла $c-m = 67^\circ 47'$, изображаем малый круг вокруг точки m с радиусом $67^\circ 47'$. Пересечение вертикальной линии с этим кругом и будет полюсом грани c (рис. 14).

граней ($b-n-c-n^l-b^l$). Практически отсчитываем от полюса грани c вниз по вертикальной линии угол равный 90° .

Примечание: буквы X, Y, Z – обозначение осей координат, а буквы x и y – обозначение граней кристалла!

Далее определяются углы между координатными осями. Составляется таблица (табл.3):

Таблица 3

	X	Y	Z
X	0°	90°	116°
Y		0°	90°
Z			0°

5. Выбирается единичная грань. Эта грань должна располагаться косо по отношению к осям координат. Судя по чертежу, такой гранью может быть грань o . Так как эта грань отсекает отрицательный отрезок на оси X, то вместо символа единичной грани (111) ей присваивается символ $(\bar{1}11)$.

6. Определяются углы между полюсами граней и кристаллографическими осями (полюсами граней) ρ_X, ρ_Y, ρ_Z , соответственно. Результаты замеров заносятся в таблицу (табл.4, столбики 1–4).

Для всех граней определяются косинусы углов $\cos \rho_X, \cos \rho_Y, \cos \rho_Z$, а затем, частное от деления этих косинусов на соответствующие косинусы углов единичной грани $\cos \rho_{Xo}, \cos \rho_{Yo}, \cos \rho_{Zo}$. Результаты записывают в таблицу (см. табл. 4, столбики 5–10).

7. При определении символов граней для каждой из них находят отношения целых чисел, отвечающие отношениям частных от деления косинусов. Например, для грани y отношение

$(\cos \rho_{Xy}/\cos \rho_{Xo}) : (\cos \rho_{Yy}/\cos \rho_{Yo}) : (\cos \rho_{Zy}/\cos \rho_{Zo})$ равно - 1.45 : 0 : 0.73. Первый член отношения в два раза больше последнего. Разделив все члены на 0.73 получим 2 : 0 : 1 = $h : k : l$.

Таблица 4

Определение символов граней кристалла ортоклаза

Грань	Углы с осями, градусы			Косинусы углов			Частное от деления $\cos_{\text{грань}} / \cos_{(111)}$			Символ грани (hkl)
	^+X	^+Y	^+Z	^+X	^+Y	^+Z	X	Y	Z	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
b	90	0	90	0	1	0	-	-	-	(010)
c	90	90	26	0	0	0.899	-	-	1.11	(001)
m	39	59	90	0.777	0.515	0	1.14	1.13	0	(110)
n	90	45	50	0	0.707	0.643	0	1.56	0.79	(021)
o	133	63	36	- 0.682	0.454	0.809	- 1	1	1	($\bar{1}11$)
x	141	90	24	- 0.777	0	0.914	- 1.14	0	1.13	(101)
y	171	90	54	- 0.988	0	0.588	- 1.45	0	0.73	($\bar{2}11$)

8. Определяются параметры кристалла:

$$a : 1 : c = (\cos \rho_{Y_o} / \cos \rho_{X_o}) : 1 : (\cos \rho_{Y_o} / \cos \rho_{Z_o}) = a : b : c = 0.6658 : 1 : 0.5613; \beta = 116^\circ - \text{угол между осями } Z \text{ и } X.$$

Вычисление кристалла кварца SiO_2

Дано: чертеж кристалла кварца (рис. 15). Углы между гранями $m-r = 38^\circ 13'$, $m-x = 12^\circ 01'$.

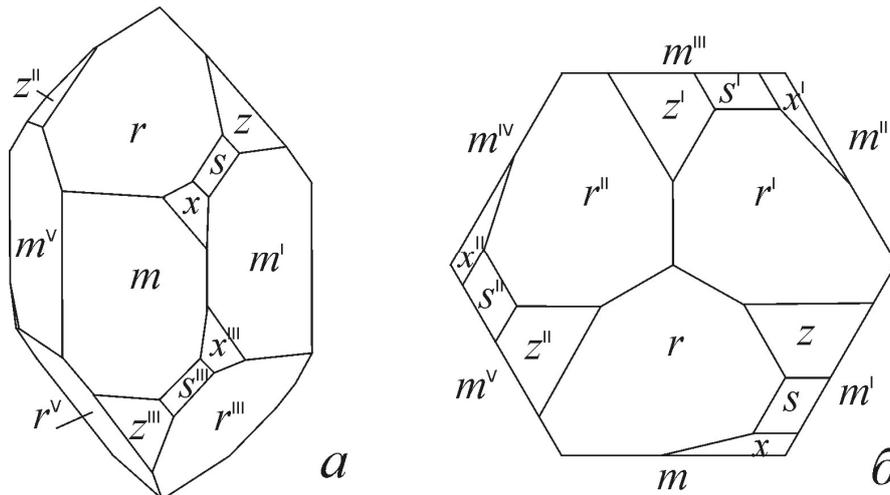


Рис. 15. Кристалл кварца: а – вид сбоку, б – вид сверху

Решение:

1. По рисунку определяется симметрия кристалла – $L_3 3L_2$.

2. Определяется название простых форм: $\{m\}$ – гексагональная призма, $\{r\}$ – положительный ромбоэдр, $\{z\}$ – отрицательный ромбоэдр, $\{s\}$ – тригональная дипирамида, $\{x\}$ – тригональный трапецоэдр.

3. На кальке вычерчивается основной круг проекции, отмечается центр проекции и место нуля для углов φ . Наносятся проекции осей второго порядка в стандартной установке для этого вида: одна из осей L_2 располагается на чертеже горизонтально, остальные – под углом 120° друг к другу.

Проставляются на чертеже проекции полюсов граней гексагональной призмы $\{m\}$. Точки полюсов располагаются между осями симметрии второго порядка через 60° друг от друга на внешнем круге проекции (координата φ грани m равна 90°).

Грань r ромбоэдра $\{r\}$ располагается над гранью m гексагональной призмы. Отсчитывается на проекции $38^\circ 13'$ вверх по вертикальному диаметру от точки m и проставляется точка r (рис. 16). Сферические координаты точки r равны: $\varphi = 90^\circ$, $\rho = (90^\circ - 38^\circ 13') = 62^\circ 07'$. Ось L_3 совмещает грань r с гранями r^I и r^{II} (верхней половины ромбоэдра $\{r\}$). При одинаковой координате $\rho = 62^\circ 07'$

координаты ϕ для граней r^I и r^{II} отличаются от координаты ϕ для грани r на 120° , т. е. равны 210° и 330° .

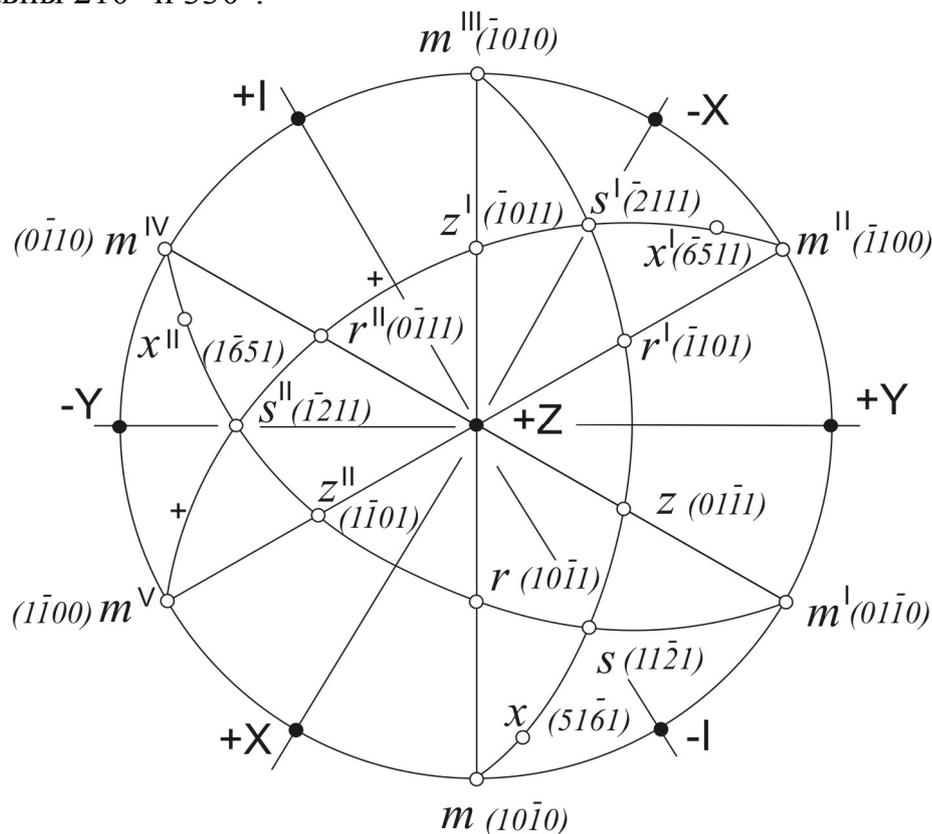


Рис. 16. Проекция граней кристалла кварца

По параллельным ребрам находим пояса (зоны) граней, к которым принадлежат грани s , x , z . В частности, грань s находится на пересечении поясов $(m-x-s-z-r^I-s^I-m^{III})$ и $(m^I-s-r-z^{II}-s^{II}-m^{IV})$. Прочертив проекции этих поясов на чертеже, на пересечении поясов находят положение полюса грани s . Положение грани z находим по пересечению поясов $(m-x-s-z-r^I-s^I-m^{III})$ и $(m^I-z-r^{II}-m^{IV})$. Грань x находится на поясе $(m-x-s-z-r^I-s^I-m^{III})$ и на расстоянии $12^\circ 01'$ от грани m (по условиям задачи). Это расстояние и откладывается по дуге пояса $(m-x-s-z-r^I-s^I-m^{III})$ от точки m .

4. Выносят на чертеж оси координат X , Y , I , Z .

5. Выбирается единичная грань. Для этих целей наиболее удобная грань ромбоэдра r . Символ единичной грани в тригональной сингонии – $(10\bar{1}1)$.

6. Определяют углы между полюсами к граням и кристаллографическими осями ρ_x , ρ_y , ρ_l , ρ_z . Результаты замеров заносятся в таблицу (табл. 5, столбики 1–5). Затем вычисляют косинусы этих углов $\cos \rho_x$, $\cos \rho_y$, $\cos \rho_l$, $\cos \rho_z$.

7. Находят частное от деления найденных косинусов углов на косинусы углов единичной грани:

$$h' : k' : i' : l' = (\cos \rho_x / \cos \rho_{x_r}) : (\cos \rho_y / \cos \rho_{y_r}) : (\cos \rho_l / \cos \rho_{l_r}) : (\cos \rho_z / \cos \rho_{z_r}).$$

Отношение $h' : k' : i' : l'$ приводят к отношению целых чисел. Правильность нахождения символов проверяется условием $h + k + i = 0$.

Определение символов граней кристалла кварца

Грань	Углы с осями, градусы				Косинусы углов				Частное от деления $\cos\rho_{\text{Грани}} / \cos\rho_{\text{ед. грани}}$				Символ границы (hkil)
	+X	+Y	+I	+Z	+X	+Y	+I	+Z	+X	+Y	+I	+Z	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
<i>m</i>	30	90	150	90	0,866	0	-0,866	0	1,27	0	-1,27	0	(10 $\bar{1}$ 0)
<i>r</i>	47	90	133	52	0,682	0	-0,652	0,616	1	0	-1	1	(10 $\bar{1}$ 1)
<i>z</i>	90	47	133	52	0	0,682	-0,682	0,616	0	1	-1	1	(01 $\bar{1}$ 1)
<i>s</i>	63	63	156	65,67	0,454	0,454	-0,914	0,412	0,66	0,66	-1,33	0,67	(11 $\bar{2}$ 1)
<i>x</i>	39,67	81,5	157,5	82°	0,770	0,148	-0,924	0,139	1,13	0,22	-1,35	0,23	(51 $\bar{6}$ 1)

8. Определяют относительные параметры кристалла:

$$a : c = 1 : (\cos \rho_{Yr} / \cos \rho_{Zr}) = 1.07.$$

Контрольные задачи для самостоятельного решения приведены в приложении 7. Задачи разделены на группы по сингониям. В пределах группы трудоемкость задач увеличивается от начала к концу. В большинстве задач приведены рисунки двух кристаллов, огранка которых может отличаться. Эта особенность отвечает геологической практике, так как редко удается собрать коллекцию одинаковых кристаллов.

Лабораторная работа 6 ИЗМЕРЕНИЯ И РАСЧЕТЫ РЕАЛЬНЫХ КРИСТАЛЛОВ

Цель работы: закрепление и использование полученных теоретических и практических знаний для характеристики реальных кристаллов минералов.

Исходный материал: кристаллы минералов.

Решаемая задача: Требуется определить символы граней и параметры реальных кристаллов.

Лабораторное обеспечение: коллекция реальных кристаллов, прикладные гониометры, транспортиры, бинокулярный микроскоп, справочники по минералогии, калька, чертежные принадлежности.

Порядок выполнения работы:

1. Определяются по справочникам: название минерала, химическая формула, формула симметрии.

2. Определяются внешние свойства кристалла: цвет, блеск, спайность, излом, наличие двойников.

3. Делается рисунок стереографической проекции элементов симметрии для данного кристалла и наносятся на рисунок гномостереографические проекции граней возможных простых форм. Проверка по приложению 8.

4. Делается рисунок кристалла. На рисунке грани кристалла маркируются цифрами.

5. Замеряются углы между гранями кристалла, используя гониометр; результаты заносятся в таблицу.

6. По полученным замерам на кальке строится чертеж гномостереографической проекции граней кристалла с использованием сетки Вульфа.

7. Рассчитываются символы граней и принадлежность их к соответствующим простым формам.

8. Рассчитываются относительные параметры кристалла.

9. Определяются сферические координаты простых форм.

Форма представления результатов: отчет (приложение 9).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Егоров-Тисменко Ю.К. Кристаллография и кристаллохимия / Ю.К. Егоров-Тисменко. – М.: КДУ, 2005. – 589 с.

2. Булах А.Г. Графика кристаллов (измерение, вычисление и вычерчивание) / А.Г. Булах. – М.: Недра, 1971. – 112 с.

3. Основы кристаллографии, минералогия: методические указания по выполнению лабораторных работ / сост. М.В. Морозов, М.А. Иванов. – СПб: Изд-во Санкт-Петербургский горный институт, 2003. – 31 с.

4. Попов Г.М., Шафрановский И.И. Кристаллография / Г.М. Попов, И.И. Шафрановский. – 5-е изд. – М.: Высшая школа, 1972. – 352 с.

5. Флинт Е.Е. Практическое руководство по геометрической кристаллографии / Е.Е. Флинт. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Госгеолтехиздат, 1956. – 206 с.

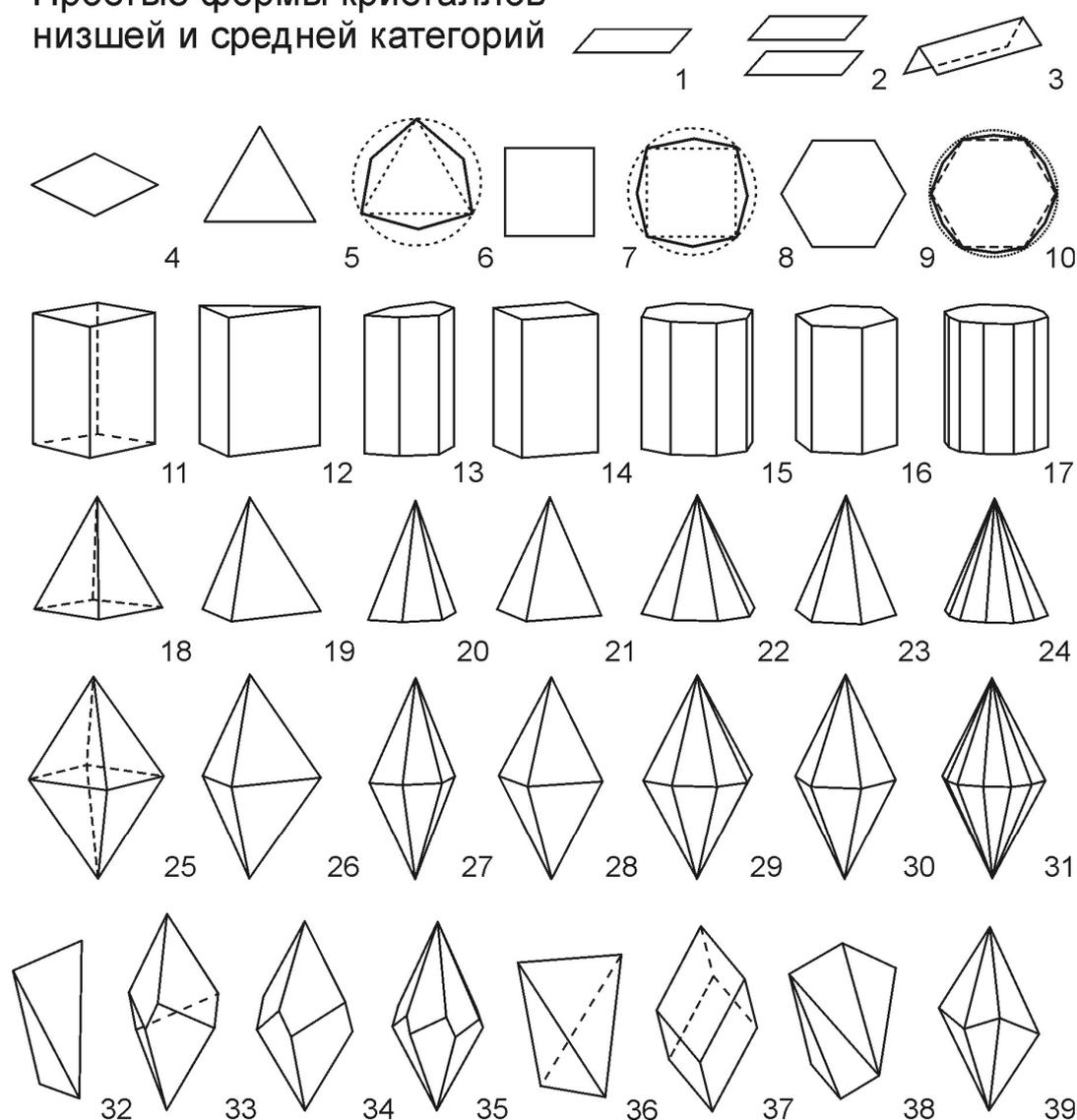
ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

		Вид симметрии							
		Примитивный	Центральный	Планиальный	Аксиальный	План-аксиальный	Инверсионный	Инверсионно-планиальный	
Сингония									
Триклинная	-	C	-	-	-	-	-	-	-
Моноклинная	-	-	P	L ₂	L ₂	L ₂ PC	-	-	-
Ромбическая	-	-	L ₂ 2P	3L ₂	3L ₂	3L ₂ 3PC	-	-	-
Тригональная	L ₃	L ₁₃ (L ₃ C)	L ₃ 3P	L ₃ 3L ₂	L ₃ 3L ₂	L ₃ 3L ₂ 3PC	-	-	-
Тетрагональная	L ₄	L ₄ PC	L ₄ 4P	L ₄ 4L ₂	L ₄ 4L ₂	L ₄ 4L ₂ 5PC	L ₁₄	L ₁₄ 2L ₂ 2P	
Гексагональная	L ₆	L ₆ PC	L ₆ 6P	L ₆ 6L ₂	L ₆ 6L ₂	L ₆ 6L ₂ 7PC	L ₁₆ (L ₃ PC)	L ₁₆ 3L ₂ 3P (L ₃ 3L ₂ 4P)	
Кубическая	3L ₂ 4L ₃	3L ₂ 4L ₃ 3PC	3L ₁₄ 4L ₃ 6P (4L ₃ 3L ₂ 6P)	3L ₄ 4L ₃ 6L ₂	3L ₄ 4L ₃ 6L ₂	3L ₄ 4L ₃ 6L ₂ 9PC	-	-	

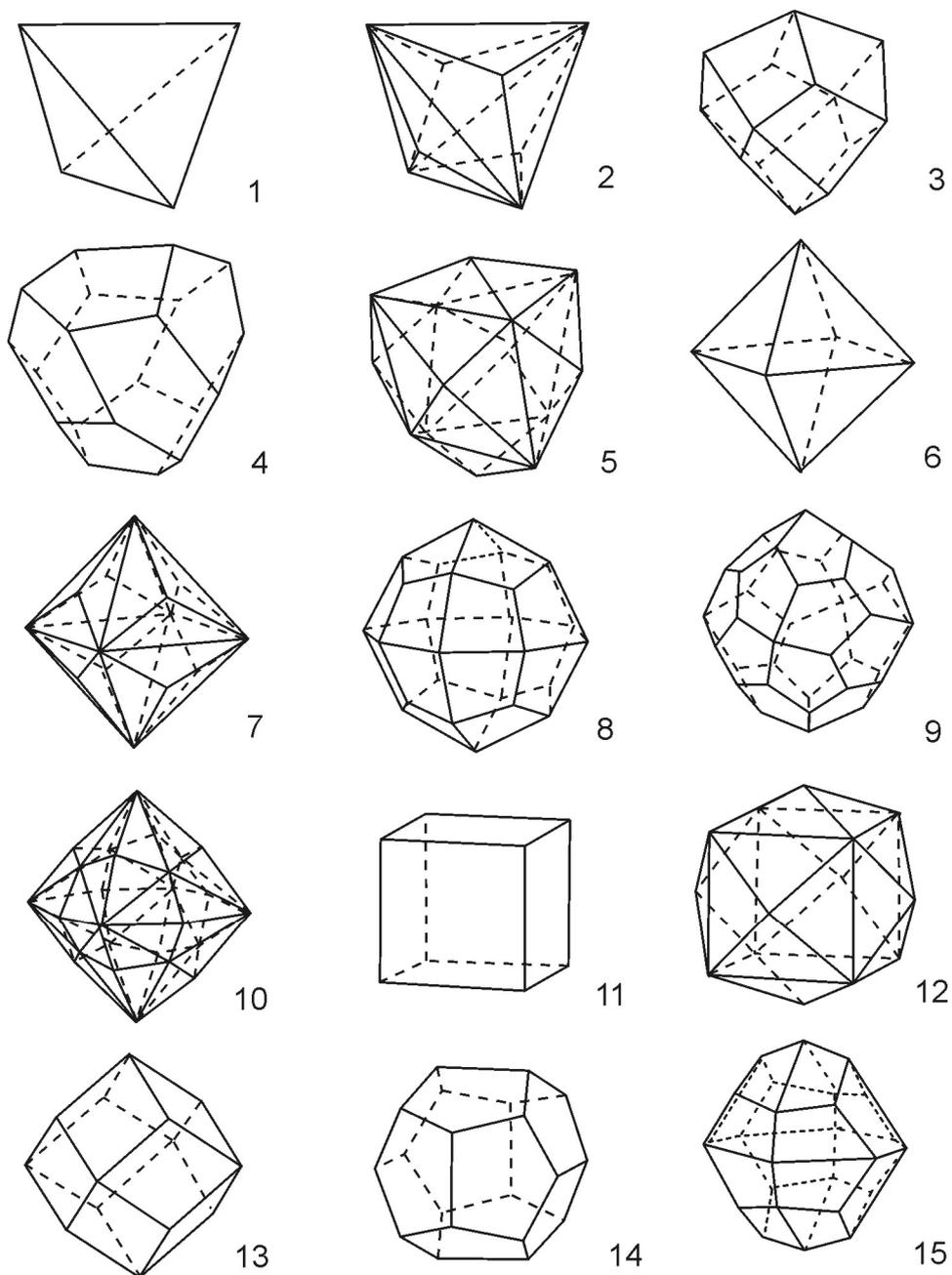
Примечание. В скобках запись формулы без использования инверсионных осей симметрии.
P – плоскость симметрии, C – центр инверсии,
L₂ – ось симметрии второго порядка, L₃ – ось симметрии третьего порядка,
L₄ – ось симметрии четвертого порядка, L₆ – ось симметрии шестого порядка,
L₁₃ – инверсионная ось симметрии третьего порядка (эквивалентна сочетанию L₃ и C),
L₁₄ – инверсионная ось симметрии четвертого порядка,
L₁₆ – инверсионная ось симметрии шестого порядка (эквивалентна сочетанию L₃ и перпендикулярной ей P).

Простые формы кристаллов
низшей и средней категорий



1 – моноэдр; 2 – пинакоид, 3 – диэдр; 4–10 – поперечные сечения фигур: 4 – ромбическое, 5 – тригональное, 6 – дитригональное, 7 – тетрагональное, 8 – дитетрагональное, 9 – гексагональное, 10 – дигексагональное; 11–17 – призмы: 11 – ромбическая, 12 – тригональная, 13 – дитригональная, 14 – тетрагональная, 15 – дитетрагональная, 16 – гексагональная, 17 – дигексагональная; 18–24 – пирамиды: 18 – ромбическая, 19 – тригональная, 20 – дитригональная, 21 – тетрагональная, 22 – дитетрагональная, 23 – гексагональная, 24 – дигексагональная; 25–31 – дипирамиды: 25 – ромбическая, 26 – тригональная, 27 – дитригональная, 28 – тетрагональная, 29 – дитетрагональная, 30 – гексагональная, 31 – дигексагональная; 32 – тетраэдр ромбический, 33–35 – трапецоэдры: 33 – тригональный, 34 – тетрагональный, 35 – гексагональный; 36 – тетраэдр тетрагональный, 37 – ромбоэдр; 38–39 – скаленоэдры: 38 – тетрагональный, 39 – тригональный.

Простые формы кристаллов
высшей категории (кубической сингонии)



1 – тетраэдр кубический, 2 – тригон–тритетраэдр, 3 – тетрагон–тритетраэдр, 4 – пентагон–тритетраэдр, 5 – гексатетраэдр, 6 – октаэдр, 7 – тригон–триоктаэдр, 8 – тетрагон–триоктаэдр, 9 – пентагон–триоктаэдр, 10 – гексаоктаэдр, 11 – гексаэдр, 12 – тетрагексаэдр, 13 – ромбододекаэдр, 14 – пентагондодокаэдр, 15 – дидодокаэдр.

СЕТКА ВУЛЬФА

Для вычисления кристаллов используются их проекции в виде чертежа. При построениях применяется система сферических координат (ρ , φ , r). Для изображения элементов симметрии обычно применяют стереографические проекции, а для элементов кристаллического многогранника – гномостереографические проекции. Чертежи изготавливаются на кальке. Для вычерчивания и расчетов применяются вспомогательные градусные сетки.

Наиболее употребительна сетка Вульфа – стереографическая проекция системы меридианов и параллелей, нанесенных на поверхность сферы и спроектированная на плоскость (рис. П4.1).

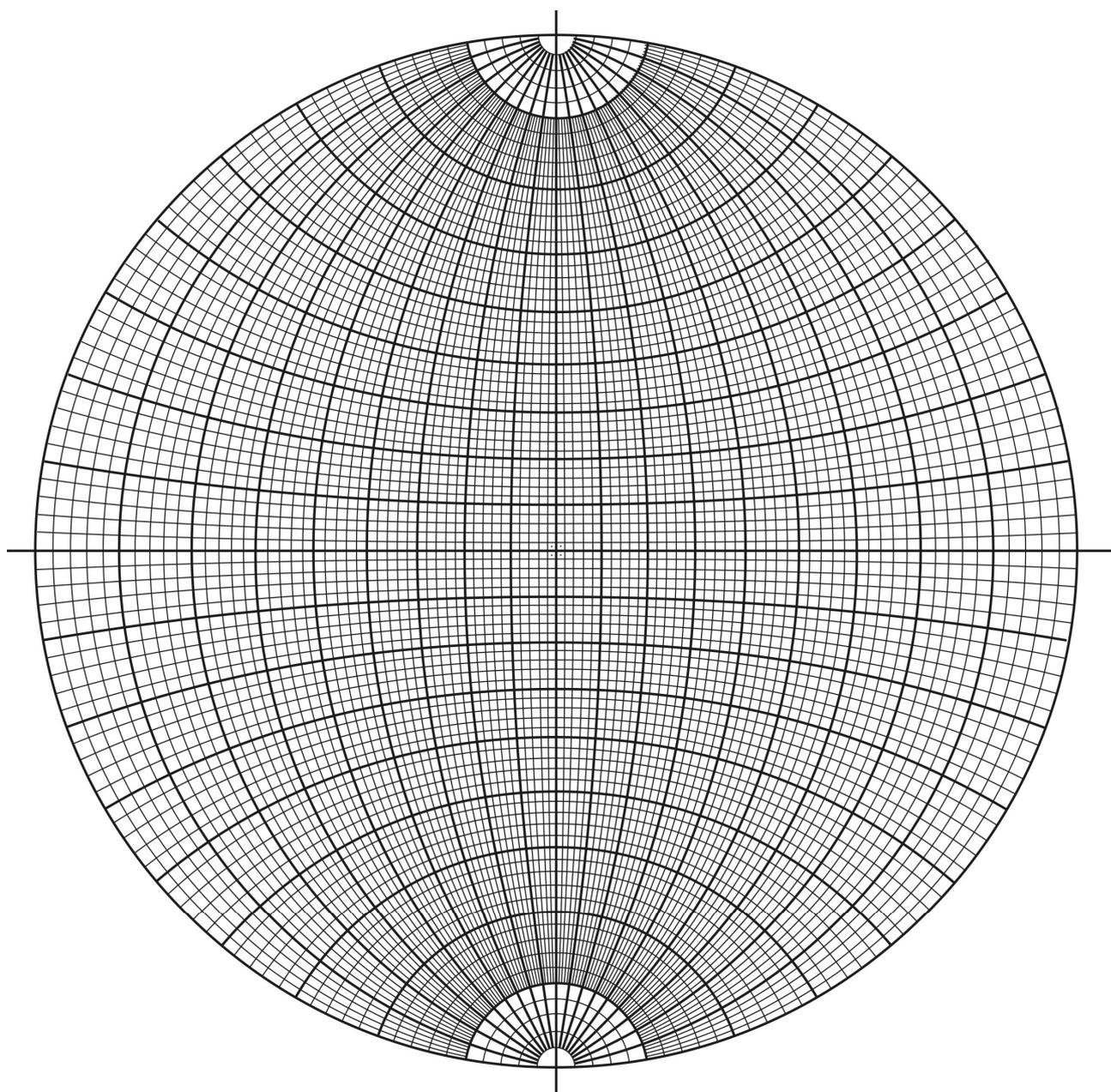


Рис. П4.1. Стереографическая сетка Вульфа

Сетка Вульфа стандартно обычно чертится на круге диаметром 20 см. Для построения сетки в окружности через ее центр проводятся вертикальная и горизонтальная линии. На окружности через каждые 10° расставляются точки. Каждая точка соединяется линиями с концами вертикального и горизонтального диаметров, расположенных на противоположных сторонах круга (линии АВ и АS на рис. П4.2).

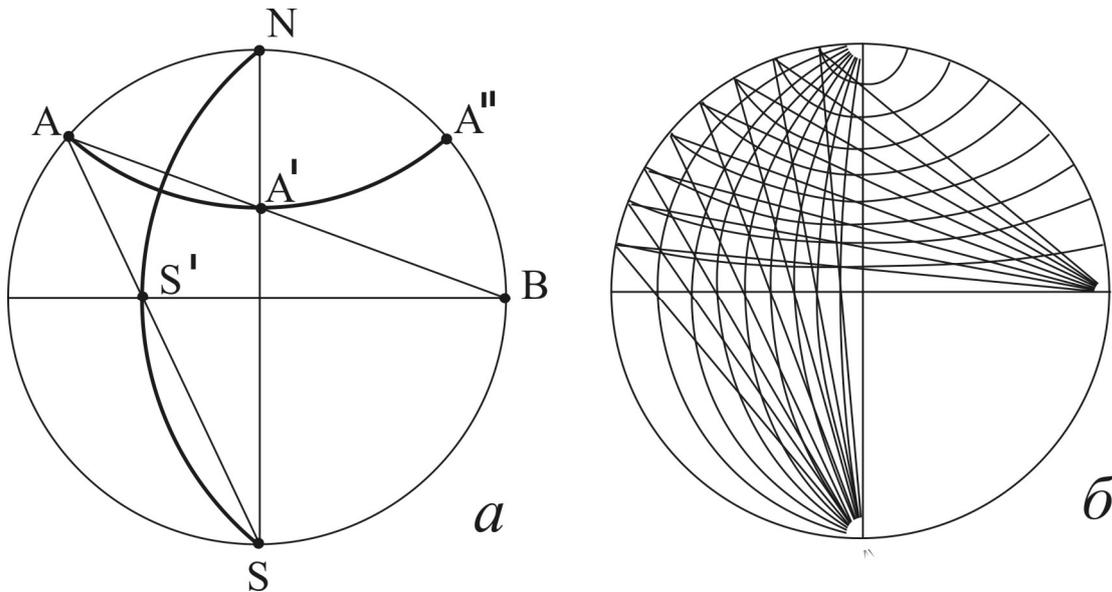


Рис. П4.2. Построение параллелей и меридианов стереографической сетки: а – принцип построения, б – получение проекций кругов через 10 градусов

Через концы вертикального диаметра NS и точку пересечения линии AS с горизонтальным диаметром проводят часть окружности – меридиан (см. точку S' на рис. П4.2а). Через точку А, симметричную ей точку А'' и точку пересечения линии АВ с вертикальным диаметром проводят часть круга – параллель (см. рис. П4.2а).

Тонкими линиями на сетку дополнительно наносятся параллели и меридианы через 2° . Расстояние между линиями можно разделить на глаз еще на 4 части, поэтому точность измерений – 0.5° . Все измерения производятся только по меридианам и диаметрам – горизонтальному (экватору) и вертикальному.

Получение стереографических проекций элементов кристалла основывается на следующем: современные оптические двухкругные гониометры при измерениях кристаллов позволяют ориентировать его так, чтобы возможным было определить углы между направлением координационной оси Z и перпендикулярами к соответствующим граням (угол ρ на рис. П4.3а).

В плоскости, перпендикулярной к оси Z, от выбранного места нуля определяется вторая сферическая координата – угол φ (см. рис. П4.3а).

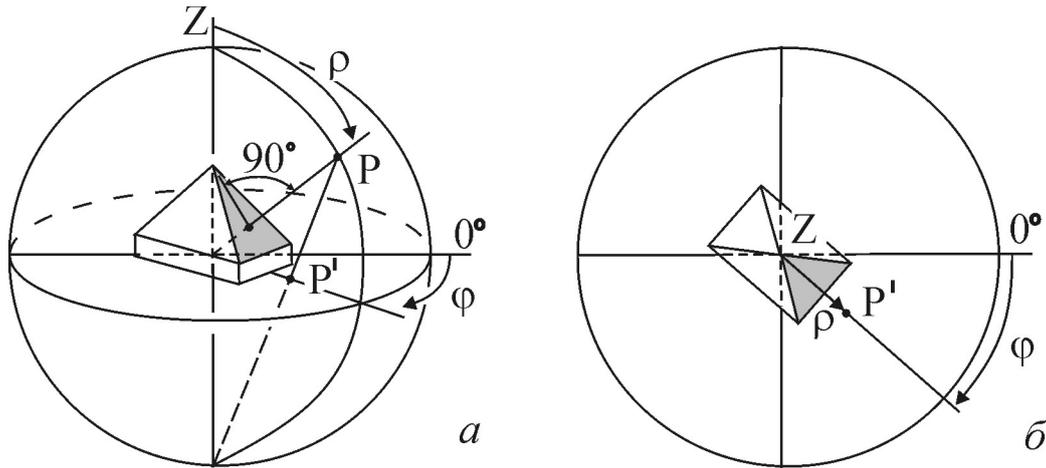


Рис. П4.3. Сферические координаты ρ и φ грани кристалла (а) и их проекция на горизонтальную плоскость (б)

Принцип построения стереографической проекции элементов кристалла следующий: вокруг кристалла описывается сфера. Каждый элемент кристалла проектируется в направлении от центра сферы к ее поверхности. На сфере каждая точка соединяется прямой с нижним полюсом сферы. Точка пересечения этой прямой с горизонтальной плоскостью будет искомой проекцией точки на сфере (рис. П4.4).

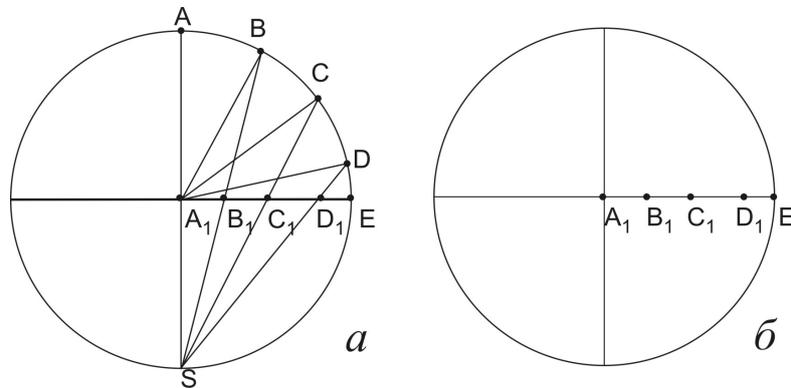


Рис. П4.4. Получение стереографических проекций точек А–Е (а) и изображение этих точек на чертеже (б)

Если плоскость проходит через центр сферы, то линия пересечения сферы с плоскостью называется **большим кругом** (толстая линия на изображениях верхнего ряда рисунка П4.5а–в). Если плоскость перпендикулярна проекции, то большой круг изображается прямой линией, проходящей через центр (см. рис. П4.5а). Если плоскость параллельна проекции, то изображение большого круга совпадает с внешним кругом проекции (см. рис. П4.5б). Проекции плоскостей с другой ориентировкой изображаются в виде дуг больших кругов (см. рис. П4.5в).

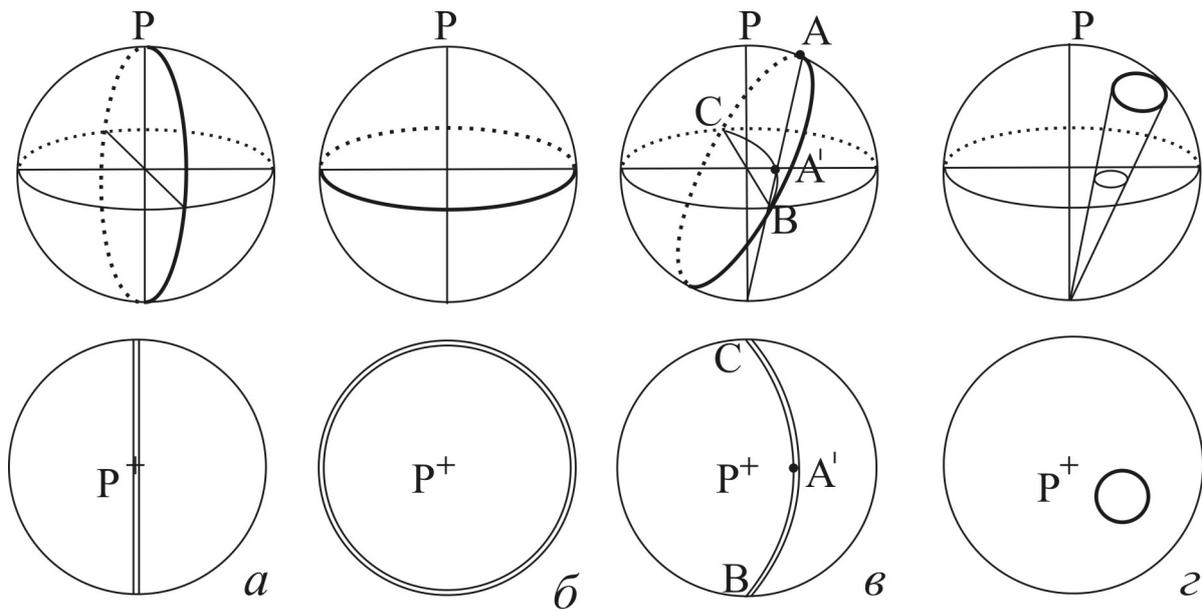


Рис. П4.5. Линии пересечения сферы плоскостями (верхний ряд) и их стереографические проекции (нижний ряд): а–в – большие круги (а – вертикальный, б – горизонтальный, в – наклонный), г – малый круг

Линия пересечения сферы с плоскостью, не проходящей через центр сферы, называется **малым кругом** (см. рис. П4.5г). Проекция малого круга на чертеже также представляется в виде круга (нижнее изображение на рис. П4.5г).

Прямые линии на стереографической проекции изображаются точкой, спроектированной от точки пересечения прямой со сферой. Стереографические проекции видов симметрии приведены в приложении 5.

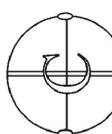
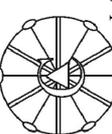
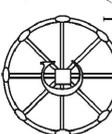
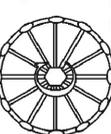
В отличие от элементов симметрии изображения элементов кристаллического многогранника применяются гномостереографические проекции.

Основной принцип построения гномостереографических проекций тот же, что и для стереографических проекций: каждая точка на сфере соединяется прямой с нижним полюсом и точка пересечения этой прямой с горизонтальной плоскостью будет ее проекцией. В отличие от стереографических проекций за изображение плоскости принимается не сама плоскость, а перпендикуляр к ней (см. рис. П4.3).

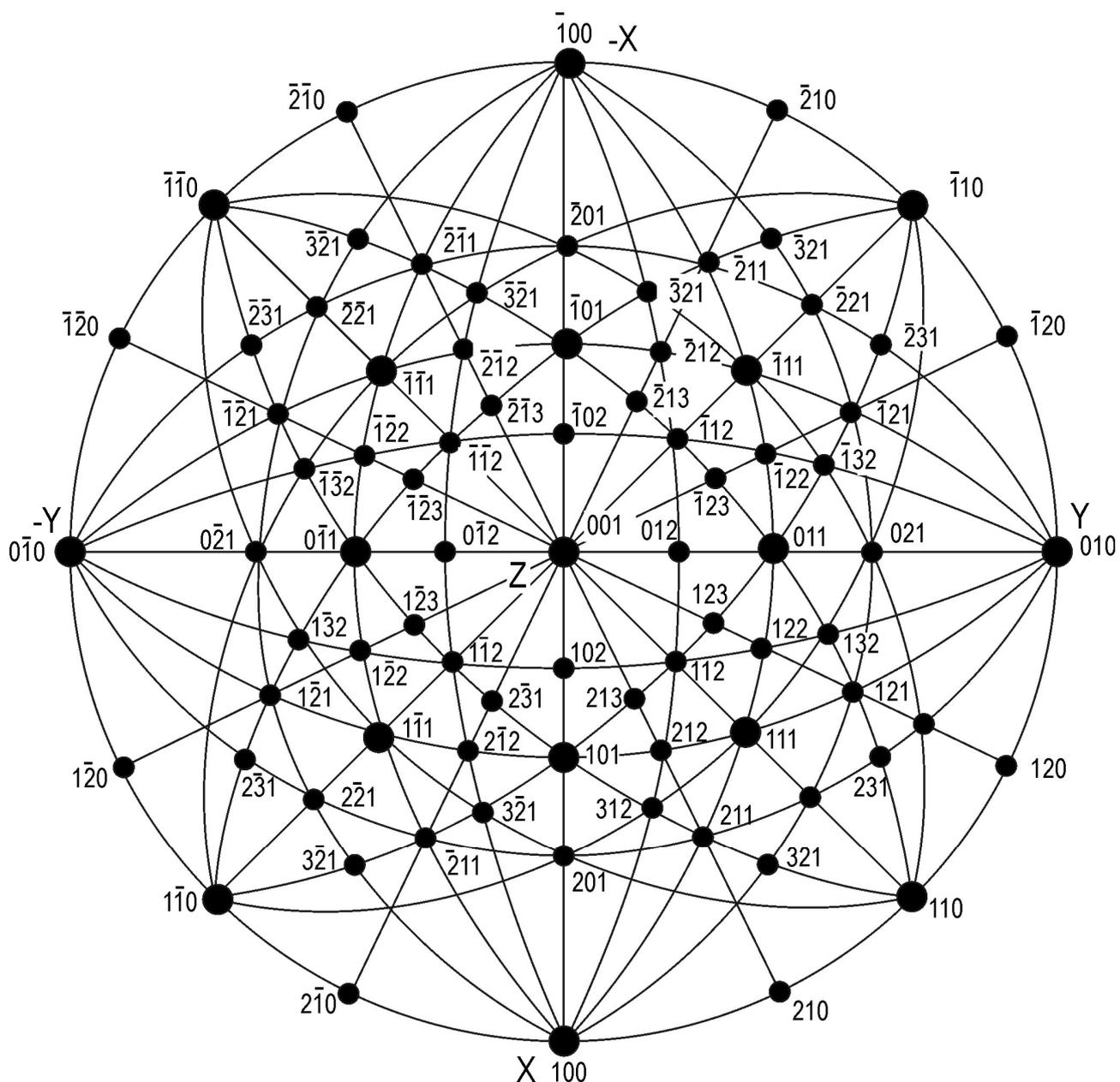
Точка пересечения перпендикуляра к плоскости со сферой называется **полюсом плоскости (грани)**. Точка пересечения линии, проведенной из полюса грани к нижнему полюсу сферы, с горизонтальной плоскостью (плоскостью чертежа) будет гномостереографической проекцией грани (см. точки Р и Р' на рис. П4.3).

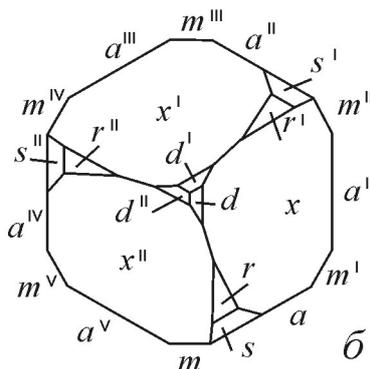
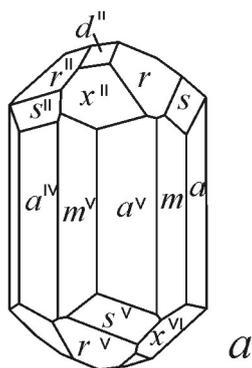
Прямые линии на гномостереографических проекциях изображаются дугами больших кругов.

стереографические проекции элементов симметрии

Виды симметрии							
Сингонии	Примитивные	Центральные	Аксиальные	Планальные	План-аксиальные	Инверсионные	Инверсионно-планальные
Триклинная	1 —	$\bar{1}$ C					
Моноклинная			2 L ₂	m P		2/m L ₂ PC	
Ромбическая			222 3L ₂	mm2 L ₂ 2P		mmm 3L ₂ 3PC	
Тригональная	3 L ₃	$\bar{3}$ L ₃ C	32 L ₃ 3L ₂	3m L ₃ 3P		$\bar{3}$ m L ₃ 3L ₂ 3PC	
Тетрагональная	4 L ₄	4/m L ₄ PC	422 L ₄ 4L ₂	4mm L ₄ 4P		4/mmm L ₄ 4L ₂ 5PC	$\bar{4}2m$ L ₄ 2L ₂ 2P
Гексагональная	6 L ₆	6/m L ₆ PC	622 L ₆ 6L ₂	6mm L ₆ 6P		6/mmm L ₆ 6L ₂ 7PC	$\bar{6}m2$ L ₆ 3L ₂ 3P (L ₃ 3L ₂ 4P)
Кубическая	23 4L ₃ 3L ₂	$\bar{m}\bar{3}$ 4L ₃ 3L ₂ 3PC	432 3L ₄ 4L ₂ 6L ₂	432 3L ₄ 4L ₂ 6P		m3m 3L ₄ 4L ₂ 6L ₂ 9PC	

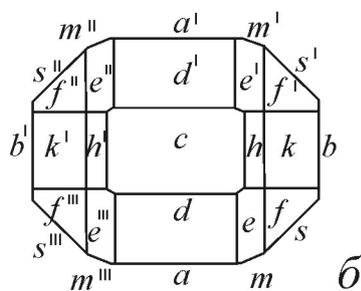
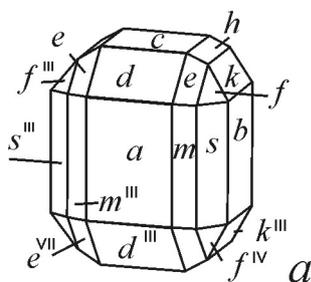
Зональные соотношения граней простых форм
кубическая сингония



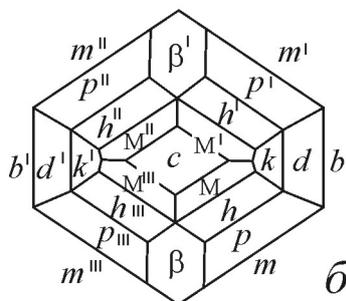
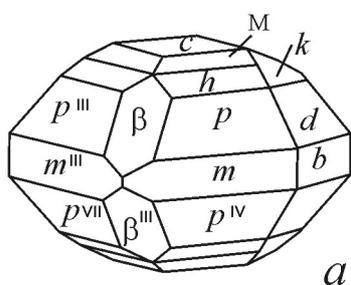


Задача 13.
Фенакит Be_2SiO_4
 $ar = 58^\circ 18'$
 $mr = 52^\circ 39'$
 $ax = 62^\circ 17'$
 $as = 28^\circ 21'$
 Единичная грань r

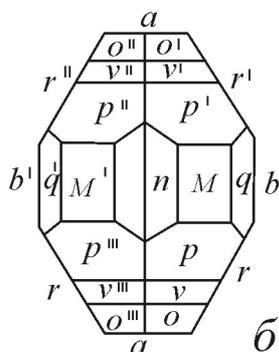
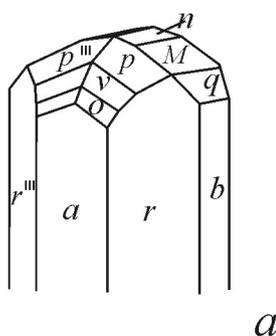
ромбическая сингония



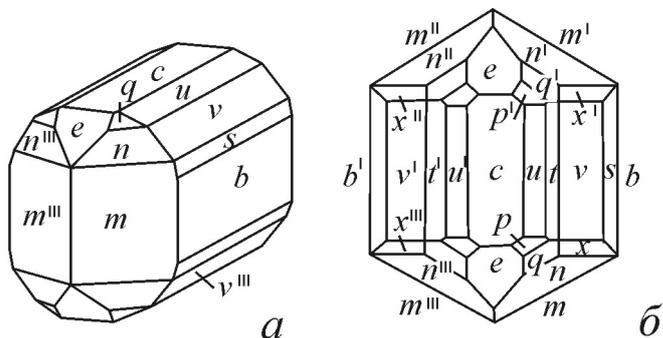
Задача 14.
Оливин $(\text{Mg,Fe})_2\text{SiO}_4$
 $dd' = 103^\circ 06'$
 $hh' = 60^\circ 47'$
 $ss' = 94^\circ 04'$
 $kk' = 99^\circ 06'$
 Единичная грань e



Задача 15.
Стефанит Ag_5SbS_4
 $mm''' = 64^\circ 21'$
 $pp''' = 49^\circ 44'$, $kk' = 68^\circ 50'$
 $dd' = 107^\circ 45'$, $cM = 23^\circ 13'$
 Единичная грань p

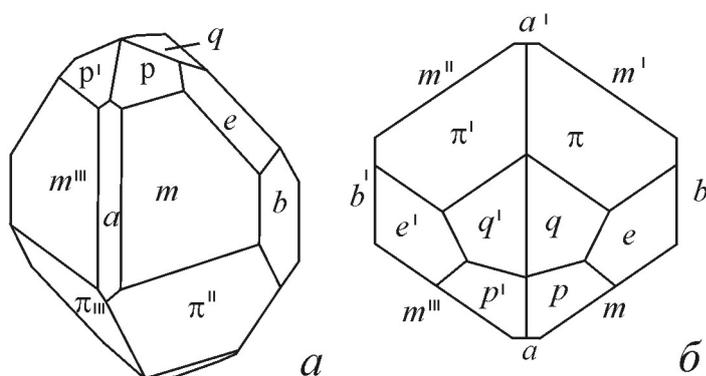


Задача 16.
Танталит FeTa_2O_6
 $pp' = 67^\circ 28'$, $pp''' = 53^\circ 58'$
 $qq' = 125^\circ 47'$, $rr' = 57^\circ 03'$
 $nn' = 12^\circ 23'$, $vv' = 90^\circ 06'$
 $oo' = 106^\circ 22'$
 Единичная грань p

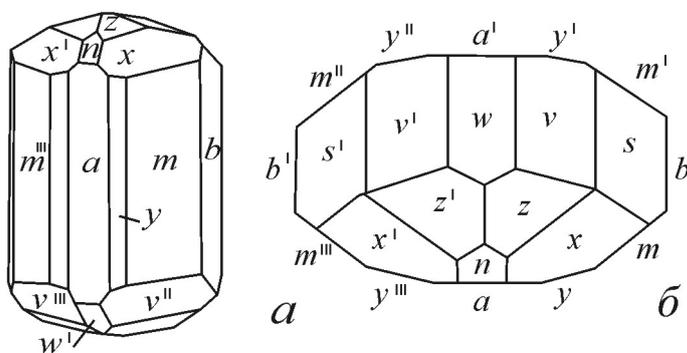


Задача 17.
 Гердерит $\text{CaBePO}_4 \text{ F}$
 $ss' = 137^\circ 02'$
 $ee' = 91^\circ 20'$
 $uu' = 45^\circ 54'$
 $mm'' = 63^\circ 39'$
 $nn' = 103^\circ 24'$
 Единичная грань p

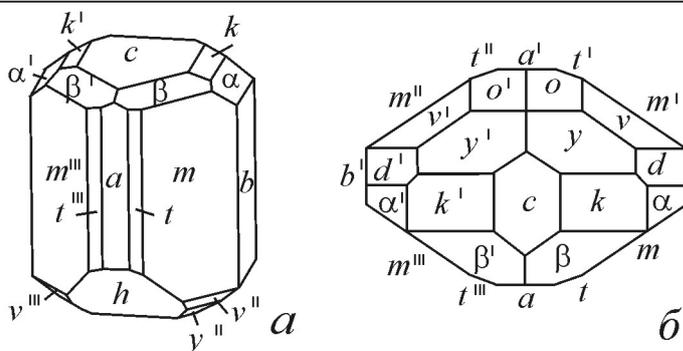
МОНОКЛИННАЯ СИНГОНИЯ



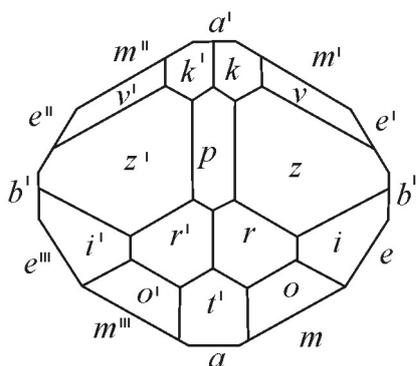
Задача 18.
 Дюрангит $\text{NaAl}[\text{AsO}_4]\text{F}$
 $mm''' = 69^\circ 50'$
 $ap = 38^\circ 06'$, $pp' = 46^\circ 15'$
 $a'\pi = 61^\circ 15'$, $\pi\pi' = 67^\circ 50'$
 $m'q = 72^\circ 06'$, $me = 48^\circ 10'$
 X - ось пояса $bee'b'$
 Единичная грань p



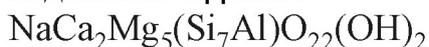
Задача 19.
 Вивианит $\text{Fe}_3[\text{PO}_4]_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$
 $mm''' = 71^\circ 58'$, $yy''' = 27^\circ 13'$
 $a'w = 54^\circ 40'$, $xx' = 47^\circ 53'$,
 $az = 55^\circ 03'$, $zz' = 31^\circ 28'$;
 X - ось пояса, проходящего
 через b , b' и точку
 пересечения поясов
 $mxzv'm''$ и $m'''x'vm'$.
 Единичная грань x



Задача 20.
 Колеманит $\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
 $tt''' = 39^\circ 58'$, $mm''' = 72^\circ 03'$
 $ac = 69^\circ 51'$, $c\beta = 33^\circ 45'$
 $\alpha\alpha' = 90^\circ 54'$
 Единичная грань β
 X - ось пояса bcb''



Задача 21. Эденит



$mm''' = 55^\circ 49'$, $ee' = 64^\circ 22'$

$cm = 75^\circ 53'$, $at = 49^\circ 54'$

$a'k = 51^\circ 44'$, $cp = 31^\circ$

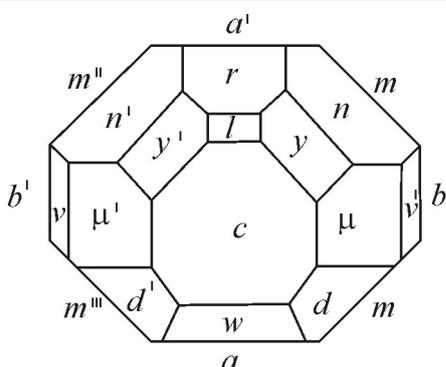
c - базитинакоид

X - ось пояса bcb'

Единичная грань (на рисунке нет)

лежит в точке пересечения

поясов btb' и tcm''



Задача 22. Мирабилит $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$

$cl = 32^\circ 26'$, $cw = 24^\circ 18'$

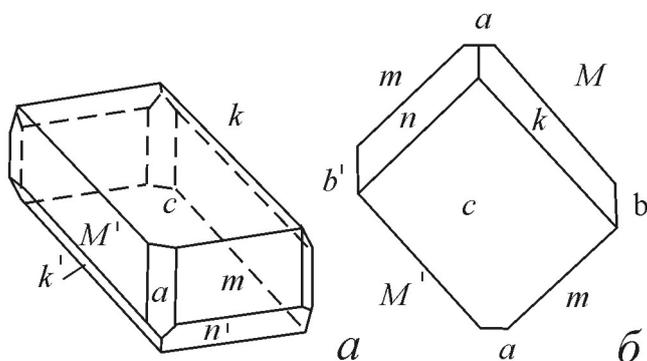
$a'r = 49^\circ 50'$, $mm''' = 93^\circ 29'$

$nn' = 86^\circ 47'$, $cv = 62^\circ 06'$

X ось пояса bcb'

Единичная грань d

триклинная сингония



Задача 23. Родонит MnSiO_3

$bm = 45^\circ 53'$, $b'M = 41^\circ 38'$

$b'a = 85^\circ 34'$, $M'k = 31^\circ 13'$

$cm = 68^\circ 45'$, $cM = 86^\circ 23'$

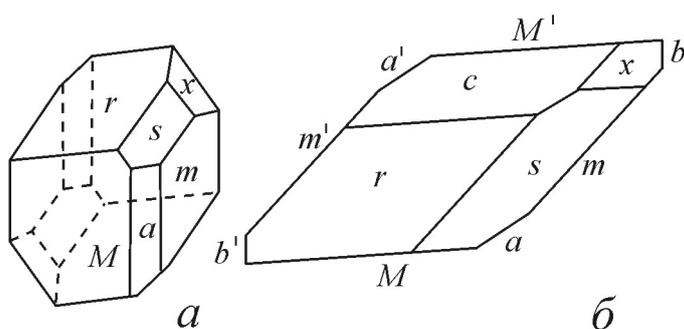
$cp = 29^\circ 49'$

X ось пояса bcb'

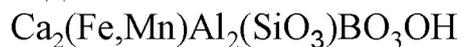
Y - ось пояса aca'

Единичная грань p

(на рисунке не показана,
лежит в поясе tcm')



Задача 24. Аксинит



$am = 15^\circ 34'$, $aM = 28^\circ 55'$

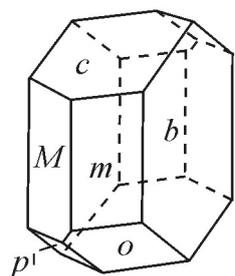
$Mr = 45^\circ 15'$, $mr = 64^\circ 22'$

$bm = 32^\circ 47'$, $cM = 89^\circ 55'$

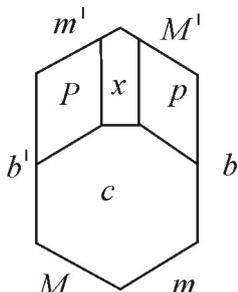
X ось пояса bcb' ,

Y ось пояса aca' .

Единичная грань x



a



б

Задача 25. Альбит $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$

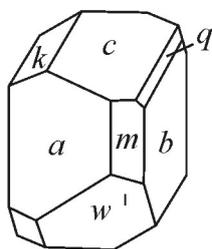
$$bm = 60^\circ 26', \quad b'm = 60^\circ 20'$$

$$cm = 65^\circ 17', \quad cM = 69^\circ 10'$$

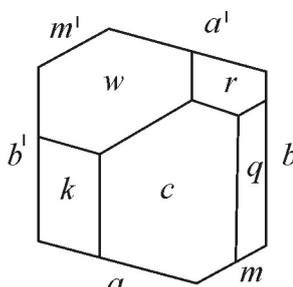
$$cp = 55^\circ 53', \quad bx = 86^\circ 20'$$

X – ось пояса *bcb'*

Y – ось пояса *cxc'*



a



б

Задача 26.

Уксуснокислый дидим



$$ab = 107^\circ 00', \quad bm = 61^\circ 26'$$

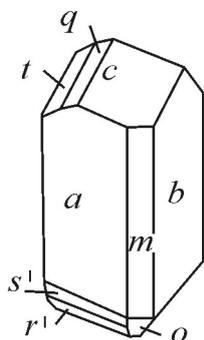
$$ac = 68^\circ 32', \quad bc = 74^\circ 29'$$

$$kb' = 58^\circ 58'$$

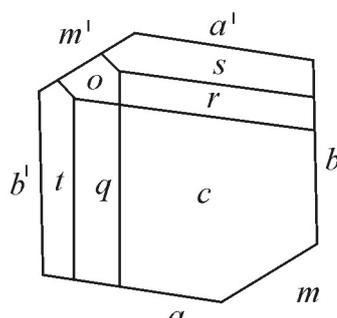
X – ось пояса *bcb'*

Y – ось пояса *aca'*

Единичная грань *w*

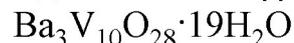


a



б

Задача 27. Ванадат бария



$$am = 41^\circ 56', \quad ab = 96^\circ 13'$$

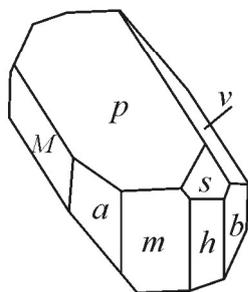
$$ac = 69^\circ 32', \quad bc = 62^\circ 40'$$

$$m'o = 47^\circ 19', \quad a's = 27^\circ 05'$$

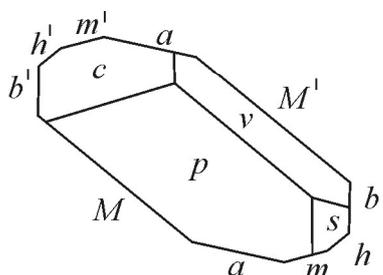
X – ось пояса *bcb'*

Y – ось пояса *aca'*

Единичная грань *o* (111)

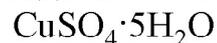


a



б

Задача 28. Халькантит



$$am = 30^\circ 51', \quad mb = 69^\circ 50'$$

$$aM = 25^\circ 59', \quad Mp = 71^\circ 39'$$

$$ap = 59^\circ 10', \quad ms = 107^\circ 17'$$

$$bs = 55^\circ 02', \quad ah = 53^\circ 24'$$

X – ось пояса *bcb'*, *Y* – ось пояса *aca'*.

Единичная грань *p*

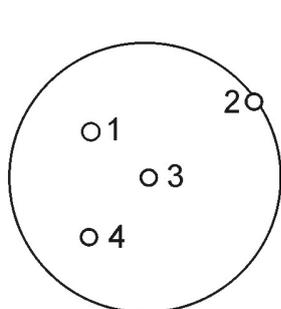
ОТВЕТЫ НА ЗАДАЧИ

1. *Каломель*, $a : c = 1 : 1.723$. a (100), m (110), p (331), d (113), r (111).
2. *Касситерит*, $a : c = 1 : 0.6723$. m (110), h (210), e (101), s (111), z (321).
3. *Рутил*, $a : c = 1 : 0.6442$. a (100), m (110), l (310): e (101): s (111), t (313), z (321).
4. *Шеелит*, $a : c = 1 : 1.5356$. e (101), p (111), g (212), s (131).
5. *Мариолит*, $a : c = 1 : 0.4384$, a (100), c (001), h (210), m (110), e (101), r (111), z (311).
6. *Корунд*, $a : c = 1 : 1.3630$. a (11 $\bar{2}$ 0), c (0001), z (10 $\bar{1}$ 1), n (22 $\bar{4}$ 3), z (22 $\bar{4}$ 1).
7. *Пираргирит*, $a : c = 1 : 0.7892$. a (11 $\bar{2}$ 0), m (10 $\bar{1}$ 0), r (10 $\bar{1}$ 11), e (01 $\bar{1}$ 12), v (21 $\bar{3}$ 1), j (32 $\bar{5}$ 1).
8. *Эвдиалит*, $a : c = 1 : 2.112$. m (10 $\bar{1}$ 0), c (0001), a (11 $\bar{2}$ 0), r (10 $\bar{1}$ 1), z (10 $\bar{1}$ 4), e (01 $\bar{1}$ 2), s (02 $\bar{2}$ 1), t (21 $\bar{3}$ 1).
9. *Турмалин*, $a : c = 1 : 0.4477$. a (2 $\bar{1}$ $\bar{1}$ 0), m (1 $\bar{1}$ 00), c (0001), r (01 $\bar{1}$ 1), e (10 $\bar{1}$ 2), o (20 $\bar{2}$ 1), q (4 $\bar{1}$ $\bar{3}$ 2), t (3 $\bar{1}$ $\bar{2}$ 1).
10. *Кальцит*, $a : c = 1 : 0.8543$. a (11 $\bar{2}$ 0), m (10 $\bar{1}$ 0), r (10 $\bar{1}$ 1), e (01 $\bar{1}$ 2), f (02 $\bar{2}$ 1), t (21 $\bar{3}$ 4), v (21 $\bar{3}$ 1), φ (05 $\bar{5}$ 4).
11. *Берилл*, $a : c = 1 : 0.4989$. c (0001), m (10 $\bar{1}$ 0), a (11 $\bar{2}$ 0), s (11 $\bar{2}$ 1), p (10 $\bar{1}$ 1), u (20 $\bar{2}$ 1), v (21 $\bar{3}$ 1), n (31 $\bar{4}$ 1).
12. *Ванадинит*, $a : c = 1 : 0.7122$. c (0001), m (10 $\bar{1}$ 0), a (11 $\bar{2}$ 0), v (11 $\bar{2}$ 2), r (10 $\bar{1}$ 2), x (10 $\bar{1}$ 1), s (11 $\bar{2}$ 1), u (21 $\bar{3}$ 1).
13. *Фенакит*, $a : c = 1 : 0.6611$. m (10 $\bar{1}$ 0), a (11 $\bar{2}$ 0), r (10 $\bar{1}$ 1), s (21 $\bar{3}$ 1), x ($\bar{1}$ 3 $\bar{2}$ 2), d (01 $\bar{1}$ 2).
14. *Хризолит*, $a : c = 0.4658 : 1 : 0.5865$. a (100), b (010), c (001), m (110), s (120), d (101), h (011), k (021), o (111), f (121).
15. *Стефанит*, $a : b : c = 0.6291 : 1 : 0.6851$. b (010), c (001), m (110), d (021), k (011), β (101), p (111), h (112), M (113).
16. *Танталит*, $a : b : c = 0.8170 : 1 : 0.6511$. a (100), b (010), r (120), n (016), μ (011), q (031), p (111), v (322), o (211).
17. *Гердерит*, $a : b : c = 0.6206 : 1 : 0.4235$. b (010), c (001), m (110), e (302), u (011), t (032), v (031), s (061), p (111), q (332), n (331), x (362).
18. *Дюрангит*, $a : b : c = 0.7716 : 1 : 0.8250$, $\beta = 115^\circ 13'$. a (100), b (010), m (110), p (111), π ($\bar{1}$ 11), q ($\bar{1}$ 12): e (021).
19. *Вивианит*, $a : b : c = 0.7498 : 1 : 0.7015$, $\beta = 104^\circ 26'$. a (100), b (010), m (110), y (310), x (111), z (112), n (101), w ($\bar{1}$ 01), s ($\bar{1}$ 31), v ($\bar{1}$ 11).
20. *Колеманит*, $a : b : c = 0.7748 : 1 : 0.5410$, $\beta = 110^\circ 09'$. a (100), b (010), c (001), m (110), t (210), β (111), k (011), α (021), y ($\bar{1}$ 11), h ($\bar{2}$ 10), v ($\bar{2}$ 21), o ($\bar{2}$ 11), d ($\bar{1}$ 21).

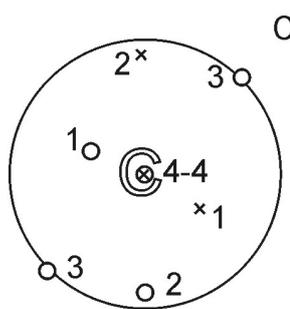
21. **Роговая обманка**, $a : b : c = 0.5511 : 1 : 0.2938$, $\beta = 106^\circ 02'$. a (100), b (010): c (001), m (110), e (130), t (101), r (011), o (121), i (031), z ($\bar{1}21$), k ($\bar{2}11$), v ($\bar{2}31$), p ($\bar{1}01$). $sp=31^\circ$.
22. **Мирабилит**, $a : b : c = 1.1158 : 1 : 1.2372$, $\beta = 107^\circ 45'$. a (100), b (010), c (001), m (110), w (102), l ($\bar{1}02$), r ($\bar{1}01$), μ (011), v (021), d (111), y ($\bar{1}12$), n ($\bar{1}11$).
23. **Родонит**, $a : b : c = 1.0729 : 1 : 0.6213$, $\alpha = 103^\circ 18'$, $\beta = 108^\circ 44'$, $\gamma = 81^\circ 39'$. a (100), b (010), c (001), m (110), M ($1\bar{1}0$), k ($2\bar{2}1$), n ($\bar{2}\bar{2}1$).
24. **Аксинит**, $a : b : c = 0.4921 : 1 : 0.4797$, $\alpha = 82^\circ 54'$, $\beta = 91^\circ 51'$, $\gamma = 131^\circ 32'$. a (100), b (010), c (001), m (110), M ($1\bar{1}0$), x (111), r ($1\bar{1}1$), s (201).
25. **Альбит**, $a : b : c = 0.6335 : 1 : 0.5577$, $\alpha = 94^\circ 03'$, $\beta = 116^\circ 29'$, $\gamma = 88^\circ 09'$. b (010), c (001), m (110), M ($1\bar{1}0$), p ($1\bar{1}1$), x ($\bar{1}01$), o ($\bar{1}\bar{1}1$).
26. **Уксуснокислый дидим**, $a : b : c = 0.8417 : 1 : 0.8705$, $\alpha = 114^\circ 53'$, $\beta = 118^\circ 49'$, $\gamma = 64^\circ 12'$. a (100), b (010), c (001), m (110), q (011), ω ($\bar{1}\bar{1}1$), r ($\bar{1}01$), k ($0\bar{1}1$).
27. **Ванадат бария**, $a : b : c = 0.7805 : 1 : 0.9528$, $\alpha = 122^\circ 13'$, $\beta = 116^\circ 53'$, $\gamma = 71^\circ 09'$. a (100), b (010), c (001), m (110), q ($0\bar{1}1$), t ($0\bar{2}1$): r ($\bar{1}01$), s ($\bar{2}01$), o ($\bar{1}\bar{1}1$).
28. **Халькантит**, $a : b : c = 0.5656 : 1 : 0.5507$, $\alpha = 82^\circ 21'$, $\beta = 73^\circ 11'$, $\gamma = 77^\circ 37'$. a (100), b (010), c (001), m (110), M ($\bar{1}10$), h (120), p (111), v (021), s (121).

Гномостереографические проекции простых форм кристаллов

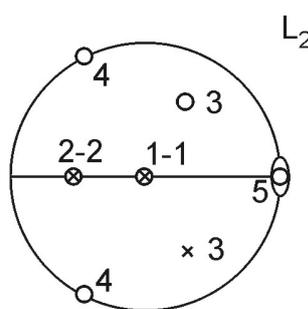
Низшая категория



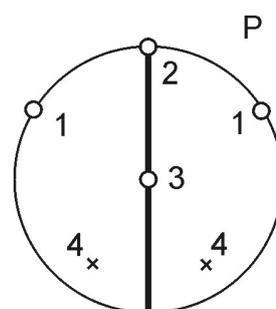
1. Моноэдр
2. Моноэдр
3. Моноэдр
4. Моноэдр



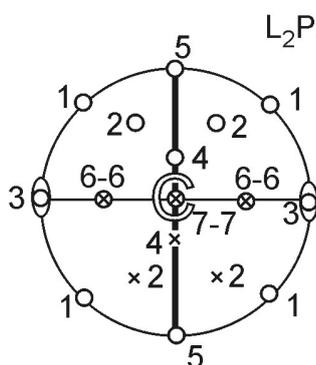
1. Пинакоид
2. Пинакоид
3. Пинакоид
4. Пинакоид



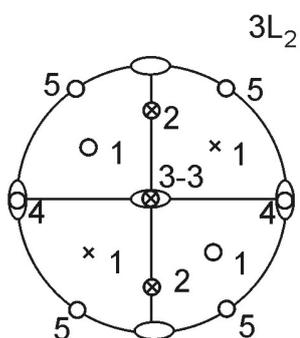
1. Пинакоид
2. Диэдр осевой
3. Диэдр осевой
4. Диэдр осевой
5. Моноэдр



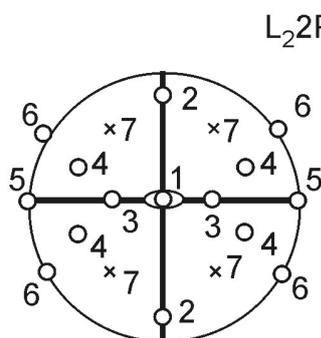
1. Диэдр плоскостной
2. Моноэдр
3. Моноэдр
4. Диэдр плоскостной



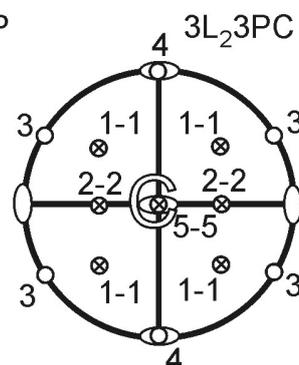
1. Призма ромбическая
2. Призма ромбическая
3. Пинакоид
4. Пинакоид
5. Пинакоид
6. Призма ромбическая
7. Пинакоид



1. Тетраэдр ромбический
2. Призма ромбическая
3. Пинакоид
4. Пинакоид
5. Призма ромбическая

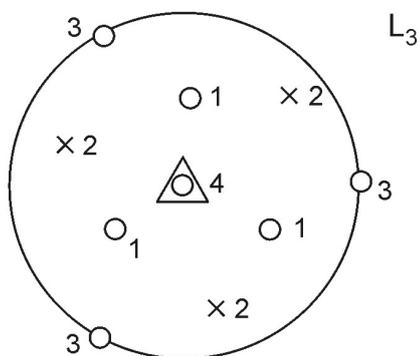


1. Моноэдр
2. Диэдр
3. Диэдр
4. Пирамида ромбическая
5. Пинакоид
6. Призма ромбическая
7. Пирамида ромбическая

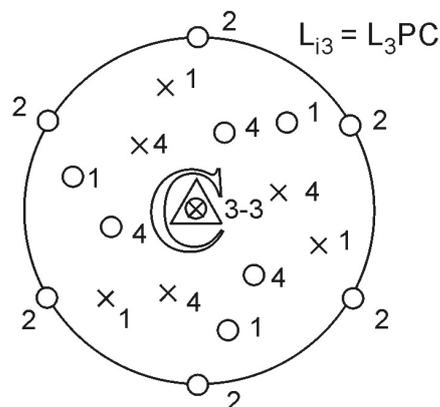


1. Дипирамида ромбическая
2. Призма ромбическая
3. Призма ромбическая
4. Пинакоид
5. Пинакоид

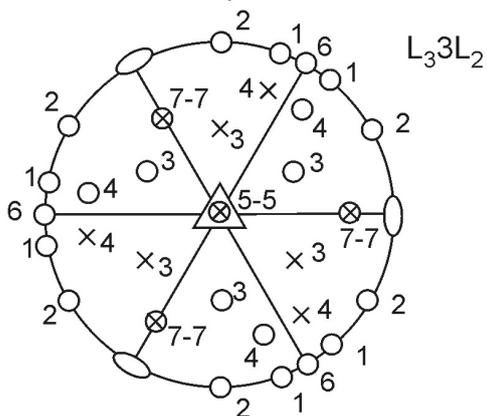
Средняя категория
Тригональная сингония



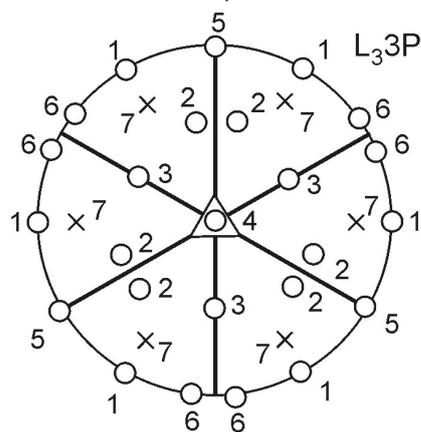
1. Тригональная пирамида
2. Тригональная пирамида
3. Тригональная призма
4. Моноэдр



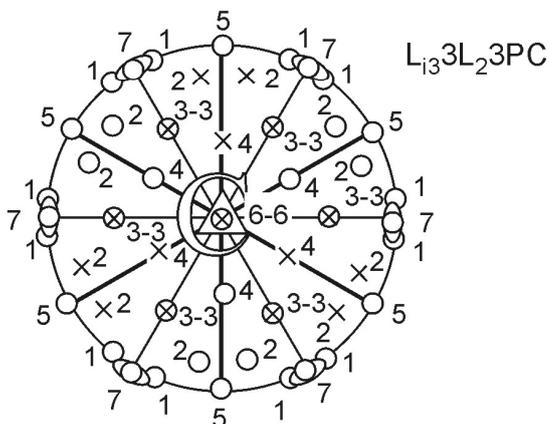
1. Ромбоэдр
2. Гексагональная призма
3. Пинакоид
4. Ромбоэдр



1. Дитригональная призма
2. Гексагональная призма
3. Ромбоэдр
4. Тригональный трапецоэдр
5. Пинакоид
6. Тригональная призма
7. Тригональная дипирамида

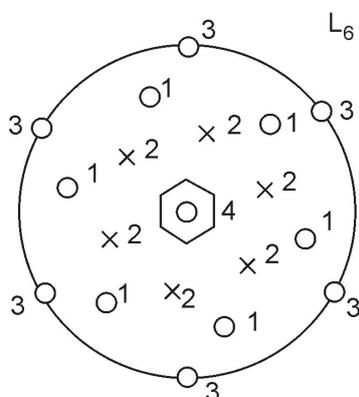


1. Гексагональная призма
2. Дитригональная пирамида
3. Тригональная пирамида
4. Моноэдр
5. Тригональная призма
6. Дитригональная призма
7. Гексагональная пирамида

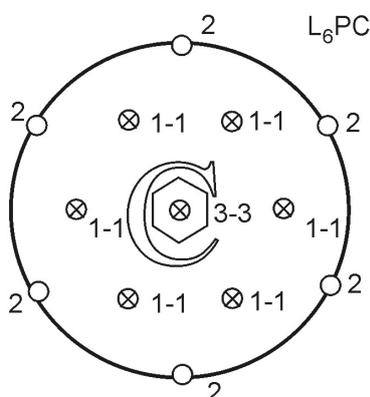


1. Дитригональная призма
2. Тригональный скаленоэдр
3. Гексагональная дипирамида
4. Ромбоэдр
5. Гексагональная призма
6. Пинакоид
7. Гексагональная призма

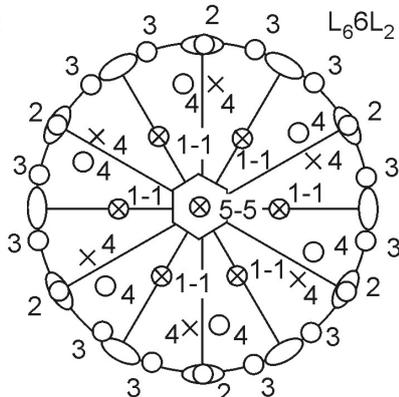
Средняя категория
Гексагональная сингония



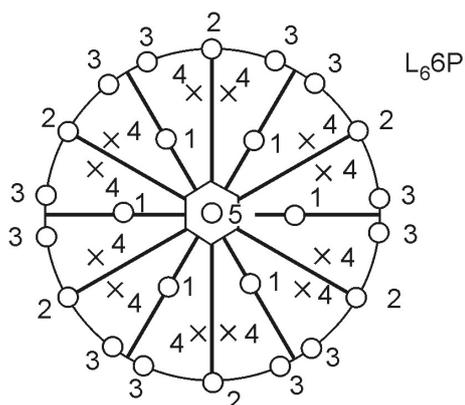
- 1. Гексагональная пирамида
- 2. Гексагональная пирамида
- 3. Гексагональная призма
- 4. Моноэдр



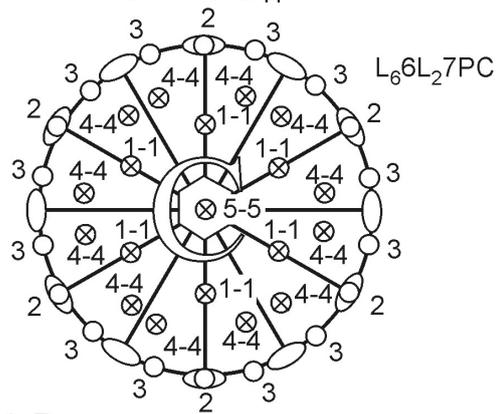
- 1. Гексагональная дипирамида
- 2. Гексагональная призма
- 3. Пинакоид



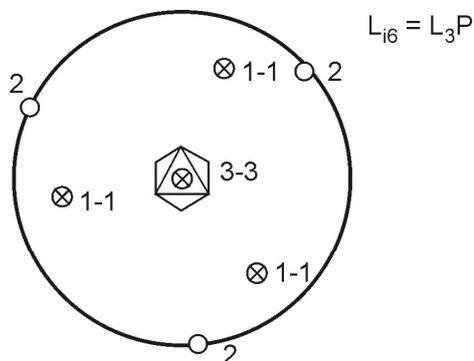
- 1. Гексагональная дипирамида
- 2. Гексагональная призма
- 3. Дигексагональная призма
- 4. Гексагональный трапецоэдр
- 5. Пинакоид



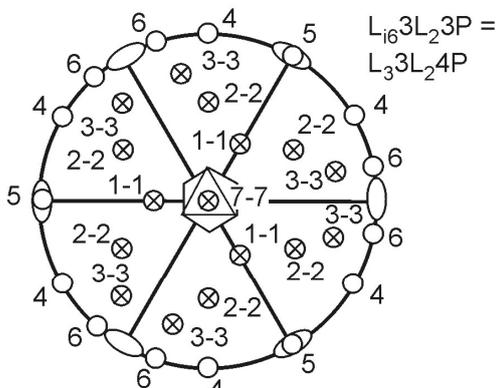
- 1. Гексагональная пирамида
- 2. Гексагональная призма
- 3. Дигексагональная призма
- 4. Дигексагональный пирамида
- 5. Моноэдр



- 1. Гексагональная дипирамида
- 2. Гексагональная призма
- 3. Дигексагональная призма
- 4. Дигексагональный дипирамида
- 5. Пинакоид

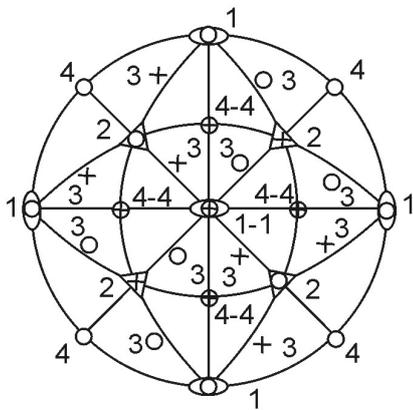


- 1. Тригональная дипирамида
- 2. Тригональная призма
- 3. Пинакоид



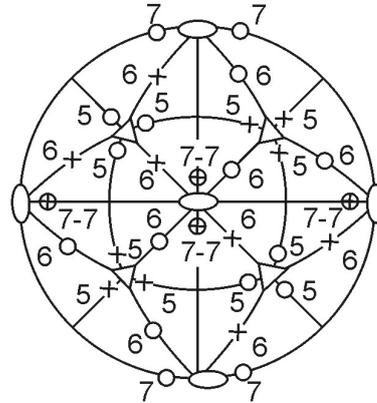
- 1. Тригональная дипирамида.
- 2. Гексагональная дипирамида.
- 3. Дитригональная дипирамида.
- 4. Гексагональная призма.
- 5. Тригональная призма.
- 6. Дитригональная призма.
- 7. Пинакоид.

Высшая категория
Кубическая сингония

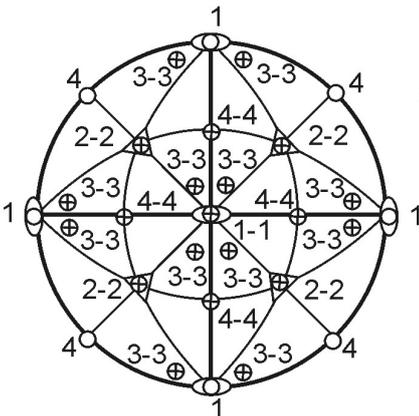


$4L_33L_2$

1. Куб
2. Тетраэдр
3. Пентагон-тритетраэдр
4. Ромбододекаэдр

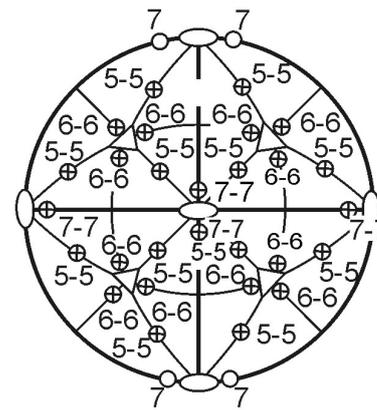


5. Тетрагон-тритетраэдр
6. Тригон-тритетраэдр
7. Пентагондодокаэдр

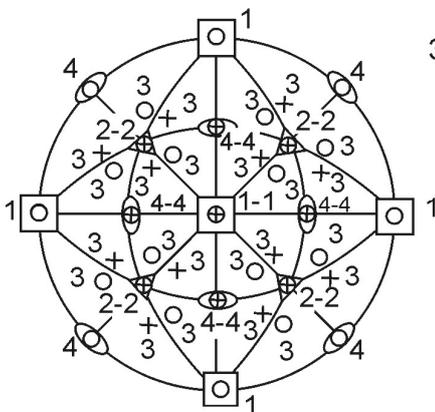


$4L_33L_23P$

1. Куб
2. Октаэдр
3. Дидодокаэдр
4. Ромбододекаэдр

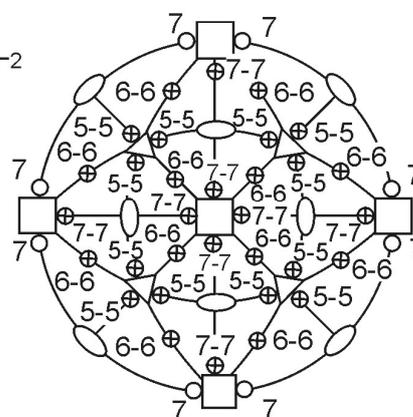


5. Тетрагон-триоктаэдр
6. Тригон-триоктаэдр
7. Пентагондодокаэдр



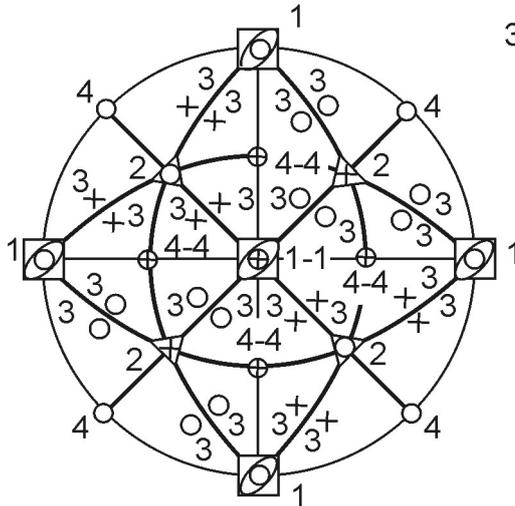
$3L_44L_36L_2$

1. Куб
2. Октаэдр
3. Пентагон-триоктаэдр
4. Ромбододекаэдр



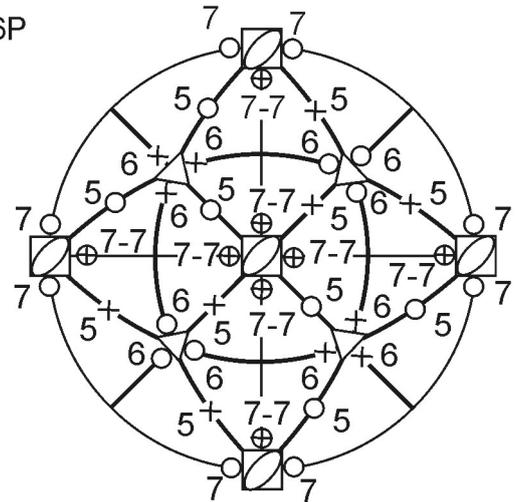
5. Тригон-триоктаэдр
6. Тетрагон-триоктаэдр
7. Тетрагексаэдр

Высшая категория
Кубическая сингония

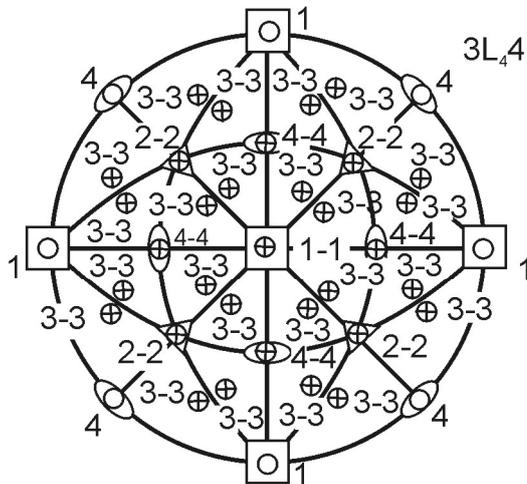


$3L_4 4L_3 6P$

1. Гексаэдр
2. Тетраэдр
3. Гексатетраэдр
4. Ромбододекаэдр

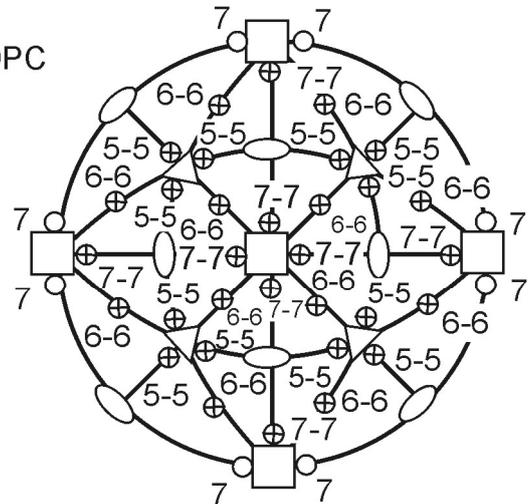


5. Тригон-тритетраэдр
6. Тетрагон-тритетраэдр
7. Тетрагексаэдр



$3L_4 4L_3 3L_2 9PC$

1. Гексаэдр
2. Октаэдр
3. Гексаоктаэдр
4. Ромбододекаэдр



5. Тригон-триоктаэдр
6. Тетрагон-триоктаэдр
7. Тетрагексаэдр

ПРИМЕР ОФОРМЛЕНИЯ ОТЧЕТА

Министерство образования и науки Российской Федерации
ФГБОУ ВПО «Южно-Уральский государственный университет (НИУ)»
Филиал в г. Миассе
Кафедра минералогии и геохимии

Лабораторная работа № 6

Измерение кристалла галенита

Дисциплина Кристаллография

Группа _____

Студент _____

Преподаватель _____

Миасс
2014

Галенит, PbS

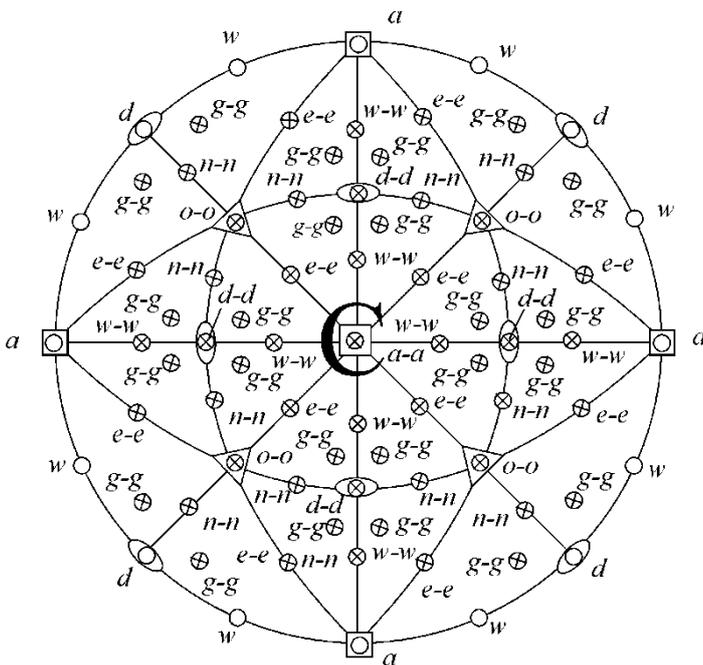
Категория высшая.

Сингония кубическая.

Вид симметрии – планаксиальный.

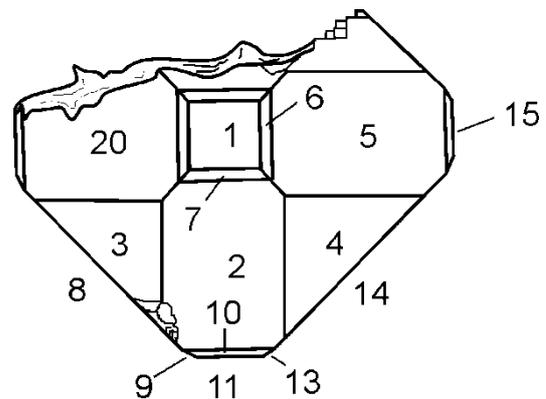
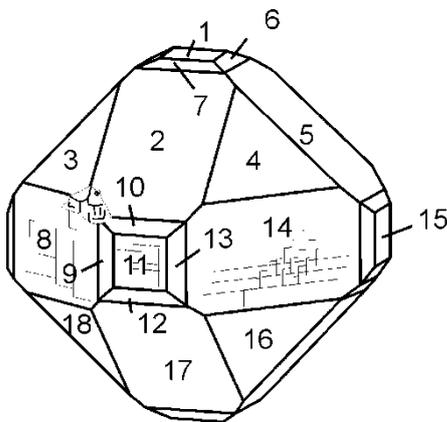
$3L_44L_36L_29P_6$ ($m\bar{3}m$).

Цвет свинцово-серый, блеск металлический, спайность совершенная, излом ступенчатый.



Вывод простых форм для вида симметрии $3L_44L_36L_29P_6$ ($m\bar{3}m$):

- a – гексаэдр,
- o – октаэдр,
- d – ромбододекаэдр,
- w – тетрагексаэдр,
- e – тетрагон-триоктаэдр,
- n – тригон-триоктаэдр,
- g – гексоктаэдр.



Замеры углов между гранями кристалла

№ первой грани	№ второй грани	углы между гранями, град.
1	2	45
1	3	55
1	4	55
1	6	26,5
1	7	26,5
2	3	35
2	4	35
2	10	26,5
3	8	35
3	4	70,5
4	5	35
4	11	55
3	11	55
8	9	26,5
2	14	60
2	8	60
2	5	60
16	17	35
14	17	60
8	11	26,5
14	16	35
1	5	45

Расчет символов граней

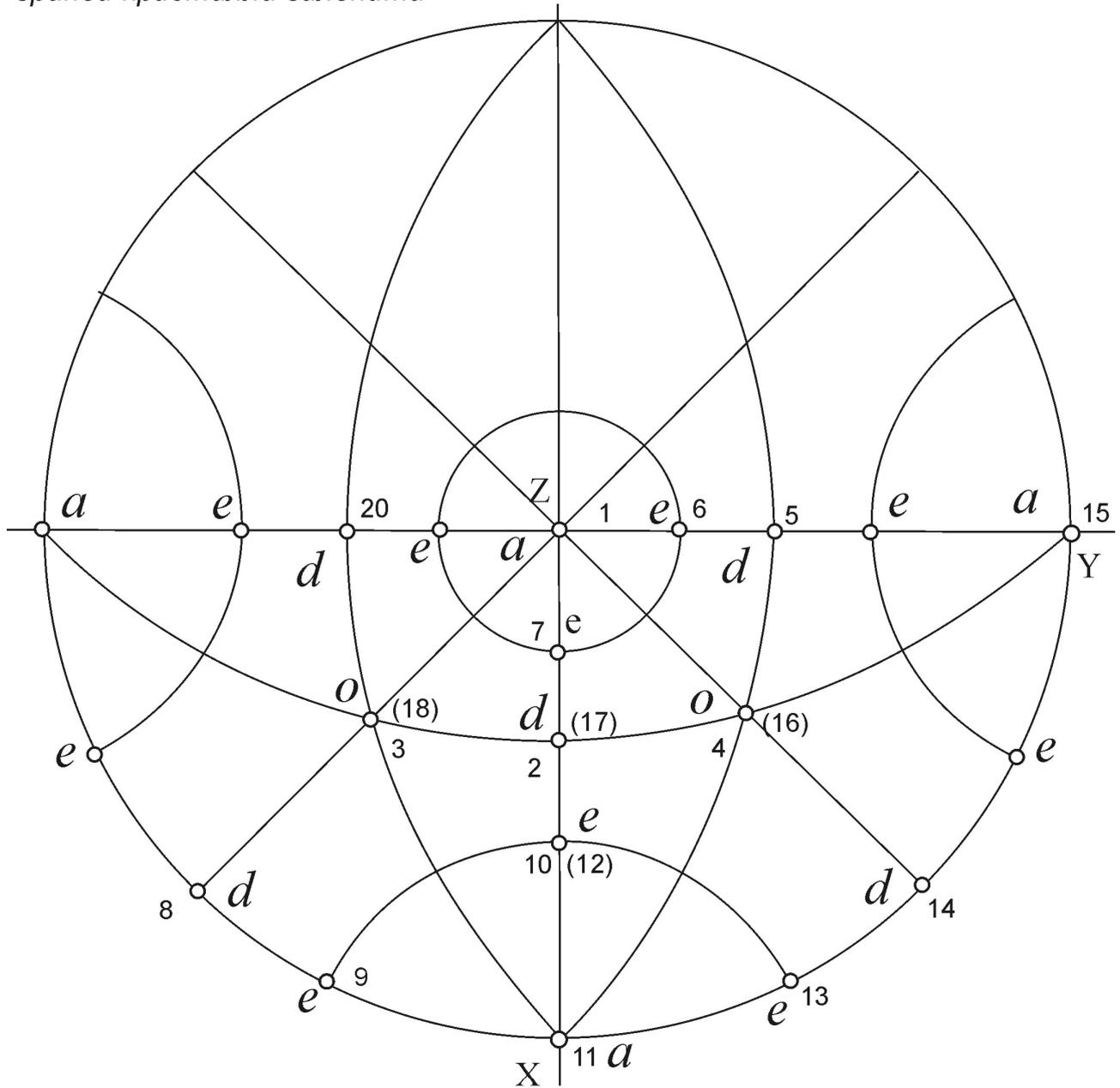
Грань	Углы с осями, градусы			Косинусы углов			Частное от деления \cos грани/ \cos ед. грани			Символ грани
	+X	+Y	+Z	+X	+Y	+Z	+X	+Y	+Z	
4	55	55	55	0.574	0.574	0.574	1	1	1	111
13	26,5	63,5	90	0.895	0.449	0	1.559	0.782	0	210
2	90	45	45	0	0.707	0.707	0	1.232	1.232	011
11	90	90	90	0	0	0	1	0	0	100

Простые формы кристалла

№ п/п	Обоз- наче- ние форм	Название	Символ формы	Угловые координаты, градусы		Номера граней простых форм 1)	Примечание
				φ	ρ		
1	а	гексаэдр	100	90	90	1, 11, 15	
2	о	октаэдр	111	45	54.5	3, 4, 16, 18	
3	d	ромбододекаэдр	110	45	90	2, 5, 8, 14, 17, 20	границы со штриховкой
4	е	тетрагексаэдр	120	26,5	90	6, 7, 9, 10, 12, 13,	

Спайность по кубу $\{100\}$ – 3 направления.

Гномостереографическая проекция
граней кристалла галенита



Цифры - номера граней кристалла,
строчные буквы - простые формы,
X, Y, Z - оси координат

(Примечание: чертеж на кальке)

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	3
Лабораторная работа 1. Реальные кристаллы.....	4
Лабораторная работа 2. Определение элементов симметрии кристаллов.....	5
Лабораторная работа 3. Определение простых форм кристаллов.....	5
Лабораторная работа 4. Стереографические проекции.....	7
Лабораторная работа 5. Графическое вычисление кристаллов.....	16
Лабораторная работа 6. Измерение и расчеты реальных кристаллов.....	22
Библиографический список.....	23
Приложения	
Приложение 1. 32 вида симметрии кристаллов.....	24
Приложение 2. Простые формы кристаллов низшей и средней категорий.....	25
Приложение 3. Простые формы кристаллов высшей категории (кубической сингонии).....	26
Приложение 4. Сетка Вульфа.....	27
Приложение 5. Стереографические проекции элементов симметрии.....	31
Приложение 6. Зональные соотношения граней простых форм.....	32
Приложение 7. Задачи на вычисление кристаллов.....	34
Приложение 8. Гномостереографические проекции простых форм кристаллов.....	43
Приложение 9. Пример оформления отчета.....	49

КРИСТАЛЛОГРАФИЯ

Методические указания по выполнению
лабораторных работ

Техн. редактор *А.В.Миних*

Издательский центр Южно-Уральского государственного университета

Подписано в печать 11.12.2014. Формат 60×84 1/16. Печать цифровая.
Усл. печ. л. 3,25. Тираж 30 экз. Заказ 692/525.

Отпечатано в типографии Издательского центра ЮУрГУ.
454080, г. Челябинск, пр. им. В.И. Ленина, 76.