**Министерство образования РФ**

**Северо-Кавказский ГТУ**

**Кафедра:** геология нефти и газа

**КУРСОВАЯ РАБОТА**

**Тема:** *“Микроскопическое изучение*

 *оптических свойств кристаллов”*

Выполнил: студент

**.**

Принял

Ставрополь 2001

**ОГЛАВЛЕНИЕ**

Введение…………………………………………………………………4

Глава 1. Оптическая индикатриса кристаллов различных сингоний…………………………………………………………………5

Глава 2. Устройство микроскопа и его поверки………………….15

2.1 Устройство микроскопа…………………………….………..15

* 1. Основные поверки микроскопа…………………………….18

Глава 3. Плоскополяризованный свет……………………………...23

 3.1. Естественный и поляризованный свет……………………...23

 3.2. Преломление лучей……………………..……………………..25

Глава 4. Устройство призмы Николя и ход лучей через неё………………………………………………………………………..28

Глава 5. Изучение оптических свойств

кристаллов при одном Николе………………………………………29

5.1. Изучение формы кристаллов и спайности…………………29

5.2. Изучение цвета и плеохроизма минаралов………………...33

5.3. Определение величины показателя преломления минералов…………………………………………………………….34

5.4. Способы определения показателя

 преломления минералов……………………………………………..35

Глава 6. Исследование оптических свойств кристаллов

 при двух Николях…………………………………………….………37

6.1.Определение силы двойного лучепреломление минералов...37

Заключение……………………………………………….…………….33

Использованная литература…………………………….……………34

ВВЕДЕНИЕ

Наука о кристаллах – кристаллография изучает законы строения твердых тел, характеризует кристаллическое вещество закономерным геометрически правильным внутренним строением.

Доказано, что кристаллическое строение свойственно подавляющему большинству минералов и горных пород, слагающих земную кору, а значит имеет первостепенное значение в строении Земли.

В промышленности все материалы (металлы и сплавы, каменные строительные материалы, цемент и кирпич, и п.т.) –состоят из кристаллических зерен минералов.

 Кристаллография создала целый ряд специальных кристаллографических методик, имеющих большое практическое значение и распространение.

Наука о кристаллах дает общее понятие о свойствах и строении твердого вещества. По этому входит в комплекс общеобразовательных дисциплин.

Является основой для происхождения предметов минералого цикла – минералогии, петрографии, геохимии, учения о месторождениях полезных ископаемых.

 Многие учёные России внесли вклады в развитие этой науки. Такие как: М.В. Ломоносов, А. В. Гадолин, Е. С. Федоров, Ю. В. Вульф и многие другие.

Кристаллография и в настоящее время представляет огромный интерес и постоянно добавляется, новыми специалистами.

Глава 1. Оптическая индикатриса кристаллов различных сингоний

 При изучении оптических свойств кристаллов пользуются вспомогательной пространственной фигурой, построенной на показателях преломления и называемой оптической индикатрисой. Величина каждого радиуса – вектора индикатрисы выражает показатель преломления кристалла для тех световых волн, колебания которых совершаются в направлении данного вектора.

 Поместим мысленно внутри кристаллического тела светящуюся точку S (рис. 1). По некоторому направлению SNм здесь будут одновременно распространяться две световые волны М1 и М2, поляризованные во взаимно перпендикулярных плоскостях. Скорости распространения этих волн ν1 и ν2 различны. В связи с этим будут различны и показатели преломления волн n1 и n2, представляющие собой, как известно, обратные величины по отношению к скоростям.

 Пусть волна М1 идет быстрее (ν1>ν2); тем самым ее показатель преломления (n1) будет меньше соответственного показателя преломления (n2) для волны М2(n1<n2).

 Приняв точку S за исходную, проведем через нее прямые А1А1 и В2В2 параллельно колебаниям волн М1 и М2 (А1А1 параллельна колебаниям волны М1; В2В2 параллельна колебаниям волны М2). Прямые А1А1 и В2В2 взаимно перпендикулярны.

 На прямых А1А1 и В2В2 по обе стороны от S отложим в одном и том же произвольном масштабе величины показателей преломления n1 и n2 (n1 откладываем по А1А1, n2 – по В2В2).

 В результате получаем четыре точки А1, А1, В2, В2.

 Рассматривая волны, идущие по другим направлениям, мы будем получать новые четырехточия.

## Рис. 1. Построение оптической индикатрисы

 Теоретически доказано, что поверхность, обнимающая все указанные четырехточия, представляет собой либо трехосный эллипсоид, либо эллипсоид вращения, либо шар.Эта поверхность и носит название *оптической индикатрисы.* Оптическая индикатриса дает возможность определить для волн любого заданного направления ориентировку колебаний и величины соответственных показателей преломления. Величины этих осей дают в определенном масштабе показатели преломления. В частном случае сечение индикатрисы является окружностью. Это показывает, что световые волны, распространяющиеся в заданном направлении, не испытывают двупреломления.

 Рассмотрим отдельно все три указанные типа оптической индикатрисы.

**Высшая категория**. Кристаллы кубической сингонии являются, как уже указывалось выше, оптически изотропными. Лучи здесь идут с одинаковой скоростью и, следовательно, обладают одним показателем преломления. Соответственно этому, оптическая индикатриса в кристаллах кубической сингонии – шар*.*

 Охарактеризовать шаровую индикатрису можно лишь при помощи одной величины – радиуса шара. Радиус шара выражает показатель преломления. Следовательно, характеристика оптической индикатрисы кристаллов кубической сингонии заключается лишь в одной константе – показателе преломления n.

**Средняя категория**. Кристаллам средних сингоний (гексагональным, тетрагональным и тригональным) соответствует оптическая индикатриса в виде эллипсоида вращения.

 Поверхность эллипсоида вращения можно получить, путем вращения эллипса вокруг одной из его осей (рис. 2). При этом получаются два рода эллипсоидов вращения (рис. 3).

Рис. 2.Оптическая индикатриса кристалла низшей категории (трехосный эллипсоид)

## Рис. 3.Оптические индикатрисы для

## кристаллов средних сингоний

## а – положительного; б - отрицательного

 Первые (вытянутые) эллипсоиды соответствуют оптически положительным, а вторые (сплющенные) – оптически отрицательным кристаллам.

 В эллипсоидах вращения круговые сечения располагаются перпендикулярно оси вращения. Все другие их сечения эллипсами.

 Кристаллы средних сингоний обладают лишь одним единичным направлением, совпадающим с единственной осью высшего наименования. В свою очередь, соответствующая им оптическая индикатриса, имеющая форму эллипсоида вращения, также обладает лишь одним единичным направлением, совмещенным с осью вращения эллипсоида.

 Единичное направление кристалла должно совпасть с единичным направлением оптической индикатрисы.

 В эллипсоиде вращения сечение, перпендикулярное оси вращения, представляет окружность. Тем самым круговое сечение оптической индикатрисы располагается перпендикулярно оси симметрии высшего наименования.

 В гексагональном кристалле, оптическая индикатриса ориентирована в нем так, что ее ось вращения совмещена с шестерной осью симметрии (рис. 4).

## Рис. 4. Ориентировка оптической индикатрисы

##  в гексагональном кристалле

Круговые сечения эллипсоидов указывают на то, что перпендикулярно им световые волны идут, не раздваиваясь и не поляризуясь (любой радиус здесь представляет возможное направление колебаний). Значит вдоль оси вращения оптической индикатрисы идет один неполяризованный (не раздвоенный луч).

 Направление, по которому свет не испытывает двупреломления, называется оптической осью. Кристаллы средних сингоний имеют одну оптическую ось, т.е. являются оптически одноосными.

 Для характеристики оптической индикатрисы таких кристаллов достаточно ограничиться двумя величинами, а именно: половиной величины оси вращения эллипсоида и радиусом его кругового сечения.

 Отмеченные величины выражают наибольший и наименьший показатели преломления кристалла – ng и np и численно равные им полуоси оптической индикатрисы Ng и Np.

 В вытянутом (положительном) эллипсоиде вращения с осью вращения (главная ось симметрии кристалла) совпадает наибольшая ось индикатрисы (Ng). Наименьшая ось (Np) соответствует здесь радиусу кругового сечения.

 И наоборот, в сплющенном (отрицательном) эллипсоиде вращения главная ось симметрии кристалла (ось вращения) отвечает наименьшей оси (Np), а наибольшая ось индикатрисы (Ng) соответствует радиусу кругового сечения (рис. 3).

 **Низшая категория**. Оптические индикатрисы кристаллов низших сингоний (ромбических, моноклинных и триклинных) характеризуются эллипсоидами с тремя неравными взаимно перпендикулярными осями.

 Эти три оси по величине отвечают трем разным показателям преломления - ng>nm>np и обозначаются Ng, Nm, Np (рис. 2). Каждая ось является единичным направлением и соответствует двойной оси симметрии эллипсоида, а плоскость, перпендикулярная оси – плоскости его симметрии.

 Трехосный эллипсоид обладает двумя круговыми сечениями, проходящими через Nm. Перпендикулярно каждому круговому сечению проходит оптическая ось.

 Значит кристаллы низших сингоний обладают двумя оптическими осями (ОА1 и ОА2), т. е. являются оптически двуосными. Обе оптические оси лежат в плоскости плоскость оптических осей (Ng Np). Когда биссектриса острого угла между оптическими осями совпадает с Ng, имеем оптически положительный кристалл, а при совпадении с Np, кристалл оптически отрицателен.

 Рассмотрим ориентировку оптической индикатрисы в кристаллах низших сингоний. В трехосном эллипсоиде три неравные оси его (Ng, Nm, Np) являются тремя единичными направлениями эллипсоида.

 С этими тремя единичными направлениями кристалла и должны совместиться три единичных направления (три оси) оптической индикатрисы (рис. 5).

В ромбических кристаллах также всегда присутствуют три взаимно перпендикулярные единичные направления, совпадающие или с тремя двойными осями симметрии или с нормалями к плоскостям симметрии.

Рис. 5. Ориентировка оптической

 индикатрисы в ромбическом кристалле

 Однако по внешнему виду ромбического кристалла нельзя определить, какая именно ось индикатрисы (Ng, Nm, Np) совпадает с тем или иным его единичным направлением.

 Возьмем для примера кристалл в форме кирпичика или спичечной коробки. Здесь бросаются в глаза три серии разных по длине и взаимно перпендикулярных ребер. Тем не менее не следует предполагать, что параллельно наиболее длинным ребрам должна обязательно проходить наибольшая ось индикатрисы Ng. Также нельзя связывать средние и малые ребра кристалла с осями Nm и Np.

 Точное решение вопроса об ориентировке оптической индикатрисы требует применения уже кристаллооптических методов исследования.

 В кристаллах моноклинной сингонии всегда имеем одно характерное кристаллографическое направление, совпадающее с двойной осью (L2) или нормалью к плоскости симметрии (⊥Р) и совмещенное со второй кристаллографической осью. Это направление является единичным, и с ним всегда совпадает одна из трех осей (одно из трех направлений) оптической индикатрисы (Ng или Nm, или Np).

 Две другие оси эллипсоида лежат в плоскости, либо перпендикулярной двойной оси (L2), либо параллельной плоскости симметрии. При этом они образуют некоторые углы с ребрами кристалла.

 Величины таких улов являются характерными для каждого определенного вещества, кристаллизующегося в моноклинной сингонии. Вместе с тем для разных веществ они будут различными.

 В кристаллах триклинной сингонии нет осей и плоскостей симметрии. Все направления единичны. Вследствие этого оптическая индикатриса может ориентироваться в каждом веществе, кристаллизующемся в триклинной сингонии, по-разному. Здесь важное значение имеют углы, образованные осями индикатрисы с ребрами кристалла.

 Итак, при определении оптических свойств кристаллов низших сингоний необходимо прежде всего измерить три показателя преломления – ng, nm, np, являющиеся наиболее характерными оптическими константами, и определить, с какими кристаллографическими направлениями совпадают соответствующие им оси индикатрисы.

 Для моноклинных и триклинных кристаллов, как указывалось, характерны еще углы между осями индикатрисы и ребрами кристаллов.

 Кроме перечисленных оптических констант, необходимо также определять оптический знак кристалла и измерять острый угол между обеими оптическими осями. Этот угол обозначается 2V.

 Если почему-либо показатели преломления непосредственно не измеряются, важное значение приобретает так называемая величина (сила) двупреломления (ng*(наибольший показатель преломления)* – np *(наименьший показатель преломления)*). Эта константа посредством кристаллооптических методов может быть определена и в тех случаях, когда величины показателей преломления ng и np остаются неизвестными.

 Следует иметь в виду, что для лучей различного цвета (т. е. лучей, обладающих различными длинами волн) форма эллипсоида оптической индикатрисы в одном и том же кристалле может существенно меняться. В связи с этим изменяются и величины оптических констант. Это явление носит название дисперсии элементов оптической индикатрисы.

 В кристаллах моноклинной и триклинной сингоний явление дисперсии отличается особенно сложным характером. В моноклинных кристаллах, как упоминалось, одна из осей индикатрисы всегда совпадает с L2 или с нормалью к Р, а две другие оси располагаются в перпендикулярной ей плоскости. В связи с тем, что в этой плоскости все направления единичны, обе оси индикатрисы для лучей различных длин волн могут занимать различное положение. В кристаллах триклинной сингонии все направления единичны, все три оси индикатрисы для лучей разных длин волн могут быть по-разному ориентированы в кристалле.

#### ГЛАВА 2. Устройство микроскопа и его поверки

**2.1.УСТРОЙСТВО МИКРОСКОПА**

Исследование оптических свойств минералов производятся при помощи поляризационного микроскопа. Наиболее распространенными являются отечественные микроскопы моделей МП и МИН.

 Основными частями поляризационного микроскопа являются штатив, предметный столик, тубус, осветительное устройство и поляризационная система. Общий вид микроскопа представлен на рис. 7.

 Штатив имеет подковообразное основание и вертикальный кронштейн, с которым при помощи шарнира и закрепляющего винта (11) соединена станина, или тубусодержатель (12). Благодаря такому устройству тубусу можно придавать любое наклонное положение при горизонтальном положении основания.

 Предметный столик (6) микроскопа прикреплен к нижней части станины. Центральную часть столика с отверстием по середине можно вынуть выдавливанием ее снизу после опускания осветительного устройства и поднятия тубуса. На предметном столике имеются отверстия с резьбой для привинчивания специальных приборов (федоровский столик, ИСА, препаратоводитель) и отверстия без резьбы для прикрепления клемм, которые держат шлиф. Предметный столик имеет лимб, разделенный на 360°, и два нониуса, по которым можно брать отсчеты с точностью до 0,1°. Однако в обычной петрографической работе достаточна точность отсчета до 1°. Предметный столик должен свободно вращаться. С левой стороны его расположен стопорный винт (13), позволяющий закрепить столик в нужном положении.

 Тубус микроскопа расположен в верхней части станины. При помощи особого кремальерного устройства его можно приближать или удалять относительно предметного столика. Приближение тубуса к столику микроскопа (опускание) осуществляется вращением кремальерного винта «от себя», а удаление (поднятие) – вращением винта «к себе».

 В нижней части тубуса находятся щипцы, которые держат объектив (5). Чтобы вставить объектив, необходимо левой рукой нажать на щипцы, а правой рукой надеть объектив и повернуть его против часовой стрелки на 90°. Затем щипцы отпускают и проверяют, захватили ли они наклонный шпенек, имеющийся на обойме каждого объектива.

 Объективы вместе с окуляром хранятся в специальной коробке. К микроскопам МП приложены объективы 3×, 8×, 20×, 40× и 60×; у каждого из них есть центрирующие обоймы.

 Выше щипцов в тубусе имеется сквозная прорезь, расположенная под углом 45° к плоскости симметрии микроскопа, в которую в процессе работы вставляют компенсаторы.

 Над прорезью в тубусе размещается анализатор (4), который вводится слева до упора. В верхней части тубуса, параллельно анализатору, расположена линза Бертрана (2), необходимая только при получении коноскопии. Линза имеет диафрагму, может быть центрирована и фокусирована специальной кремальерой (1).

 Сверху в тубус вставляется окуляр (15). К микроскопам МП прилагаются окуляры 5×, 8×, 12,5× и 17×, имеющие крест нитей, и окуляр 6×, в который можно вложить сетчатый или линейный микрометр. Окуляр с крестом нитей вставляют так, чтобы одна из нитей была параллельна плоскости симметрии микроскопа, а другая перпендикулярна ей.

 Осветительное устройство (9) поляризационного микроскопа расположено под предметным столиком и состоит из зеркала и двух конденсоров. Зеркало двойное – плоское и вогнутое. Обычно пользуются вогнутым зеркалом, а при малых увеличениях и широком, удаленном от микроскопа источнике света – плоским.

 Нижний конденсатор превращает пучок света, отраженного от зеркала, в несколько сходящийся и усиливает освещенность препарата. Над ним помещена ирисовая диафрагма, с помощью которой можно суживать отверстие конденсора и делать пучок света более параллельным. Второй конденсор – линза Лазо – употребляется при работе с большими увеличениями и главным образом для получения коноскопии. При необходимости линзу можно вводить специальным рычагом, расположенным под столиком.

 Осветительная система вместе с поляризатором специальным маховичком может быть опущена вниз и откинута влево. Обычно же она должна быть поднята до самого предметного столика.

 Поляризационная система микроскопа представлена двумя николями. Нижний николь – поляризатор (8) – помещен под предметным столиком, ниже осветительных конденсоров и диафрагмы. Верхний - анализатор (4) – находится в тубусе микроскопа между объективом и окуляром.

 Поляризатор можно повернуть в обойме и закрепить специальным винтом. Обычно поляризатор располагают таким образом, чтобы направление пропускаемых им колебаний было параллельно вертикальной нити окуляра (плоскости симметрии микроскопа).

 Анализатор, как правило, может быть либо выведенным из тубуса, либо введенным в него. Направление пропускаемых анализатором колебаний должно быть перпендикулярно направлению колебаний, пропускаемых поляризатором. В некоторых микроскопах (например, МП-6) анализатор может быть повернут на определенный угол до 90°, но делается это только при специальных исследованиях.

**2.2. ОСНОВНЫЕ ПОВЕРКИ МИКРОСКОПА**

Перед началом работы с поляризационным микроскопом необходимо установить его в рабочее положение – сделать поверки. Рекомендуется проводить их в такой последовательности.

1. Придают тубусу удобное для работы наклонное положение и зажимают закрепляющий винт. Проверив, выключены ли линзы Лазо и Бертрана, а также анализатор и открыта ли диафрагма, налаживают правильное освещение. Для этого вращением и наклонами вогнутого зеркала направляют световой пучок от источника света в микроскоп и добиваются равномерно яркого освещения поля зрения.
2. Прикрепляют шлиф к предметному столику, вставляют объектив и производят фокусировку. При фокусировке объективов со слабыми увеличениями (3× или 8×) тубус опускают винтом макроподачи до появления изображения, а затем уточняют фокусировку винтом микроподачи.

 Фокусировку объективов с сильными увеличениями (40×, 60×) во избежание опасности раздавить шлиф объективом осуществляют таким образом: осторожно, наблюдая сбоку, винтом макроподачи опускают тубус до соприкосновения объектива с покровным стеклом шлифа, а затем, подымая тубус (лучше микроподачей), улавливают изображение.

1. Проверяют центрировку объектива. Для этого передвижением шлифа по предметному столику ставят на центр креста нитей какую-либо маленькую заметную точку и вращают столик. Если объектив центрирован, то выбранная точка не сойдет с перекрестья нитей. При отсутствии центрировки точка сойдет с перекрестья и опишет в поле зрения окружность. Если центрировка объектива сильно нарушена или объектив неправильно зажат в щипцах, то выбранная точка может совсем уйти из поля зрения. Поэтому прежде чем начать центрировку, необходимо убедиться, что объектив вставлен правильно, т.е. что шпенек на его обойме вошел в прорезь щипцов.

 Центрируют объектив обычно следующим образом:

 а) после выбора точки в шлифе и установки ее на перекрестье нитей поворачивают предметный столик на 180°;

 б) перемещением шлифа по предметному столику подвигают выбранную точку к кресту нитей на половину того расстояния, на которое она отошла при вращении;

 в) надевают на центрировочные винты объектива специальные ключи и, ввинчивая или вывинчивая их, изменяют положение объектива так, чтобы выбранная точка попала на перекрест нитей;

 г) проверяют проведенную центрировку вращением столика микроскопа. Если же объектив вновь оказывается не центрированным, то все указанные операции повторяют снова.

 При сильном нарушении центрировки сначала вращением столика устанавливают, в каком направлении от центра расположен выход оси вращения. Затем центрировочными винтами перемещают видимые зерна так, чтобы приблизить ось вращения к центру нитей. Как только выбранная для центрировки точка окажется в пределах поля зрения, центрировку производят обычным способом.

 При некотором опыте работы с микроскопом центровку объектива можно осуществлять только центрировочными винтами. В этом случае выбирают маленькую точку, ставят ее на перекрестье, поворачивают столик на 180°. Затем выбранную точку передвигают центрировочными винтами на половину расстояния к перекрестью, замечают новую, оказавшуюся на кресте, точку и повторяют операции до тех пор, пока выбранная точка не будет описывать окружность вокруг перекрестья нитей. Такой способ центрировки особенно удобен, когда нежелательно лишнее передвигание шлифа.

1. Проверяют взаимную перпендикулярность нитей креста в окуляре. Выбирают в шлифе прямую линию (спайность, край удлиненного зерна), поворачивают предметный столик так, чтобы она расположилась параллельно одной из нитей окуляра, и берут отсчет по нониусу столика. Затем, вращая столик, устанавливают эту же линию параллельно другой нити окуляра и вновь берут отсчет. Разность отсчетов должна быть равной 90°. Если нити окажутся не взаимно перпендикулярными, исправить это может только механик.
2. Проверяют, находятся ли николи в скрещенном положении. Так как поляризатор и анализатор должны пропускать свет с колебаниями во взаимно перпендикулярных плоскостях, при введении анализатора поле зрения (без шлифа!) должно быть темным. Если же этого нет, то при введенном анализаторе нужно повернуть поляризатор, предварительно ослабив стопорный винт, пока поле зрения не станет темным, и вновь зажать винт.
3. Проверяют совпадение нитей окуляра с направлениями колебаний света, пропускаемых поляризатором и анализатором. Данную поверку производят обычно при помощи удлиненной пластинки биотита со спайностью. Поворотом столика добиваются, чтобы спайность (или удлиненная сторона) пластинки биотита оказалась параллельной одной их нитей окуляра. При включенном анализаторе пластинка биотита должна быть темной, т. е. Стоять на погасании. Если же этого не наблюдается, то нужно обращаться к механику.
4. Определяют направление колебаний, пропускаемых поляризатором. Для этого можно воспользоваться той же пластинкой биотита. Вращением предметного столика добиваются наиболее интенсивной окраски биотита (без анализатора!). В данный момент удлинение (и спайность) пластинки окажется параллельным одной из нитей окулярного креста, которая и будет соответствовать направлению колебаний, пропускаемых поляризатором. Обычно поляризатор пропускает колебания, параллельные плоскости симметрии микроскопа (вертикальной нити окуляра), но может наблюдаться и обратное положение. Поэтому, начиная работу с незнакомым микроскопом, эту поверку делать совершенно необходимо.

Кроме перечисленных поверок, каждому исследователю надлежит усвоить, во-первых, что прибор должен всегда стоять так, чтобы было удобно работать, и, во-вторых, хотя в микроскоп смотрят одним глазом, второй не должен быть закрыт и особенно прищурен. Начинающим можно рекомендовать закрывать глаз рукой или одевать щиток из бумаги на верхнюю часть тубуса. Очень полезно привыкнуть в процессе работы смотреть в тубус то правым, то левым глазом.

ГЛАВА 3. ПЛОСКОПОЛЯРИЗОВАННЫЙ СВЕТ

**3.1. ЕСТЕСТВЕННЫЙ И ПОЛЯРИЗОВАННЫЙ СВЕТ**

 Различают свет естественный и поляризованный. Колебания естественного света совершаются во всех плоскостях, проходящих через направление распространения луча, во всех направлениях, перпендикулярных лучу. Колебания же поляризованного света совершаются в плоскости, перпендикулярной лучу, но по параллельным направлениям. Плоскость, перпендикулярная плоскости колебаний, называется плоскостью поляризации. Поляризация света происходит при отражении, при прохождении света через кристаллическое вещество. Она может быть полной или частичной.

Свет одновременно обладает и волновыми, и корпускулярными свойствами. В основу кристаллооптических исследований положена волновая теория. Свет рассматривается как электромагнитные колебания, распространяющиеся волнами во все стороны от источника света с большой скоростью.

 В световом колебательном движении различают направление колебаний и направление распространения колебаний. Прямые, по которым распространяется свет, называются световыми лучами. Направление световых колебаний перпендикулярно направлению распространения света. Световые колебания являются гармоническими, т.е. совершаются через определенные промежутки времени.

 В гармоническом колебательном движении выделяются следующие элементы (рис. 9):

Рис. 9. Элементы гармонического колебательного движения.

1. Амплитуда (А) – наибольшее расстояние, на которое колеблющаяся точка отклоняется от своего положения равновесия.
2. Период колебаний – промежуток времени, в течение которого точка совершает одно полное колебание (аа′).
3. Частота колебания – число полных колебаний в секунду.
4. Фаза – состояние колебания в данной точке в данный момент, т.е. угол, на который отклоняются частицы от положения равновесия. Различают одинаковые фазы и противоположные. Точки одинаковых фаз располагаются по одну сторону от положения равновесия и движутся в одну сторону (1 и 1′). Точки противоположных фаз располагаются по разным сторонам от положения равновесия и движутся в разные стороны (2 и 2′).
5. Длина волны (λ) – расстояние, на которое распространяется колебательное движение за один период. Иными словами, длина волны есть расстояние между ближайшими точками, находящимися в одинаковых фазах.

 К области видимого света относятся электромагнитные колебания с длинами волн от 380 мкм (фиолетовая часть спектра) до 780 мкм (красная часть спектра). Белый свет практически представляет собой смесь световых колебаний всех возможных длин волн. Свет какой-либо одной длины волны называется монохроматическим. Рентгеновские лучи и радиоволны имеют также электромагнитную природу и отличаются от видимого света только длиной волны. У первых длина волны меньше 380 мкм, а у вторых – больше 780 мкм.

 Если два луча распространяются в одном и том же направлении и обладают одной и той же длиной волны, то они взаимодействуют или интерферируют между собой. Наиболее простой случай интерференции наблюдается, когда оба интерферирующих луча поляризованы в одной плоскости.

**3.2. ПРЕЛОМЛЕНИЕ ЛУЧЕЙ**

 При переходе света из одной среды в другую происходит изменение скорости распространения света, или, преломление световых лучей. Это происходит из-зи того, что скорость распространения света в разных средах различна. В вакууме она приблизительно равна 300 000 км/с, во всех других средах меньше.

 Существует определенная зависимость между углом падения луча и изменением скорости. Для данных двух сред отношение синуса угла падения к синусу угла преломления есть величина постоянная, равная отношению скорости света в первой среде к скорости света во второй среде. Это отношение называется показателем преломления среды второй относительно первой и обозначается N.

 Показатель преломления какой-либо среды относительно пустоты называют абсолютным показателем преломления. Вследствие того, что скорость распространения света в пустоте является наибольшей, абсолютный показатель преломления всегда больше единицы. Практически показатель преломления определяется относительно воздуха (его N = 1,0003).

 При прохождении света из среды с меньшим показателем преломления в среду с большим показателем преломления угол преломления меньше угла падения. Если же свет идет из среды с большим показателем преломления, то угол преломления больше угла падения. Поэтому из пучка лучей найдется луч, который после преломления пойдет по границе сред. Угол падения такого луча называется предельным.

 При угле падения, большем предельного, падающий луч полностью отразится от поверхности раздела двух сред (рис. 11). Это явление носит название полного внутреннего отражения. Таким образом, полное внутреннее отражение наблюдается тогда, когда луч из среды с большим показателем преломления попадает в среду с меньшим показателем преломления под углом, превышающим предельный. Чем значительнее разница в показателях преломления двух сред, тем меньше предельный угол и тем большая часть падающих лучей испытает полное внутреннее отражение.

 Луч естественного света, войдя в кристалл, преломляется и разделяется на два луча, идущих с различными скоростями и поляризованных в двух взаимно перпендикулярных плоскостях. Такое явление называют двойным лучепреломлением, или двупреломлением.

Рис. 11. Преломление света на границе двух сред с различными показателями преломления.

N > n. ϕ - предельный угол падения. Луч 4 испытывает полное внутреннее отражение.

Рассмотрим два случая двупреломления лучей. Один из возникших при двупреломлении лучей идет с одинаковой скоростью по разным направлениям в кристалле, а другой меняет скорость в зависимости от направления. Первый луч называют обыкновенным (ordinarius) и обозначают *о*, а второй – необыкновенным (extraordinarius) и обозначают *е.*

Явление двупреломления связано с анизотропностью кристаллов, т.е. с неодинаковыми свойствами кристаллов. В веществах с одинаковой скоростью распространения света двупреломление не происходит. В анизотропных веществах двупреломление происходит во всех направлениях (кроме направлений оптических осей).

**ГЛАВА 4. УСТРОЙСТВО ПРИЗМЫ НИКОЛЯ И**

 **ХОД ЛУЧЕЙ ЧЕРЕЗ НЕЁ.**

 Входя в кристалл, световой луч, разбивается на два луча, распространяющихся с разными скоростями и поляризованных в двух взаимно перпендикулярных плоскостях.

 При выходе из кристалла, световые колебания одного пучка будут перпендикулярны по отношению к световым колебаниям второго. Для того чтобы, получить свет, поляризованный в одной плоскости, достаточно погасить один из указанных световых пучков. Что выполняется в призме Николя.

Призма изготавливается таким способом; кристалл прозрачного кальцита (исландского шпата – СаСО3) разрезается под определенным углом к ребрам на две части. Затем обе части склеиваются особым клеем - канадским бальзамом. Показатель преломления канадского бальзама n ≈ 1,54.

 Параллельный пучок света, входя а призму, разбивается на два распространяющихся с различными скоростями поляризованных световых пучка. Для одного из этих пучков показатель преломления кальцита 1,53 – 1,54, для другого – 1,658. Обратим внимание но то, что первый показатель почти равен показателю преломления канадского бальзама. Световой пучок, соответствующий ему, беспрепятственно проходит сквозь прослойку бальзама с близким ему показателем преломления.

 Второй пучок, соответствующий большему показателю преломления (1,658), дойдя до упомянутой прослойки, должен преломиться.

 При изготовлении призмы Николя плоскость ее разреза ориентируется так, чтобы второй пучок испытал полное внутренне отражение. Таким образом, достигнув прослойки канадского бальзама, этот пучок не проходит через нее, а целиком отражается, поглощаясь зачерненной оправой призмы Николя. В результате из двух световых пучков через николь проходит лишь один, отвечающий показателю преломления 1,53 – 1,54.

**ГЛАВА 5. Изучение оптических свойств**

**кристаллов при одном Николе**

**5.1. ИЗУЧЕНИЕ ФОРМЫ КРИСТАЛЛОВ И СПАЙНОСТИ**

Формы кристаллов зависит от кристаллографических особенностей минерала, условий кристаллизации, химического состава и др. В условиях свободного роста образуются кристаллы, которые обладают правильными, присущими только данному минералу формами. В шлифах минерал обычно встречается в виде неправильных, округлых зерен и значительно реже представлен широко таблитчатыми или несколько удлиненными кристаллами с бипирамидальными окончаниями. Для кристаллов слюды характерен пластинчатый облик, а в шлифах они часто имеют шестиугольную или вытянутую – призматическую, шестоватую форму.

###  Зерна, имеющие для данного минерала характерные очертания, называются *идиоморфными*.

 Если кристаллы в процессе роста приобретают свою характерную форму только частично, они называются *гипидиоморфными*.

 В тех случаях, когда кристаллы минералов не имеют правильных кристаллографических очертаний и образуют зерна неправильной формы, они называются *ксеноморфными*.

# Степень идиоморфизма минералов

### Рис. 12

Зерна: 1 – идиоморфные, 2 – гипидиоморфные, 3 - ксеноморфные

 Наиболее часто минералы в шлифах наблюдаются в виде зерен изометрической, таблитчатой, призматической формы, реже встречаются минералы, которым присущи шестоватая и игольчатая формы (рис.13).

# Форма зерен минералов

## Рис. 13

1 – изометрическая, а/b=1; 2 – таблитчатая, а/b от 2 до 4;

1. – призматическая, а/b от 4 до 10; 4 – шестоватая,

а/b от 10 до 20; 5 – игольчатая, а/b

 Спайность – это свойство кристаллов раскалываться (расщипляться) при ударе или давлении по определенным направлениям (чаще всего параллельно граням). В зернах минералов, обладающих спайностью, наблюдается система параллельных трещин, хорошо заметных под микроскопом. Под микроскопом различают минералы с совершенной и несовершенной спайностью. Минераллы, обладающие совершенной спайностью, наблюдаются тонкие, четкие трещины параллельные друг другу (рис. 14, а).

 У минералов с несовершенной спайностью линии трещин чаще широкие или прерывистые, но могут быть тонкими и извилистыми, не всегда строго параллельными. Однако единое направление трещин видно достаточно отчетливо (рис. 14, б, в). Минералы не обладающие спайностью, не имеют трещин, либо они неровные, извилистые и беспорядочные (рис. 14, г).

# Типы спайности

## Рис. 14

 Трещины спайности могут проходить в разных направлениях.

Так например в одном направлении можно наблюдать у слюды, в двух минералы группы полевых шпатов, амфиболов, пироксенов и др., в трех кальцита, доломита, галита и некоторых других минералов, в четырех у флюорита и шести у сфалерит направлениях.

 Для минералов, имеющих спайность в двух и более направлениях, один из диагностических признаков – величина угла между трещинами - ***угол спайности***. Особенно важно его определение для минералов группы амфиболов и пироксенов, сходных между собой по ряду других оптических констант и резко различающихся по величине угла спайности. У первых он составляет 56°, а у вторых - 87° (рис. 14, д, е).

**5.2. ИЗУЧЕНИЕ ЦВЕТА И ПЛЕОХРОИЗМА МИНЕРАЛОВ**

 Минералы также различают по цвету зерна и выделяют две группы, *непрозрачные* – полностью поглощающие световые лучи и *прозрачные* – полностью или частично пропускающие свет. К первой относятся в основном рудные минералы. Ко второй относят породообразующие минералы.

В шлифах минералы могут иметь другой цвет. Окрашенными в шлифах выглядят минералы, которые лучи разных длин волн поглощают их по-разному. Бесцветными кажутся минералы, поглощающие одинаковые лучи с различной длиной волны.

 Большинство окрашенные минералы, кристаллизующиеся во всех сингониях кроме кубической, обладают плеохроизмом. Плеохроизмом называется свойство кристаллов изменять окраску в зависимости от направления световых колебаний, проходящих через них. Оно обусловлено различным характером поглощения световых лучей по разным направлениям в кристалле и проявляется при изучении окрашенных минералов под микроскопом при одном николе.

 У минералов, обладающих плеохроизмом, наблюдается постепенное изменение окраски.

 У одних минералов плеохроизм выражается в изменении цвета, у других – в изменении интенсивности окраски, у третьих – в изменении и цвета, и интенсивности.

**5.3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕЛИЧИНЫ ПОКАЗАТЕЛЯ ПРЕЛОМЛЕНИЯ МИНЕРАЛОВ.**

 Показатель преломления n – один из важнейших диагностических признаков минералов. Определение его, в зависимости от цели исследования, проводится разными методами с различной степенью точности. Для наиболее точного определения величины показателя преломления пользуются кристалл-рефрактомером. Измерение показателя преломления этим прибором основано на явлении полного внутреннего отражения при падении световой волны из среды, более сильно преломляющей, в среду, преломляющую менее сильно. Величина показателя преломления минерала вычисляется по формуле:

n – N sin ϕ,

где N – известный показатель преломления стеклянного полушария (от куда падает световая волна); ϕ - угол падения луча. Кристалл-рефрактометр позволяет измерять показатели преломления кристаллического и некристаллического вещества при условии, что их значения не превышают величины N.

**5.4. СПОСОБЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЯ ПРЕЛОМЛЕНИЯ МИНЕРАЛОВ.**

 В научно-исследовательских и производственных лабораториях показатели преломления минералов чаще всего определяют иммерсионным методом. Суть метода заключается в том, что пользуясь специальным набором жидкостей с разными, заранее известными показателями преломления, подбирают две жидкости с разницей величин n в 0,003. Причем, значение n одной жидкости будет больше n исследуемого минерала, а другой – меньше. Одно из существенных преимуществ этого метода – возможность его использования для определения даже мелких зерен, размером в десятые доли миллиметра.

 Сравнивая показатели преломления жидкости и минерала, наблюдают за так называемой световой полоской, или линией Бекке. При разнице n в 0,001 и более на границе минерала с жидкостью появляется тонкая световая полоска – линия Бекке, точно повторяющая контуры зерна. При подъеме и опускании тубуса микроскопа она перемещается с зерна на жидкость и обратно. При подъеме тубуса микроскопа линия Бекке перемещается в сторону вещества с большим показателем преломления, а при опускании – в сторону вещества с меньшим показателем преломления.

 Наиболее простой и доступный способ определения показателя преломления минералов при изучении их с помощью поляризационного микроскопа – метод сравнения с показателем преломления канадского бальзама, величина которого всегда постоянна. При этом наблюдают за линией Бекке, рельефом и шагреневой поверхностью, по характеру которых и определяют показатель преломления минерала.

 Все минералы при сравнении их показателя преломления с показателем преломления канадского бальзама можно разделить на две группы: 1) nмин < nк.б.; 2) nмин > nк.б. . Следует иметь в виду, что у некоторых минералов величина показателя преломления в зависимости от кристаллографической и оптической ориентировки сильно меняется, например, у кальцита – от 1,486 до 1,658.

**ГЛАВА 6. ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ СВОЙЧТВ КРИСТАЛЛОВ ПРИ ДВУХ НИКОЛЯХ.**

**6.1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СИЛЫ ДВОЙНОГО ЛУЧЕПРЕЛОМЛЕНИЯ МИНЕРАЛОВ.**

Луч света, проходящий через пластинку анизотропного минерала, разбивается на два луча с разными показателями преломления, распространяющиеся с различными скоростями, и колеблющиеся во взаимно-перпендикулярных плоскостях.

Силой двойного лучепреломления (Δ) называется величина, показывающая насколько показатель преломления одного луча отличается от показателя преломления другого:

Δ = n1 – n2 , {1}

 где n1 и n2 – величины показателей преломления.

Сила двойного лучепреломления – величина переменная. Она изменяется от 0, когда луч направлен по оптической оси кристалла, до какого-то максимума, когда луч направлен перпендикулярно к оптической оси (в одноосных кристаллах) или к плоскости оптических осей (в двуосных кристаллах). За истинную величину силы двойного лучепреломления (ведь только она может использоваться для определения минералов) принимают ее максимальное значение:

Δ = ng – np , {2}

 где ng – наибольший по величине показатель преломления данного минерала, а np – наименьший.

 Определение силы двойного лучепреломления минералов основано изучении явления интерференции световых волн, проходящих через кристалл в шлифе.

 Выше было сказано, что луч света, входя в кристалл, раздваивается, и каждая из образовавшихся световых волн распространяется в кристалле со своей скоростью. В результате один луч обгоняет другой, и между ними возникает разность хода (R). Величина разности хода измеряется в миллимикронах и прямо пропорциональна длине пути, пройденного в анизотропной среде, то есть толщине кристаллической пластинки – (толщина шлифа) и силе двойного лучепреломления данного кристалла - Δ:

R = d Δ = d (ng – np) {3}

 Наличие определенной разности ходе при прохождении лучей света через анализатор обусловливает их интерференцию, вследствие чего зерна минералов при изучении их под микроскопом в белом света приобретают интерференционные окраски. При этом каждому значению разности хода соответствует своя интерференционная окраска. Следовательно, по характеру интерференционной окраски можно определить разность хода – R, которая, в свою очередь, связана с искомой уже известной зависимостью. В конечном итоге, определение силы двойного лучепреломления минерала сводится к определению интерференционной окраски.

 При определении силы двойного лучепреломления минералов пользуются таблицей Мишель-Леви (приложение 1).

 По горизонтальной оси этой нанесены величины разности хода (в миллимикронах) с соответствующей им интерференционной окраской (в виде вертикальных полосок соответствующих цветов). При увеличении R цвета периодически повторяются. Это позволяет разбить их на порядки.

 В первый порядок входят цвета: серый, белый, желтый, оранжевый и красный, постепенно переходящие друг в друга.

 Второй и третий порядки начинаются с фиолетового цвета, далее следуют синий, зеленый, желтый, оранжевый и красный.

 В первом порядке имеются отсутствующие в других порядках серый и белый цвета, но нет синего и зеленого.

 По вертикальной оси таблицы отложена толщина шлифов (в сотых и тысячных долях мм). Из нижнего левого угла таблицы веерообразно вверх и вправо расходятся прямые линии, на концах которых указаны значения силы двойного лучепреломления.

 Для практического определения силы двойного лучепреломления необходимо под микроскопом найти наивысшую интерференционную окраску минерала и точку пересечения ее на таблице Мишель-Леви с горизонтальной линией, соответствующей стандартной толщине шлифа =0,03 мм. Через эту точку проходит одна из веерообразно расходящихся линий, на верхнем конце которой и указана искомая величина = ng – np.

 При изучении интерференционной окраски минерала необходимо определить ее порядок. Для этого пользуются так называемым правилом каемок и методом компенсации.

**6.2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СИЛЫ ДВОЙНОГО ЛУЧЕПРЕЛОМЛЕНИЯ ПО**

**КАЕМКАМ В ЗЕРНАХ**

 Весьма часто зерна минералов утончаются к краям, в то время как значительно большая площадь зерна имеет плоскую поверхность, параллельную нижней поверхности зерна.

 В зависимости от этого интерференционная окраска зерна понижается к самым краям зерна, на которых наблюдаются различия в интерференционных окрасках, так что нередко можно различать цвета первых порядков. Наблюдая от края к центру зерна полоски интерференционных цветов, заканчивающиеся красным цветом можно подсчитать сколько красных полосок сменяют друг друга в направлении от края к центру, и, следовательно, выяснить, к какому порядку относится интерференционная окраска зерна в его центральной части (количество центральных каемок плюс единица). Затем необходимо использовать номограмму Мишель-Леви для определения силы двойного лучепреломления.

**6.3 ОПРЕДЕЛЕНИЕ СИЛЫ ДВОЙНОГО ЛУЧЕПРЕЛОМЛЕНИЯ ПРИ ПОМОЩИ КОМПЕНСАТОРА**

 Компенсатор представляет собой прибор, изготовленный из кристаллов кварца и гипса. В том случае, когда он имеет постоянную разность хода около 550 миллимикрон, (что соответствует собственной интерференционной окраске кварца или гипса – красной первого порядка), то его называют кварцевой пластинкой.

 Компенсатор, называемый кварцевым клином, представляет в поперечном разрезе пластинку в форме тонкого клина. Его разность хода переменная. На оправе указана его оптическая ориентировка, обычно сходная с той, которая указана для гипсовой и кварцевой пластинок.

 При вдвигании кварцевого клина в прорезь тубуса микроскопа изменяются последовательно интерференционные цвета от начала 1 порядка до 4 порядка.

 При определении силы двойного лучепреломления используется правило компенсации.

 Известно, что разность хода в кристаллическом зерне возрастает пропорционально длине пути, проходимого световыми волнами в этом зерне. Поэтому если на пути распространения света, над кристаллическим зерном поместить другую кристаллическую пластинку (в данном случае компенсатор) таким образом, чтобы направления одноименных осей оптических индикатрис зерна и компенсатора совпадали, то результирующая разность хода будет равна сумме разностей хода зерна и компенсатора, что вызовет повышение интерференционной окраски.

 Если поместить компенсатор таким образом, что будут совпадать разноименные оси оптических индикатрис зерна и компенсатора, то суммарная разность хода будет равна разности разностей хода зерна и компенсатора, что приведет к уменьшению порядка интерференционной окраски.

 Если разность хода компенсатора будет равна разности хода в исследуемом зерне минерала, то в итоге общая разность хода световых волн будет равна нулю или, как принято говорить, произойдет компенсация разности хода в зерне, а зерно приобретет серую интерференционную окраску первого порядка.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

 Приведенные немногочисленные данные подтверждают неразрывную связь между химией, геометрией и физикой кристаллов.

 Нетрудно представить себе связь, существующую между симметрией и химическим составом кристаллов.

 Пусть, например, в структуре присутствуют лишь взаимно параллельные тройные оси. Частицы могут располагаться либо на этих осях, либо вне их. При повороте вокруг тройной оси лежащая на ней частица А остается единственной, тогда как частица В, находящаяся вне оси, повторяется трижды.

 Отсюда заключаем, что в структурах с одними тройными осями могут кристаллизоваться соединения типа АВ3. Вместе с тем, здесь нельзя ожидать соединений типа АВ2.

 Следовательно, знание федоровской пространственной группы (т.е. полной совокупности элементов симметрии структуры кристалла) дает возможность предсказывать типы соединений, кристаллизующихся в данной группе. Наоборот, некоторому типу химической формулы соответствует определенный комплекс пространственных групп. Отсюда понятно исключительное значение, которое играют в кристаллохимии пространственные группы симметрии, впервые выведенные Федоровым.

 Взаимосвязь между симметрией пространственной группы и химическим составом кристалла была в свое время четко сформулирована крупнейшим советским кристаллографом, академиком А. В. Шубниковым.

**ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА**

1. Попов Г. М., Шафроновский И. И. Кристаллография.

М.: ГОСГЕОЛТЕХИЗДАТ, 1955г, 295с.

1. Кочурова Р. Н. Основы практической петрографии.

Л.: Издательство Ленинградского университета, 1977г, 176с.