

# Кристаллооптика

Лешуков Т.В.

# Поляризационный микроскоп

---

# Поляризация света

---

- При изучении оптических свойств используют поляризованный свет, в котором колебания световых волн совершаются только в одной определенной плоскости.

# Природа поляризованного света

- Луч света, проходя через исландский шпат, распадается на два луча с колебаниями световых волн во взаимно перпендикулярных плоскостях. В кристалле лучи распространяются с различной скоростью и имеют разные показатели преломления.
- Обыкновенный луч (o) с показателем преломления  $n_o$  подчиняется обычному закону преломления света, и колебания его световых волн совершаются перпендикулярно к плоскости падения света и оси симметрии кристалла – L3.
- Необыкновенный луч (e) с показателем  $n_e$  – не подчиняется этому закону, колебания его совершаются в плоскости падения и под некоторым углом к главной оси симметрии кристалла.
- Разность между показателями преломления обыкновенного и необыкновенного луча называют двупреломлением ( $\Delta = n_o - n_e$ ).
- В направлении, параллельном главной оси симметрии кристалла – L3, двупреломления не происходит. Направление внутри анизотропного кристалла, вдоль которого луч света не двупреломляется называется оптической осью.

# Оптическая индикатриса

---

- Оптические свойства кристаллов обусловлены их внутренним строением и изображаются с помощью вспомогательной пространственной фигуры – оптической индикатрисы.
- Она представляет шар или эллипсоид вращения (форма индикатрисы зависит от симметрии кристалла). Радиусы-векторы индикатрисы пропорциональны показателям преломления минерала, а их направления соответствуют направлению колебания световых волн, проходящих через кристалл.

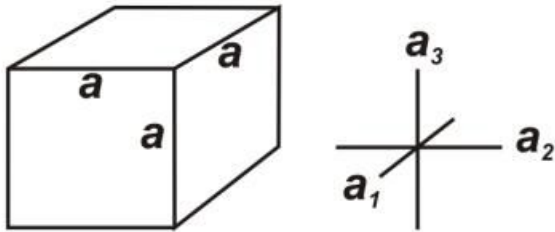
# Высшая категория

---

- Кристаллы высшей категории (кубическая сингония) характеризуются изометричностью, в их элементарной решетке все кристаллографические оси между собой равны ( $a_1 = a_2 = a_3$ ).
- Световые лучи распространяются в кристаллах во всех направлениях с одинаковой скоростью и имеют одинаковый показатель преломления –  $n$ .
- Поэтому оптическая индикатриса имеет форму шара с радиусом, пропорциональным величине показателя преломления минерала.

# Высшая категория

## Высшая категория



А. Кубическая сингония

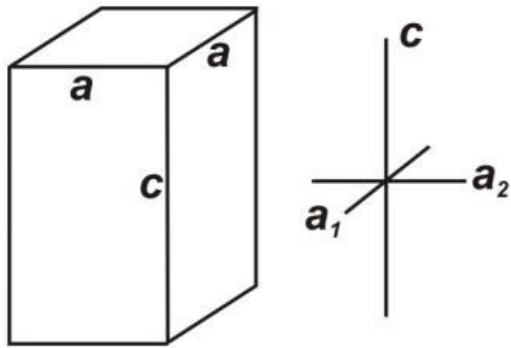
Кристаллы являются оптически изотропными, в скрещенных николях не прозрачны (стоят на затемнении) и при повороте столика не просветляются.

# Средняя категория

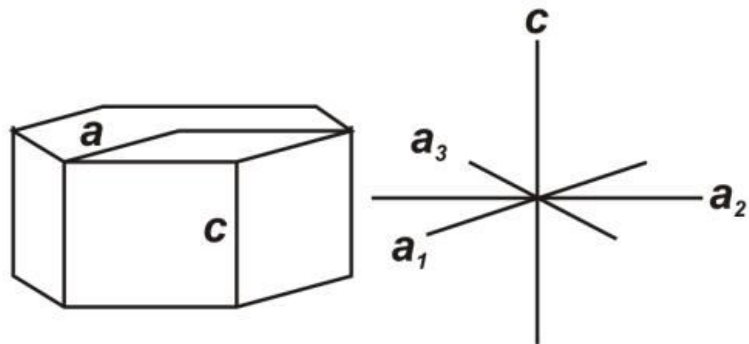
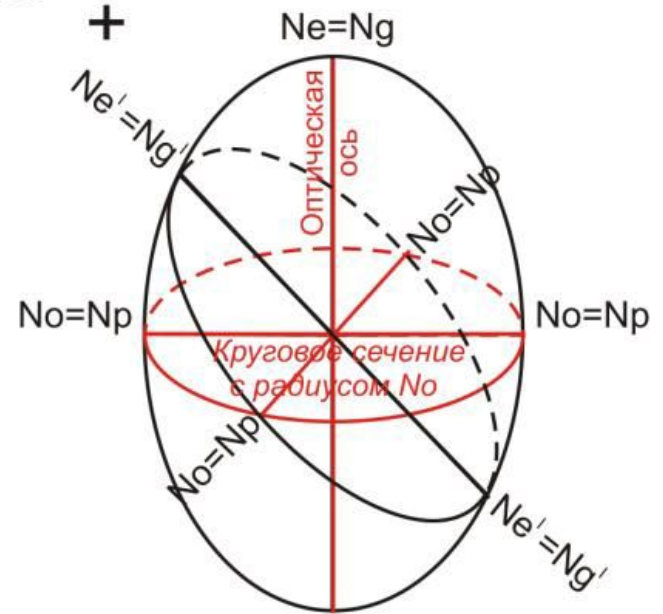
- Эти категории (тетрагональная, гексагональная и тригональная сингонии) не изометричны: в решетке  $a_1 = a_2 \neq c$ .
- Возникает анизотропность зерна -разложение света на  $N_o$  и  $N_e$  лучи.
- Волны луча  $N_o$  колеблются в горизонтальной плоскости, волны  $N_e$  – вдоль единичного направления, каковым в кристаллах разных симметрий средней категории являются оси симметрии высшего порядка –  $L_3$ ,  $L_4$  или  $L_6$ .
- Кристаллы средней категории являются оптически одноосными, так как имеют одну оптическую ось. Их индикатриса представляет двuosный эллипсоид вращения, полученный, путем вращения эллипса вокруг оси  $N_e$ .
- Ось вращения совпадает с кристаллографической осью высшего порядка. Ось  $N_o$  лежит в плоскости, перпендикулярной к ней (круговое сечение индикатрисы). Сечения зерен, совпадающие с этой плоскостью, изотропны. Все остальные разрезы имеют прямое погасание.



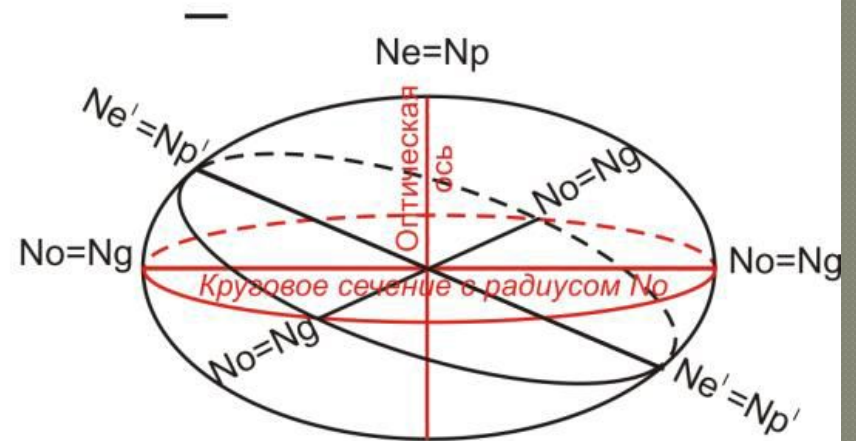
## Средняя категория



Б. Тетрагональная сингония



В. Гексагональная и тригональная сингония



# Средняя категория

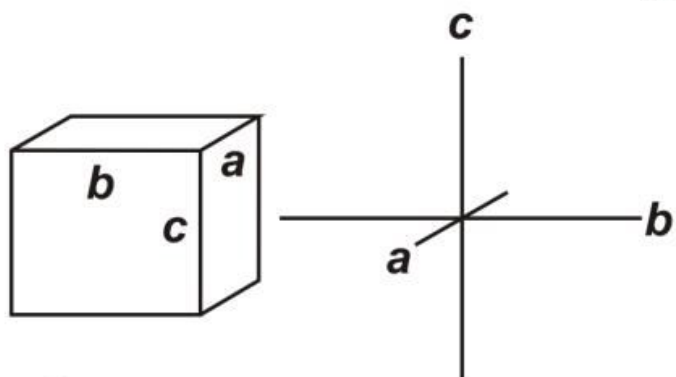
- Кристаллы могут быть оптически положительными и оптически отрицательными.
- В оптически положительных кристаллах ось  $N_e$  является наибольшей осью (совпадает с  $N_g$ );
- В оптически отрицательных – наибольшей осью ( $N_g$ ) является ось  $N_o$ .
- Эллиптическое сечение индикатрисы, проходящее вдоль оптической оси, называется главным сечением.
- Для оптически положительного кристалла это плоскость  $N_e(N_g)–N_o(N_p)$ , для оптически отрицательного –  $N_e(N_g)–N_o(N_p)$ .
- В главном сечении значения показателей преломления  $n_e$  и  $n_o$  и двупреломление минерала ( $\Delta=n_o-n_e$  или  $\Delta=n_e-n_o$ ) – максимальные. В разрезе, перпендикулярном к оптической оси, показатели преломления кристалла одинаковые, двупреломление равно нулю. Во всех косых сечениях величина двупреломления имеет промежуточные значения.

# Низшая категория

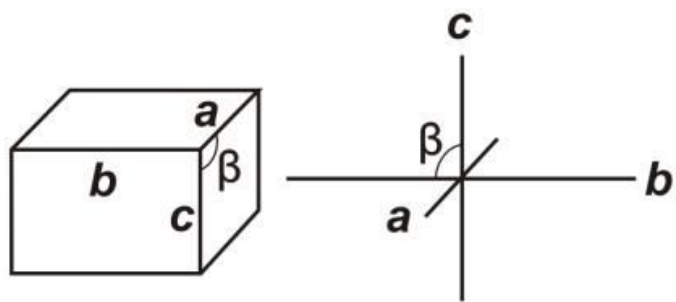
---

- Категории (ромбическая, моноклинная и триклинная сингония) анизотропны и двуосны.
- Индикатриса их представляет собой трёхосный эллипсоид вращения с тремя неравными осями  $N_g$ ,  $N_p$ ,  $N_m$  и двумя оптическими осями. Ориентировка индикатрисы в кристаллах разных сингоний различна.

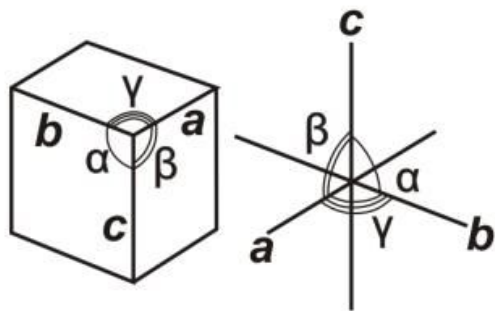
## Низшая категория



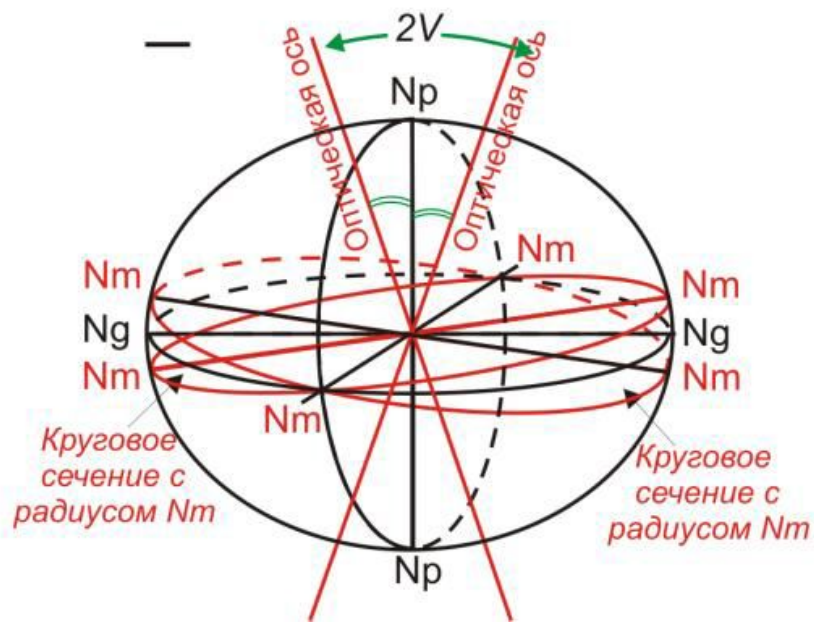
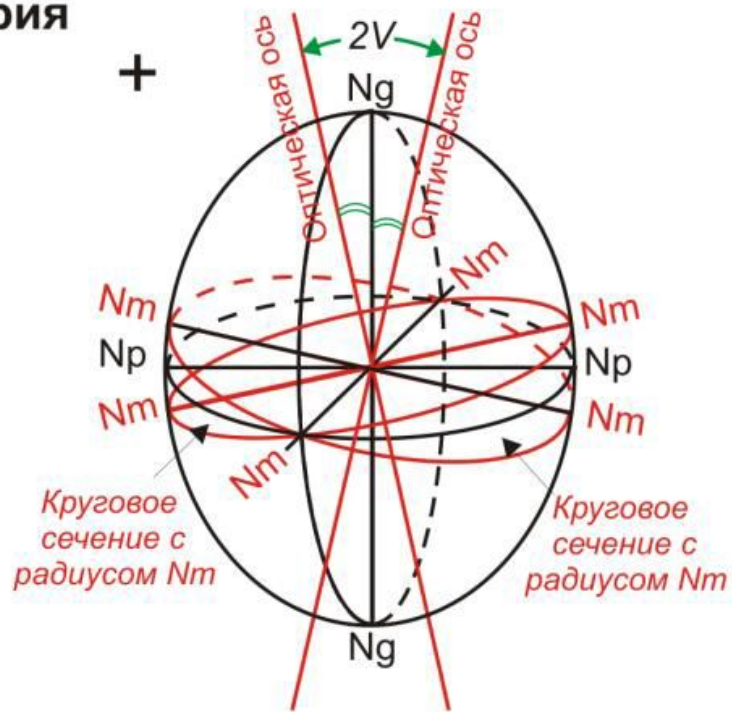
Г. Ромбическая сингония



Д. Моноклиная сингония



Е. Триклиная сингония



# Ромбическая сингония

---

- Неравенство кристаллографических осей:  
 $a \neq b \neq c$ , а углы  $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$ .
- Оси индикатрисы совпадают с кристаллографическими осями и ориентированы вдоль  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ; поэтому зерна минералов во всех разрезах имеют прямое погасание.

# Моноклинная сингония

---

- Ось  $b$  перпендикулярна плоскости, в которой лежат оси  $a$  и  $c$ ; угол между кристаллографическими осями  $\alpha = \gamma = 90^\circ \neq \beta$ .
- Одна из осей индикатрисы – чаще  $N_m$  – всегда совпадает с кристаллографической осью  $b$ , а две другие образуют с осями  $a$  и  $c$  углы ( $\alpha = \gamma = 90^\circ \neq \beta$ ).
- Вследствие чего в разрезах, параллельных оси  $b$ , погасание прямое, во всех остальных – косое. Величина угла между осью  $c$  и одной из осей индикатрисы ( $c:N_g$  или  $c:N_p$ ) служит константой минерала и приводится в справочниках.

# Триклинная сингония

---

- Все направления единичны и все углы между кристаллографическими осями разные ( $\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$ ).
- Ни одна из осей индикатрисы не совпадает с кристаллографическими осями. Все разрезы имеют косое погасание, а значения углов погасания являются диагностическими константами минералов.

- Главными сечениями индикатрисы оптически двуосных кристаллов низшей категории являются три сечения:  $N_g-N_p$ ,  $N_g-N_m$ ,  $N_m-N_p$ .
- Сечение  $N_g-N_p$  называется плоскостью оптических осей, так как в нем лежат оптические оси кристалла. Перпендикулярно к плоскости оптических осей располагается ось  $N_m$ .
- Острый угол, который образуют оптические оси, называется углом оптических осей или углом  $2V$ .
- Биссектрисами углов между оптическими осями являются оси  $N_g$  и  $N_p$ . В зависимости от того, какая ось является биссектрисой острого угла, выделяют оптически положительные и оптически отрицательные двуосные кристаллы:
  - - у оптически + – биссектрисой острого угла является ось  $N_g$ ;
  - - у оптически - – биссектрисой острого угла является ось  $N_p$ ;
  - - у оптически нейтральных – угол  $2V=90^\circ$ .
- В сечении кристалла, совпадающем с плоскостью  $N_g-N_p$ , разница между величинами показателей преломления максимальная. В этом сечении определяется максимальное двупреломление, угол  $2V$  и оптический знак.



## Минералы при одном поляроиде

Размер и форма зерен  
Количественно-минеральный состав  
Спайность и угол спайности  
Показатель преломления  
Рельефа и шагреновой поверхности  
Плеохроизм и абсорбция  
Псевдоабсорбция

## Минералы при двух поляроидах

Интерференционная окраска  
Сила двойного лучепреломления  
Угол погасания  
Удлинение

## Коноскопия

Осность и оптический знак  
Дисперсия осей индикатрисы  
Дисперсия оптических осей  
Сингония

# Схема описания минералов при одном николе



Рис. 8. Схема изучения минералов при одном николе

# Форма зерен

---

- Форма зерен – важный диагностический признак, так как отражает особенности кристаллической решетки минералов.
- Что определяет форму зерен?

# Форма зерен

---

- В осадочных породах химического происхождения, этот фактор, наряду с наличием свободного пространства, является определяющим.
- В породах обломочного происхождения форма зерен зависит также от механической и химической устойчивости минералов и пород; от условий транспортировки (способа и длительности переноса, динамики среды и т.д.); от процессов, протекающих в диагенезе и катагенезе при уплотнении осадка и превращении его в породу.

# Форма зерен

---

- В значительной степени форма зависит от наложенных процессов, которым подвергается порода на определенной ступени литогенеза (растворения, перекристаллизации и т.д.).
- Если зерна представлены обломками пород, то их форма часто определяется текстурой пород, например: удлиненная форма обломков сланцев. Часто форма зерен более отчетливо проявляется в скрещенных николях.

# ФОРМЫ

---

- - правильные (в кристаллических породах – идиоморфные) сечения с кристаллографическими очертаниями: треугольной (турмалин), четырехугольной: квадратной (пирит, магнетит), прямоугольной (плагиоклазы), ромбической (доломит, сидерит); шестиугольной (кварц, биотит) и восьмиугольной (обломки кристаллов разных сингоний) формы;

# ФОРМЫ

---

- - изометричные и субизометричные – сечения, которые вписываются в окружность, имеют зерна минералов кубической сингонии (флюорит, галит), поперечные срезы призматических кристаллов (калиевые полевые шпаты) и обломки пород с однородной текстурой;

# ФОРМЫ

---

- - неправильные зерна – распространены чаще, их имеют обломки различных минералов и пород;



# ФОРМЫ

---

- - удлиненные – обычно зерна, кристаллы которых имеют форму призм, а также обломки пород со слоистой (алевролиты) и сланцеватой (сланцы) текстурой;
- - чешуйки – образуют слюды, хлорит;
- - волокна – гидрослюды;
- - сферолиты – сферические минеральные образования радиально-лучистого строения, состоящие из игольчатых кристаллов одного минерала – халцедон, сидерит, кальцит, хлорит;

# ФОРМЫ

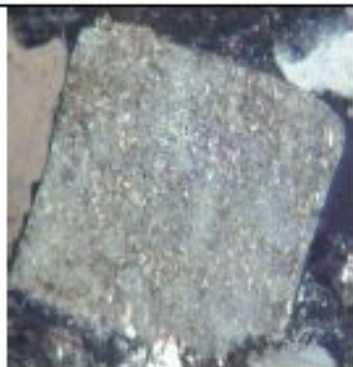
---

- - ООЛИТЫ – концентрически-зональные и реже радиально-лучистого строения округлые минеральные образования, сложенные одним (в разной степени раскристаллизованным) или несколькими минералами – опал-халцедон, хлорит-халцедон.
- - ОКРУГЛЫЕ ЗЕРНА – окатанные обломки и диагенетические минеральные включения.

*Правильная*



Сферический  
треугольник  
(турмалин)



Квадратное се-  
чение (полевой  
шпат)



Ромбическое  
сечение (сфен)



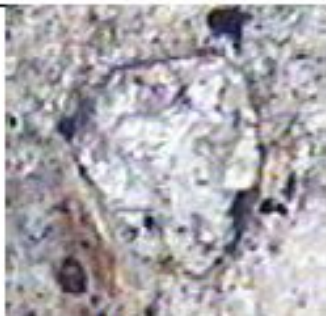
Четырехуголь-  
ное сечение  
(плагиоклаз)



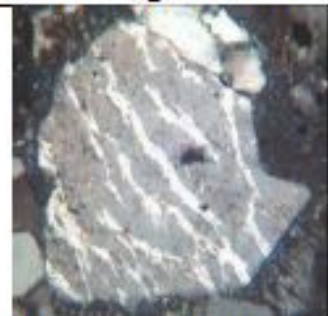
Шестиугольное  
сечение (кварц)

*Изометричная и субизометричная*

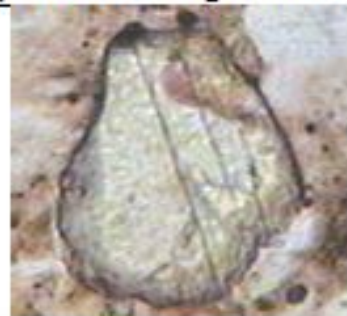
*Округлая*



Гранат



Полевой шпат



Эпидот



Кварц



Глауконит

*Удлиненная*

*Неправильная*



Полевой шпат

Полевой шпат

Глинисто-  
слюдистая по-  
рода

Сфен

Сфен

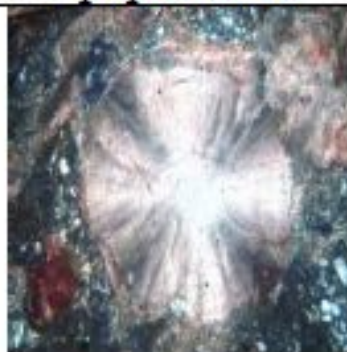
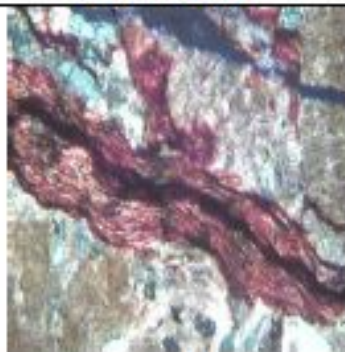
*Чешуйки*

*Пластинки*

*Волокна*

*Сферолиты*

*Оолиты*



Мусковит

Биотит

Гидробиотит

Сидерит

Концентры си-  
дерита и каоли-  
нита

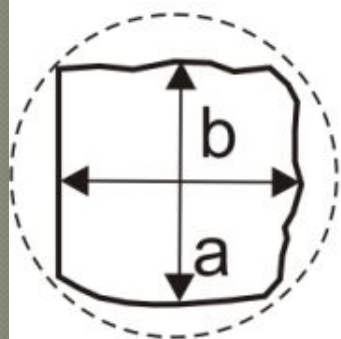


# По В.С. Князеву и И.Б. Кононовой

---

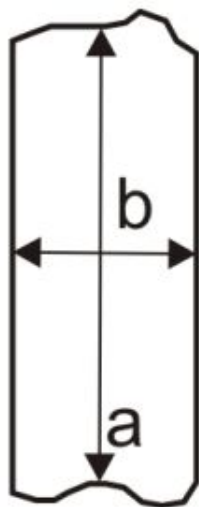
- По отношению длины зерна ( $a$ ) к его ширине ( $b$ ) можно выделить следующие формы зерен минералов:
- изометрическую,  $a/b=1$  (А);
- таблитчатую,  $a/b$  от 2 до 4 (Б);
- призматическую,  $a/b$  от 4 до 10 (В);
- шестоватую,  $a/b$  от 10 до 20 (Г);
- игольчатую,  $a/b > 20$  (Д).

$a/b=1$



А

$a/b=2-4$



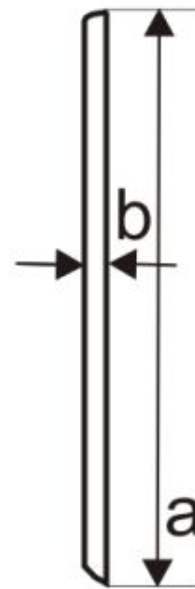
Б

$a/b=4-10$



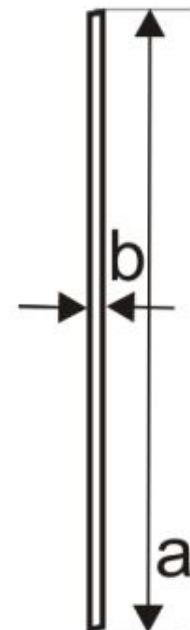
В

$a/b=10-20$



Г

$a/b>20$



Д

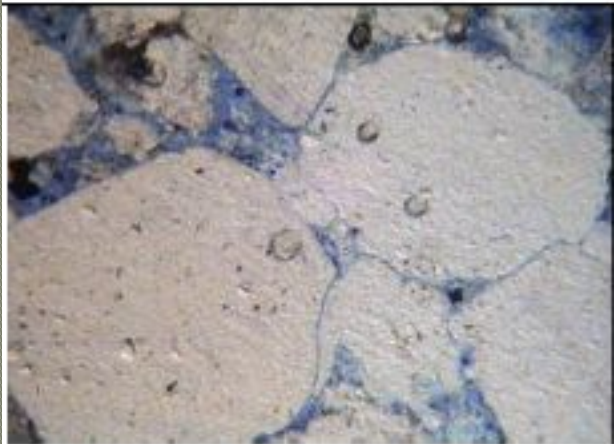
# Степень прозрачности

---

- Могут быть:
- - прозрачными – хорошо пропускающими свет (кварц, не измененные полевые шпаты, кальцит, мусковит);
- - полупрозрачными (просвечивающими) – пропускающими свет частично: в тонких срезах по краям зерен (гематит);
- - непрозрачными – не пропускают свет (пирит, магнетит).

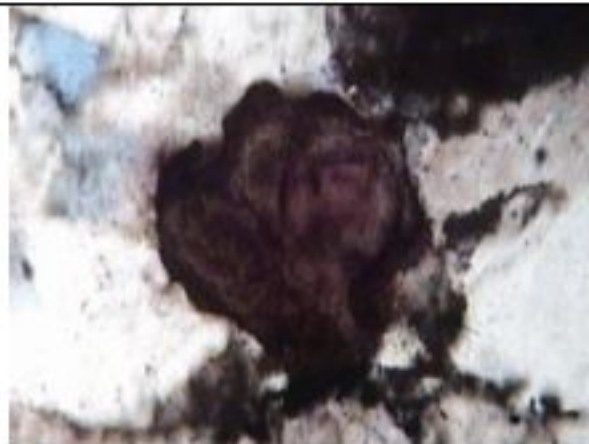


*Прозрачные*



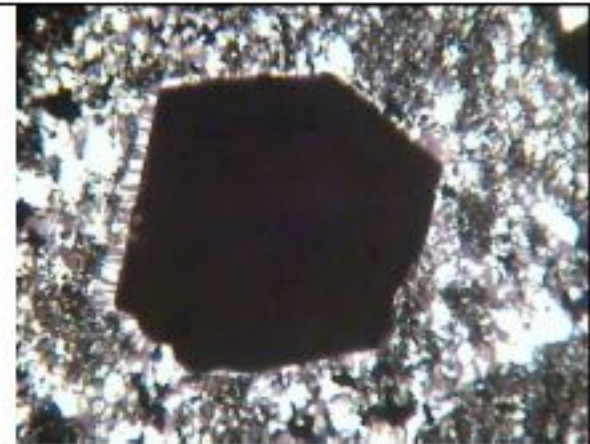
Кварц и полевые шпаты

*Полупрозрачные*



Титанистые минералы

*Непрозрачные*



Пирит

# Окраска

---

- Многие минералы имеют окраску, которая сохраняется также и в тонких срезах шлифов.
- Пример:
- зеленую окраску имеют хлорит, глауконит, биотит;
- красную – гематит, шпинель;
- желтую – лимонит;
- бурую – сидерит.
- Окраска может быть равномерной и неравномерной: пятнистой, зональной, полосчатой и т.д.

# Плеохроизм

---

- Способностью изменять в зависимости от направления световых колебаний интенсивность окраски, а иногда и цвет.
- Это свойство фиксируется при повороте столика микроскопа и наиболее интенсивно проявляется в главном сечении оптической индикатрисы.

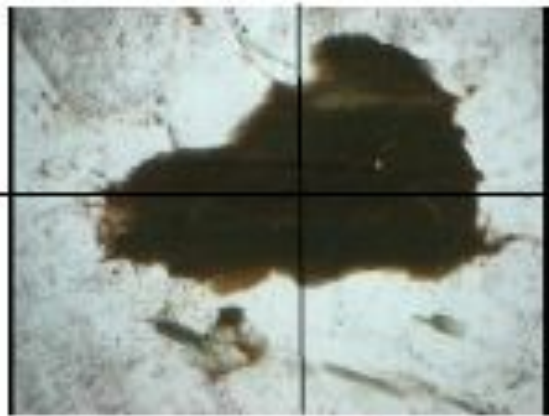
# Плеохроизм

---

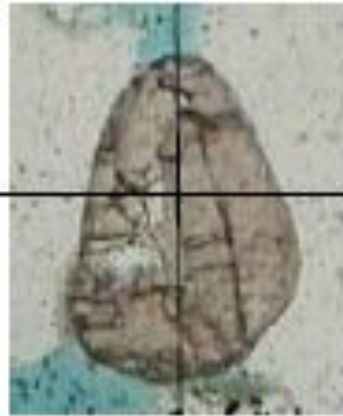
- Различают три типа, когда минералы меняют:
- - окраску (гиперстен от бледно-розовой до бледно-зеленой);
- - интенсивность окраски (роговая обманка меняет окраску от темно-зеленой до бледно-зеленой; хлорит – от бесцветной до зеленой),
- - окраску и интенсивность (биотит меняет интенсивность окраски и цвет от бурого до бледно-желтого и до зеленовато-бурого).



А



Б



В



Г

Рис. 12. Плеохроизм у биотита (А, Б) и сфена (В, Г)

# Показатель преломления

---

- Отражается в рельефе зерен, характере их ограничения, в наличии или отсутствии шагреновой поверхности и псевдоабсорбции.

# Показатель преломления ( $n_m$ )

- Осуществляется путем сравнения его показателей преломления с показателями преломления канадского бальзама ( $n_{к.б.}=1,533-1,542$ , в среднем  $1,537$ ) или соседнего минерала.
- На границе сред с разным показателем преломления из-за дисперсии света образуется светлая полоска (полоска Бекке), отклоняющаяся в сторону среды с большим показателем преломления.
- Ее наблюдают при увеличении объектива  $9\times$  ( $10\times$ ) или  $20\times$  и прикрытой нижней диафрагме, расположенной ниже столика микроскопа. При поднятии тубуса микроскопа (опускании столика) полоска Бекке движется в сторону среды с более высоким показателем преломления.

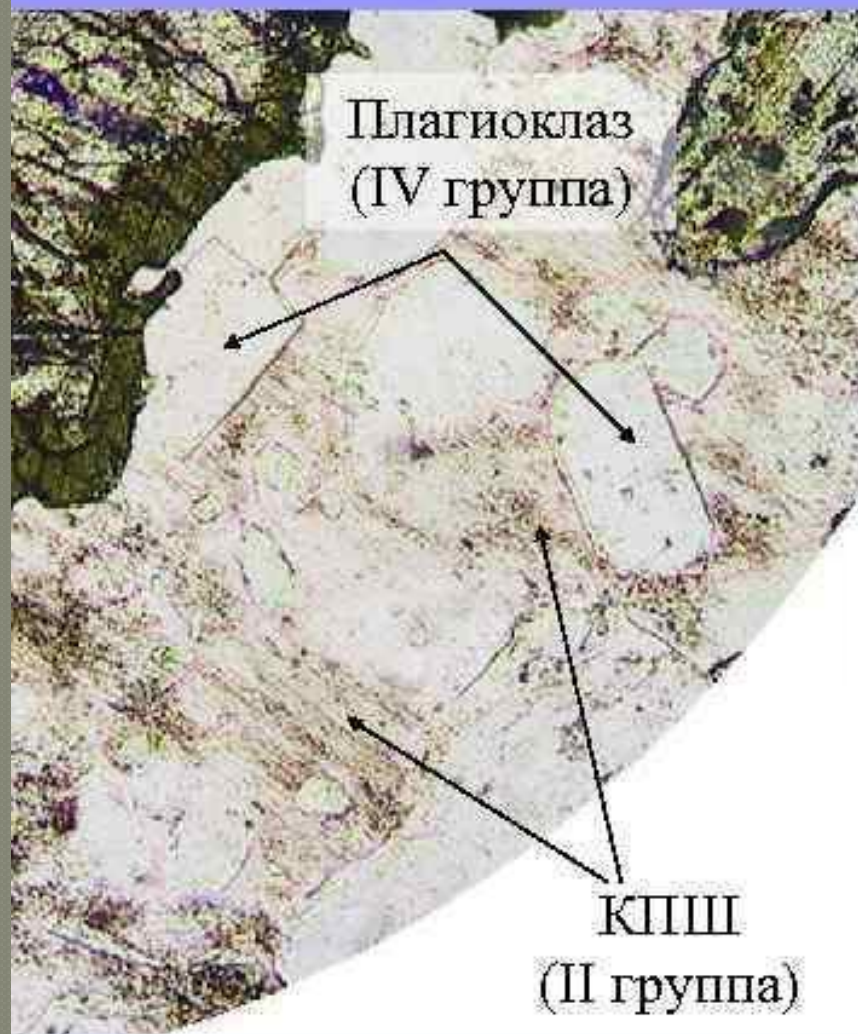




# Показатели преломления

- Также определяется с помощью дисперсионного эффекта Лодочникова, фиксируемого при увеличении объектива 20× на границе двух бесцветных минералов.
- На поверхности раздела сред с разными показателями преломления в результате дисперсии и различной степени отражения красных и фиолетовых лучей спектра проявляются световые оттенки: каемка имеет золотисто-розовый цвет со стороны вещества с меньшим показателем и синевато-зеленый – со стороны вещества с большим показателем. Чем больше разница в показателях преломления, тем отчетливее окраска.

## Дисперсионный эффект Лодочника



Менее преломляющие бесцветные минералы окрашиваются на стыке с более преломляющими в теплые тона (золотисто-желтые, розовые), тогда как вещества с более высокими показателями преломления окрашиваются в холодные тона (синева-зеленоватые).

Этот эффект наблюдается только в неокрашенных средах с небольшими показателями преломления (2-4 группы).

# Рельеф

---

- Определяется разницей в показателях преломления канадского бальзама (пк.б.) и минерала (пм).
- Рельеф может быть отрицательным и положительным или не наблюдаться.

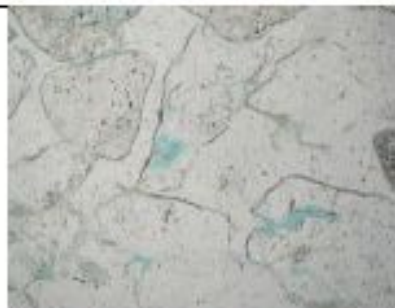
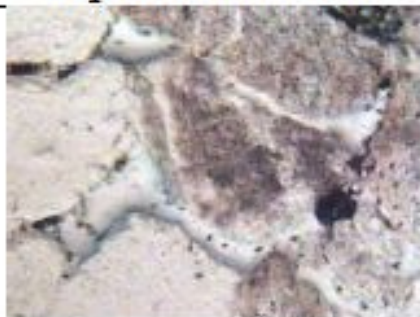
# Минерал имеет

- - имеет отрицательный рельеф – если показатель преломления минерала меньше, чем у канадского бальзама, минерал зрительно смотрится ниже бальзама (флюорит, опал, кислые вулканические стекла);
- - не имеет рельефа – если показатель преломления минерала близок к показателю канадского бальзама, минерал сливается с канадским бальзамом (олигоклаз, халцедон);
- - имеет положительный рельеф – если показатель преломления минерала больше, чем у канадского бальзама, минерал зрительно смотрится выше бальзама (циркон, гранат).

*Отрицательный  
хорошо видный*

*Отрицательный плохо заметный*

*Отсутствует*



**Опаловый  
цемент**

**Кальцитовый  
цемент**

**Фосфатный  
цемент**

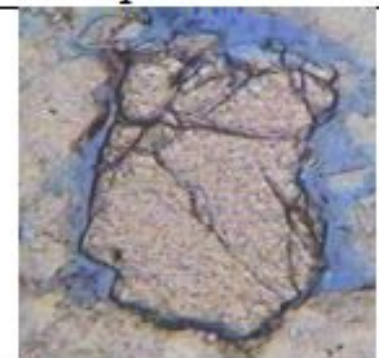
**Плагиоклазы**

*Положительный  
слабо заметный*

*Положительный  
отчетливый*

*Положительный  
резкий*

*Положительный  
очень резкий*



**Кварц**


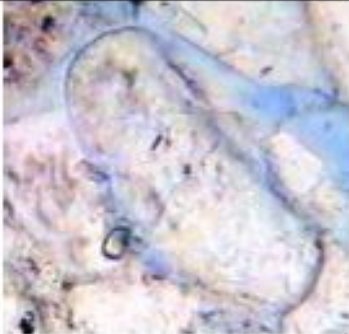
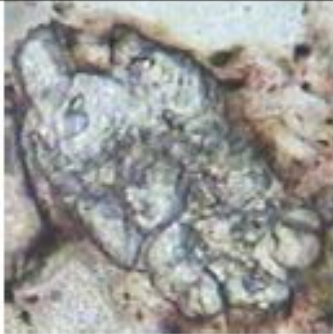

**Глауконит**

**Гранаты**

**Сфен**

# Характер проявления границ

- Разница в показателях преломления (канадского бальзама и минерала, разных минералов) определяет характер проявления *границ (ограничений) зерен.*
- *Границы зерен могут быть:*
- - *незаметные – минералы сливаются с бальзамом (халцедон, плагиоклазы) – разницы в показателях преломления практически нет;*
- - *слабо заметные – границы тонкие, без черной полосы (кварц, мусковит, каолинит);*
- - *отчетливые – границы с тонкой черной полосой (апатит, топаз, барит);*
- - *резкие границы с отчетливой черной полосой (карбонаты, эпидот, оливин);*
- - *очень резкие – зерна в бальзаме окружены широкими черными каймами (гранат, циркон, сфен) – образуются при очень большой разнице показателей преломления.*

<p><i>Незаметные</i> <math>n_M \sim n_{к.б.}</math></p>	<p><i>Слабо заметные</i> <math>n_M</math> чуть <math>&gt; n_{к.б.}</math></p>	<p><i>Отчетливые</i> <math>n_M &gt; n_{к.б.}</math></p>	<p><i>Резкие</i> <math>n_M</math> много <math>&gt; n_{к.б.}</math></p>	<p><i>Очень резкие</i> <math>n_M</math> значительно <math>&gt; n_{к.б.}</math></p>
				
<p>Вулканическое стекло</p>	<p>Кварц</p>	<p>Апатит</p>	<p>Эпидот</p>	<p>Циркон</p>

- 
- При различиях в показателях преломления (канадского бальзама и минерала, разных минералов) проявляется **шагрень – шероховатая поверхность минералов. Чем больше разница в показателях преломления, тем яснее выражена шагреньевая поверхность.**
  - Шагреньевой поверхностью обладают минералы с ярко выраженным отрицательным или положительным рельефом: ясной шагреньевой поверхностью обладает опал (отрицательный рельеф) и кальцит (положительный рельеф); нет шагрени у плагиоклазов.
  - По рельефу, шагреньевой поверхности и поведению полоски Бекке можно определить относительную величину показателя преломления и группу минерала (табл. 1).



Классификация минералов по показателю преломления (по [14])

Группа	n	Рельеф	Шагреновая поверхность	Дисперсионный эффект Лодочникова	Минералы
I	1,41–1,51	Отрицательный, хорошо виден	Наблюдается при открытой диафрагме	Полоска Бекке имеет розовый цвет, идет на к.б.	Флюорит, опал, лейцит, содалит, вулканические стекла риолитов
II	1,51–1,53	Отрицательный, плохо заметен	Отсутствует или слабая (даже при закрытой диафрагме)	Полоска Бекке имеет розовый цвет (граница бесцветных минералов и к.б.), идет на к.б.	Плагиоклазы № 0–5 (альбит), к.п.ш., гипс, монтмориллонит, вулканические стекла трахитов, дацитов, андезитов
III	1,53–1,54	Отсутствует	Отсутствует	Полоска Бекке незаметна	Плагиоклазы № 5–15 (альбит, олигоклаз), халцедон, нефелин, серпентин, вулканические стекла андезитобазальтов
IV	1,54–1,60	Положительный	Видна только при почти полностью закрытой диафрагме	Полоска Бекке имеет зеленоватую окраску, идет на минерал	Плагиоклазы № 15–100 (олигоклаз–анортит), кварц, хлориты, мусковит, флюорит, тальк, вулканические стекла базальтов

V	1,60– 1,65	Положитель- ный	Положитель- ная, видна при 1/2 от- крытой диа- фрагме	Полоска Бекке имеет зеленова- тый цвет, идет на минерал	Биотит, роговая обман- ка, тремолит, актино- лит, турмалин, топаз, глаукоцит
VI	1,65– 1,75	Положитель- ный, резкий	Положитель- ная резкая, видна при от- крытой диа- фрагме	Не улавливает- ся, эффект Ло- дочникова сла- бый	Пироксены, щелочные амфиболы, оливин, силлиманит, ортит, гроссуляр
VII	> 1,75	Положитель- ный, очень резкий (зерна окружены темно-серой полосой)	Положитель- ная очень резкая (поверхность минерала серая)	Дисперсионный эффект не улавливается	Эпидот, эгирин, цир- кон, монацит, сфен, ру- тил, анатаз, корунд, шеелит, алмаз

# Псевдоабсорбция

---

- Характерна для неокрашенных минералов и проявляется в изменении характера ограничений, рельефа и шагреновой поверхности при повороте столика микроскопа.
- При большой разнице в показателях преломления вдоль различных кристаллографических направлений эти характеристики то проявляются резко; то исчезают, например, в мусковите и кальците.

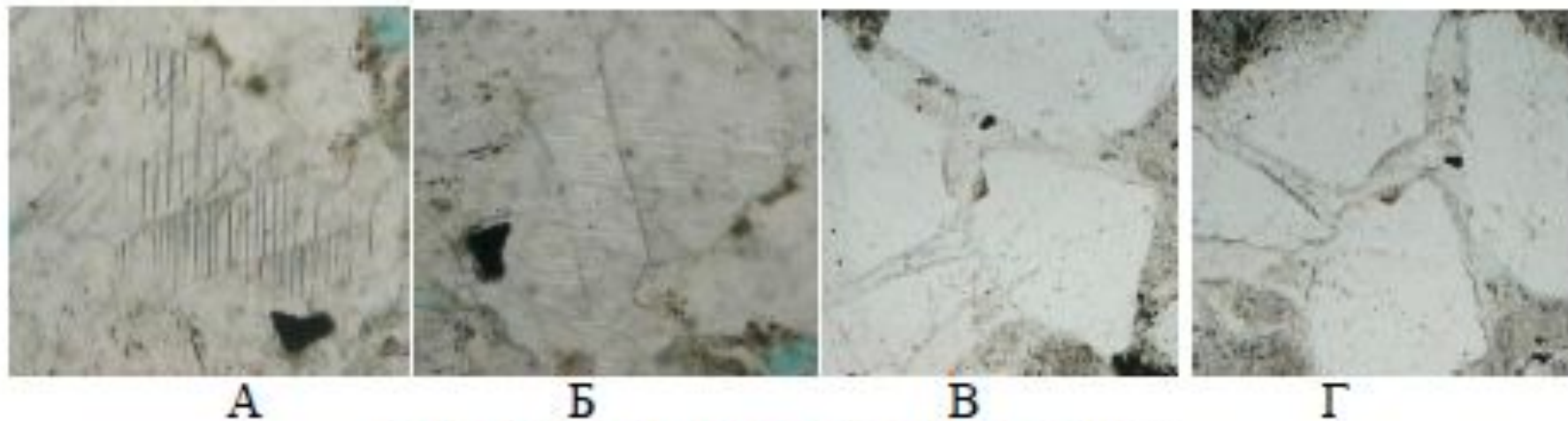
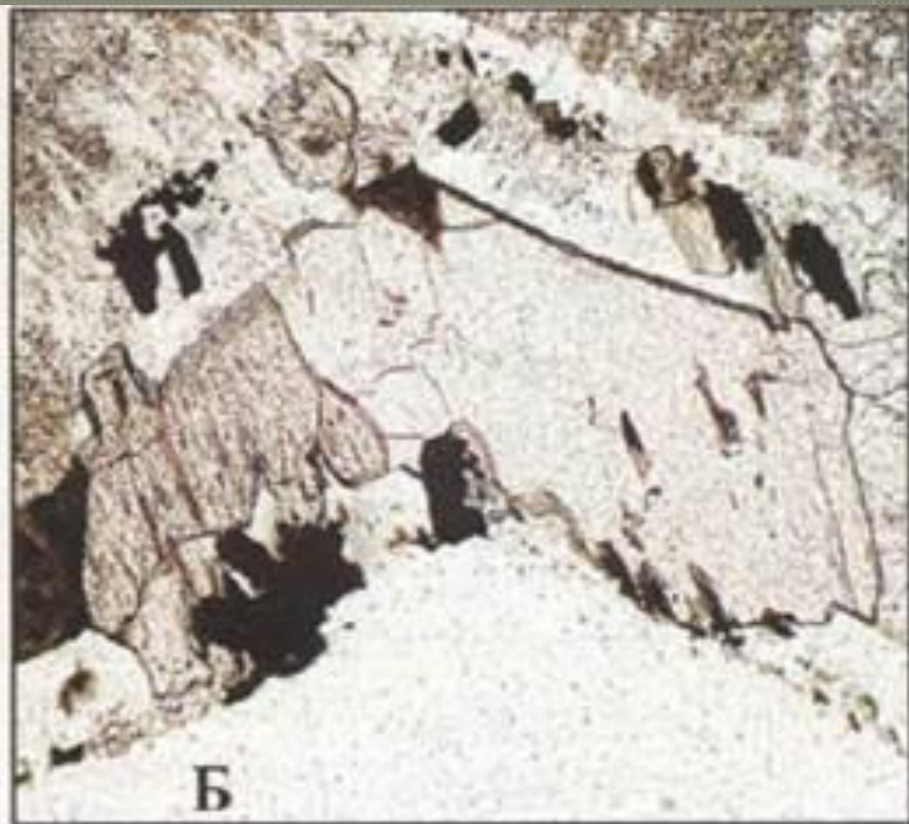
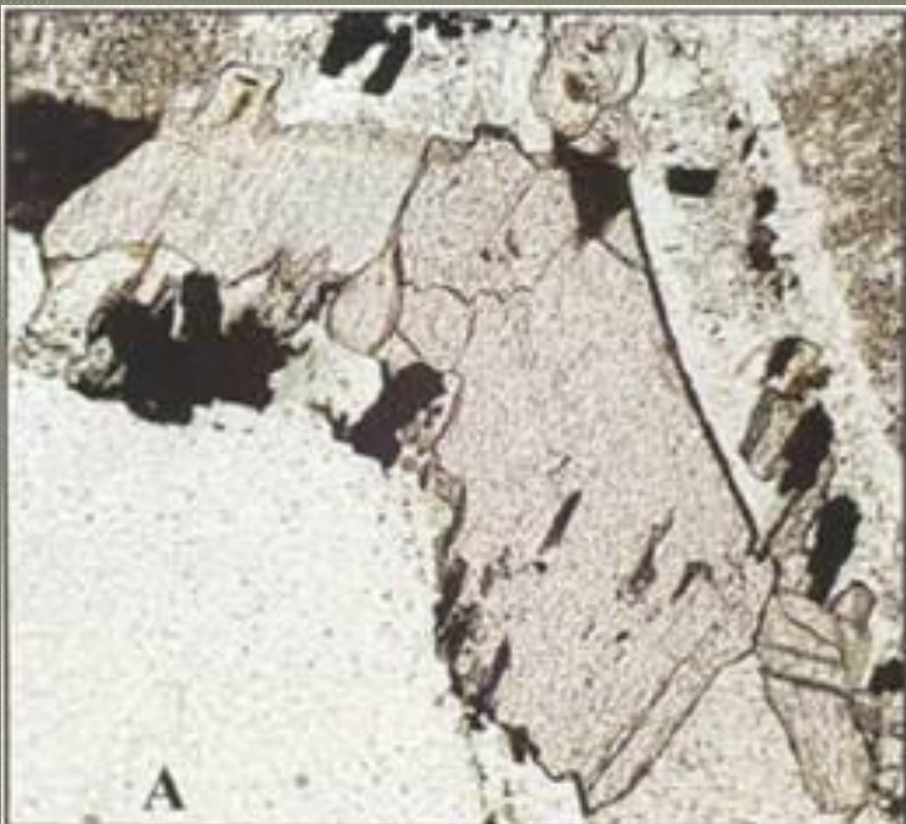


Рис. 15. Псевдоабсорбция у кальцита:

А, Б – изменение толщины трещин спайности; В, Г – изменение рельефа: В – отрицательный, Г – положительный рельеф



# Спаянность

---

- способность минералов раскалываться вдоль определенных направлений в кристаллической решетке с образованием ровных поверхностей.
- В шлифах спайность проявляются в виде ровных линий (трещин):
- единичных, параллельных кристаллографическим направлениям (граням, удлинению зерен);
- системы параллельных трещин, двух или нескольких систем, пересекающихся под определенным углом.
- Диагностическим признаком являются: степень совершенства; отсутствие спайности; угол между плоскостями спайности (системами спайности).

- 
- По степени совершенства различают спайность:
  - - весьма совершенную, выраженную в появлении тонких четких параллельных выдержанных трещин, располагающихся на близком расстоянии друг к другу и секущих все зерно (мусковит, биотит);
  - - совершенную – параллельные сплошные и прерывистые более широкие трещины (пироксены, амфиболы, полевые шпаты), располагающиеся в одном или двух направлениях;
  - - несовершенную – редкие и невыдержанные, в виде отдельных штрихов, не всегда строго параллельных (но общее направление выдерживается) широкие и тонкие трещины (турмалин, апатит).
  - При весьма несовершенной спайности (или ее отсутствии) трещин нет, либо они неровные, извилистые, беспорядочные (кварц, гранаты).

<i>Весьма совершенная</i>	<i>Совершенная</i>	<i>Отсутствует</i>	
			
БИОТИТ	МУСКОВИТ	ПЛАГНОКЛАЗ	КВАРЦ
<i>Под углом 90°</i>	<i>Под углом 90°</i>	<i>Под углом 87</i>	<i>По ромбоздру</i>
			
АНГИДРИТ	КАЛИЕВЫЙ ПОЛЕВОЙ ШПАТ	ПЛАГНОКЛАЗ	КАЛЬЦИТ

Рис. 16. Спайность в одном и двух направлениях



# Угол спаянности

- Угол между трещинами, является диагностическим признаком многих минералов, обладающих двумя (полевые шпаты, амфиболы, пироксены и др.), тремя (кальцит, доломит, галит и др.), четырех (флюорит) и шести (сфалерит) системами спайности.
- Например, у амфиболов углы между трещинами спайности составляют  $56^\circ$  и  $124^\circ$ ; у пироксенов  $87^\circ$  и  $93^\circ$ ;
- у плагиоклазов – около  $87^\circ$ , у калиевых полевых шпатов  $90^\circ$ , у карбонатов –  $73-75^\circ$ .
- Пересечение трещин спайности наблюдается в поперечных срезах кристаллов.

# Методика

- Угол между спайностью определяют как разницу отсчетов между двумя взаимно пересекающимися трещинами, снятую по нониусу на столике микроскопа.
- Для этого точку пересечения трещин спайности помещают в центр окулярного креста. Трещину спайности одного направления совмещают с вертикальной (или горизонтальной) нитью креста и снимают значение по нониусу. Затем поворачивают столик до совмещения с той же нитью креста трещину другого направления и снимают второй отсчет.
- Разница отсчетов дает угол между направлениями спайности. Если измеренное значение угла больше  $90^\circ$ , то его отнимают от  $180^\circ$ .
- Иногда системы спайных трещин пересекаются с образованием правильных геометрических фигур: например, во флюорите – равносторонних треугольников; в кальците – ромбов.

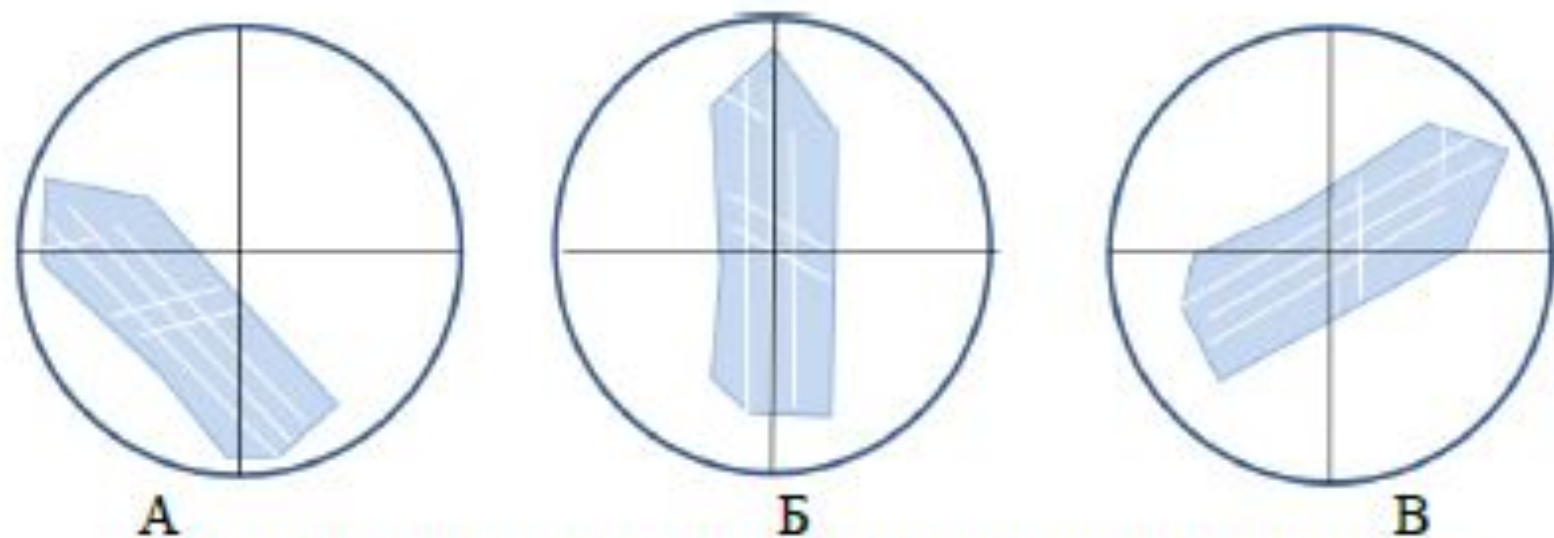


Рис. 17. Определение угла между трещинами спайности

# Работа в скрещенных николях



Рис. 18. Схема изучения минералов при двух николях

# Двулучепреломление

---

- В анизотропном минерале разница между наибольшим и наименьшим показателями преломления определяет двупреломление зерна:
- для одноосных минералов она рассчитывается как  $\Delta = N_o - N_e$  (или  $\Delta = N_e - N_o$ );
- для двуосных –  $\Delta = N_g - N_p$ .
- Диагностическая роль - у каждого минерала эта характеристика своя.
- Разница в скорости прохождения лучей определяет разницу хода. Разница хода приводит к возникновению интерференционной окраски.

# Интерференционная окраска

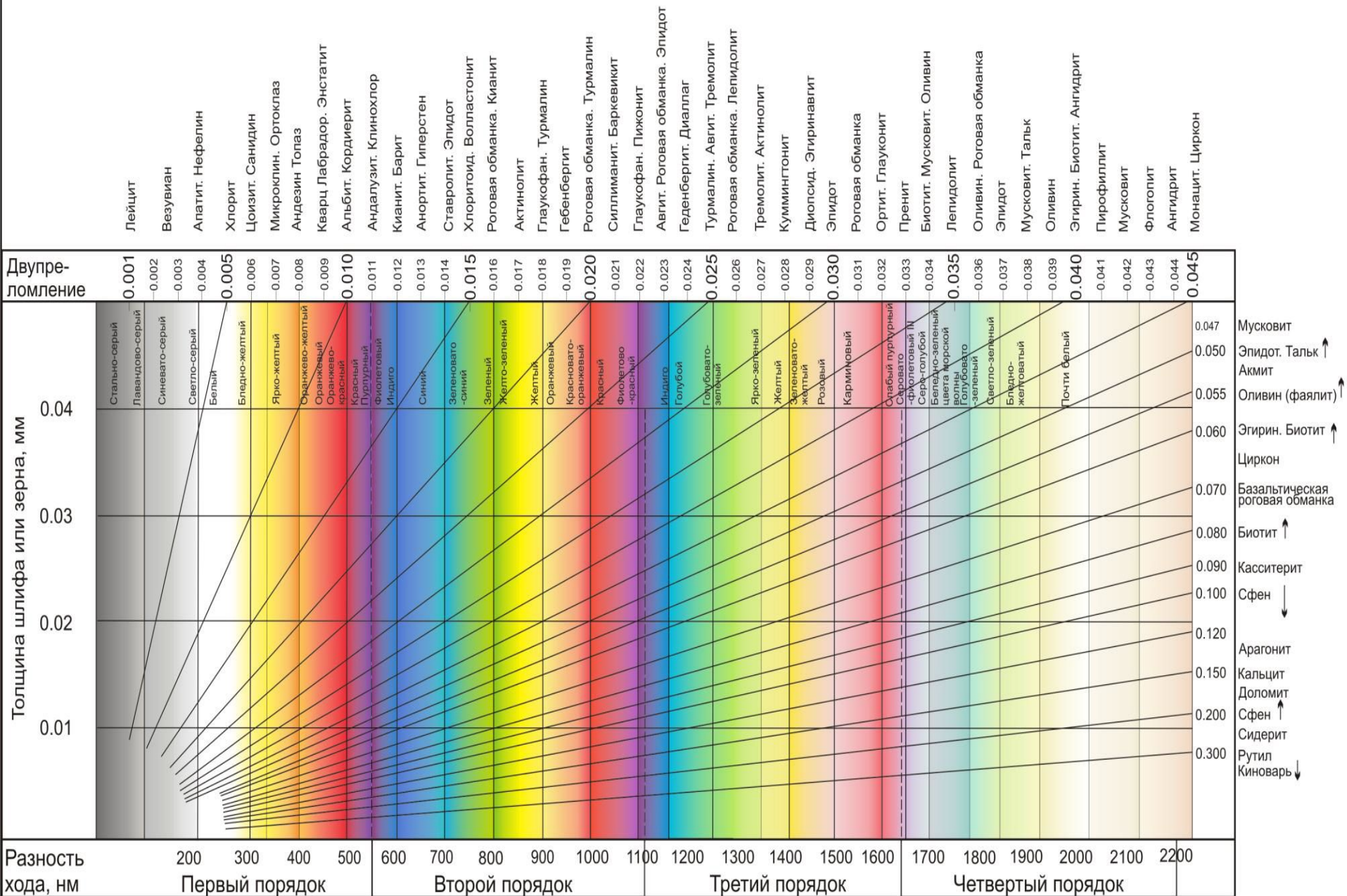
- Каждому значению разницы хода соответствует своя, строго определенная интерференционная окраска;
- Чем больше разница хода, тем ярче и выше порядок интерференционной окраски.
- Чем выше интерференционная окраска, тем больше разница между показателями преломления и больше сила двупреломления.
- (пример, у каолинита ( $N_g - N_p = 0,006$ ) интерференционная окраска серая, у кварца ( $N_g - N_p = 0,009$ ) – белая; у мусковита ( $N_g - N_p = (0,036 - 0,042)$ ) – от синей до красной и желтой; у кальцита ( $N_o - N_e = 0,172$ ) – перламутровая.

# Интерференционная окраска

---

- Помните! Разно ориентированные срезы одного и того же минерала обладают разной интерференционной окраской.
- Величину двупреломления определяют по интерференционной окраске и ее положению на номограмме Мишель-Леви

# Сила двойного лучепреломления





# Для определения величины двупреломления:

- - на шкале «Разность хода» отыскивают интерференционную окраску (с учетом порядка от первого до четвертого), соответствующую интерференционной окраске минерала в микроскопе;
- - проводят вертикальную линию вверх до пересечения ее с горизонтальной линией толщины шлифа
- Помнить! стандартная толщина шлифа составляет 0,03 мм, и кварц имеет белую интерференционную окраску);
- - через полученную при пересечении точку из левого нижнего угла проводят наклонную линию (в соответствии с веерообразным расположением линий одинакового двойного лучепреломления) и на ее конце считывают числовое значение двойного лучепреломления.

# ***Погасание***

---

- – это затемнение минерала при совпадении оси оптической индикатрисы кристалла с направлением световых колебаний в николях, т.е. располагаются параллельно нитям креста окуляра. Погасания добиваются путем поворота столика микроскопа.

## Характер погасания определяется как:

- - однородное (нормальное) – гаснет все зерно одновременно, наблюдается у большинства минералов;
- - волнистое – по зерну перемещается темная волна (кварц);
- - облачное – картина погасания напоминает облако, границы между светлыми и темными участками зерна волнистые и постепенные (кварц);
- - зональное – гаснут отдельные зоны зерна, другие – светлые; характерно для минералов, представляющих изоморфные смеси (плагиоклазы, пироксены, амфиболы, доломит, гранаты);
- - мозаичное – одни части зерна стоят на просветлении, другие – на погасании, границы зон просветления и погасания отчетливые (кварц);
- - сферолитовое – погасание в виде темного креста, вращающегося вслед за вращением столика (халцедон, сидерит, кальцит, хлорит);
- - полиагрегатное – зерно гаснет не одновременно, тонкие точечные участки просветления сочетаются с такими же тонкими участками погасания (глауконит);
- - симметричное – отмечается у двойников по альбитовому типу (плагиоклазы), когда одна система двойников гаснет симметрично относительно другой.

# Типы погасаний

- Если какое-нибудь кристаллографическое направление в минерале (спайность, грань, удлинение, двойниковый шов) совпадает с направлением световых колебаний (т.е. с нитью окуляра), то погасание минерала – прямое.
- Если между кристаллографическим направлением и погасанием образуется острый угол – угол погасания – то погасание косое.
- Часто угол погасания определяют как угол между удлинением кристалла ( $c$ ) и какой-нибудь осью минерала: угол  $c:N_g$ , угол  $c:N_p$  и др.

<i>Прямое</i>		<i>Косое</i>		<i>Симметричное косое</i>	
					
А Б Бiotит		Полевой шпат		Двойник плагиноклаза	
<i>Волнистое</i>					
					
Кварц (волновое перемещение погасания при повороте столика)					
<i>Облачное</i>			<i>Мозаичное</i>		
					
Кварц			Кварц		
<i>Зональное</i>		<i>Сферолитовое</i>		<i>Полиагрегатное</i>	
					
Полевой шпат [63]		Доломит		Халцедон	
				Сидерит	
				Глаукоцит	

Рис. 20. Характер погасания минералов

# Для определения угла погасания:

---

- - выбирают зерно с разрезом, параллельным главному сечению индикатрисы  $N_g-N_p$ , т.е. имеющее наивысшую интерференционную окраску, ставят его в крест нитей микроскопа, совмещая удлинение (двойниковый шов, спайность) с нитью окуляра;
- - снимают первый отсчет по нониусу;
- - поворачивают столик до полного погасания минерала;
- - снимают второй отсчет по нониусу;

# Определение угла погасания

- Разность между 1 и 2 отсчетом дает угол погасания.
- Прямое погасание относительно удлинения имеют кристаллы:
  - - средней категории (гексагональной, тетрагональной, тригональной сингоний) – всегда;
  - - ромбической сингонии – на ориентированных разрезах относительно всех кристаллографических осей;
  - - моноклинной сингонии – только в одной кристаллографической зоне (зона второго пинакоида), на всех других – погасание косое.
- Косое погасание относительно удлинения всегда имеют кристаллы триклинной сингонии.

# Удлинение минерала

- - это его вытянутость в одном направлении. Удлинение кристалла (знак зоны) бывает положительным и отрицательным.
- Для определения знака зоны следует знать положение осей оптической индикатрисы минерала. В этих целях используют компенсаторы – слюдяную (с разностью хода 150 микрон – серый цвет) или кварцевую (с разностью хода 575 микрон – фиолетовый цвет) пластинку, встроенную в металлическую оправу так, что вдоль длинной оси компенсатора ориентирована ось  $N_p$ , а перпендикулярно ей – ось  $N_g$ .



# Исследования проводят:

- - выбирают зерно минерала с ясно выраженным удлинением и помещают его в крест нитей в положение максимального просветления;
- - в специальную прорезь в тубусе микроскопа вставляют компенсатор и наблюдают изменение интерференционной окраски минерала;
- - если интерференционная окраска повышается, то положение осей минерала и пластинки совпадают, а именно ось  $N_p$  компенсатора совпадает с положением оси  $N_p$  исследуемого минерала;
- - если интерференционная окраска понижается, то положение осей минерала и пластинки не совпадают, а именно ось  $N_p$  компенсатора не совпадает с положением оси  $N_g$  исследуемого минерала;
- - определяют положение удлинения минерала относительно осей  $N_g$  и  $N_p$ ; если удлинение совпадает с осью  $N_g$  (или образует с ней острый угол) – удлинение положительное; если совпадает с осью  $N_p$  (или образует с ней острый угол) – отрицательное.

# Двойники

- это закономерные сростки двух кристаллов одного и того же минерала, симметрично нарастающих по отношению к двойниковой плоскости (шву). Различают простые и полисинтетические двойники (рис. 21).



Рис. 21. Характер двойников, наблюдаемых в шлифе

# Простой двойник

---

- состоит из двух индивидов и имеет одну отчетливо выраженную двойниковую плоскость;
- при повороте столика индивиды гаснут не одновременно: сначала гаснет один индивид (второй стоит на просветлении), затем — второй (первый просветляется).

# Полисинтетические двойники

---

- состоят из нескольких параллельных индивидов и имеют несколько отчетливо выраженных двойниковых плоскостей, погасание их осуществляется попеременно: сначала гаснет одна система смежных двойников, затем – другая.
- У микроклина полисинтетические двойники имеют вид решетки (микроклиновая решетка), образованной двумя системами двойников, пересекающихся под углом  $90^\circ$ .

## Диагностические признаки минералов, определяемые в сходящемся свете (коноскопия)

---

- В сходящемся свете или методом коноскопии для минералов определяются:
- - осность (одноосный или двуосный кристалл),
- - угол оптических осей (угол  $2V$ ),
- - оптический знак.

# Определение осности

---

- Осуществляется в сходящемся свете, получаемом при введении в оптическую систему микроскопа двояковыпуклой линзы Лазо, расположенной над поляризатором.
- Наблюдения проводят с помощью линзы Бертрана, встроенной в тубус микроскопа выше анализатора.

## Для получения коноскопических фигур:

- - включают анализатор, при небольших увеличениях ( $3,3\times$  или  $9\times$ ) выбирают разрез минерала, с самой низкой интерференционной окраской: т.е. сечение, перпендикулярное оптической оси для одноосных минералов, и биссектрисе оптических осей – для двуосных;
- - помещают зерно в крест нитей окуляра;
- - устанавливают, фокусируют и центрируют объектив с большим увеличением ( $40\times$  или  $60\times$ );
- - поднимают осветительную систему и включают линзу Лазо;
- - включают и центрируют линзу Бертрана;
- - при повороте столика наблюдают коноскопическую фигуру, по которой определяется осность минерала и ориентировка разреза.

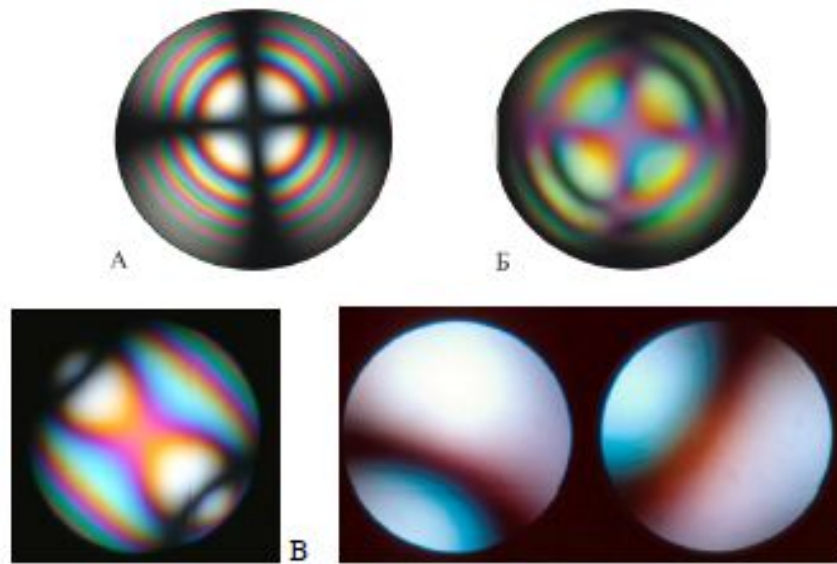


Рис. 22. Коноскопические фигуры минералов со вставленным компенсатором: А – одноосный кварц, двуосные: Б – флогопит, В – мусковит, Г – хлоритонд [64, 65]

- Для одноосного минерала коноскопическая фигура – темный крест (рис.а), не меняющего положения при повороте столика. Центр креста – точка выхода оптической оси  $N_o$ , колебания  $N_e$  располагаются по радиусам. Чем дальше от центра креста, тем больше значение  $N_e$  и разность хода.



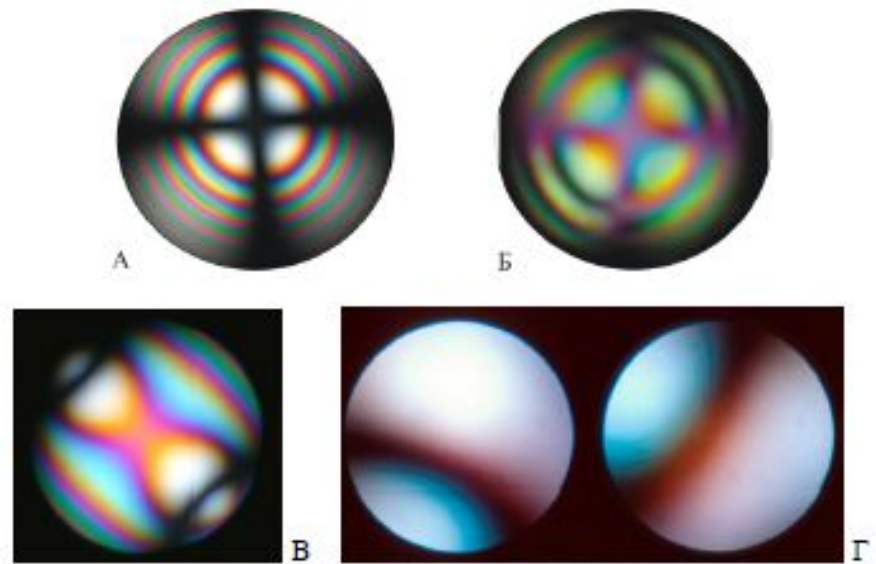


Рис. 22. Коноскопические фигуры минералов со вставленным компенсатором: А – одноосный кварц, двуосные: Б – флогопит, В – мусковит, Г – хлоритовид [64, 65]

- Коноскопическая фигура минералов с низким двупреломлением - широкий размытый крест с просветлениями по краям;
- у минералов со средним двупреломлением промежутки между крестом имеют серую и белую окраску;
- у минералов с большой силой двупреломления вокруг креста образуются интерференционные кольца.

# ***Угол оптических осей $2V$***

---

- определяется по расхождению изогир. Чем дальше расходятся изогир, тем больше угол  $2V$ .
- При максимальном расхождении изогир угол  $2V=50^\circ$ , при расстоянии между изогирами, равном половине диаметра поля зрения, угол  $2V=25^\circ$ .

# Определение *оптического знака*

- Проводится по коноскопической фигуре с использованием кварцевого компенсатора (для минералов с низким двупреломлением) и кварцевого клина (для минералов с высоким двупреломлением).
- Помнить! Кристалл считается оптически положительным, если колебания обыкновенного луча совпадают с осью  $N_p$ , а необыкновенного – с осью  $N_g$ .
- В одноосных оптически положительных кристаллах, удлиненных по оси вращения, не соответствует  $n_g$ ;
- в одноосных оптически отрицательных – не соответствует  $n_p$ .
- Определение оптического знака, таким образом, сводится к определению наименования осей минерала.

- Для одноосного минерала при введении компенсатора наблюдается одновременное повышение или понижение интерференционной окраски в двух противоположных квадрантах (I и III, II и IV).
- Если окраска во II и IV квадрантах коноскопического креста понизилась (появились желтые и красные окраски), т.е. ось  $N_p$  компенсатора совместилась с осью  $N_e$  минерала, а ось  $N_g$  пластинки совпала с осью  $N_o$ , то оптический знак кристалла – положительный (рис. 23).
- Если окраска во II и IV квадрантах коноскопического креста повысилась (появились синие и зеленые цвета), т.е. ось  $N_p$  пластинки совпала с осью  $N_o$  минерала, – минерал оптически отрицательный.
- При определении знака с помощью кварцевого клина, в коноскопической фигуре наблюдают за передвижением интерференционных колец.
- В оптически положительных минералах во II и IV квадрантах кольца перемещаются от центра, т.е. интерференционная окраска уменьшается; в I и III квадрантах – к центру, т.е. интерференционная окраска увеличивается.
- В оптически отрицательных минералах перемещение колец происходит в обратном направлении. Изменение окраски коноскопической фигуры одноосных и двуосных минералов при введении компенсатора приведено в табл. 2.

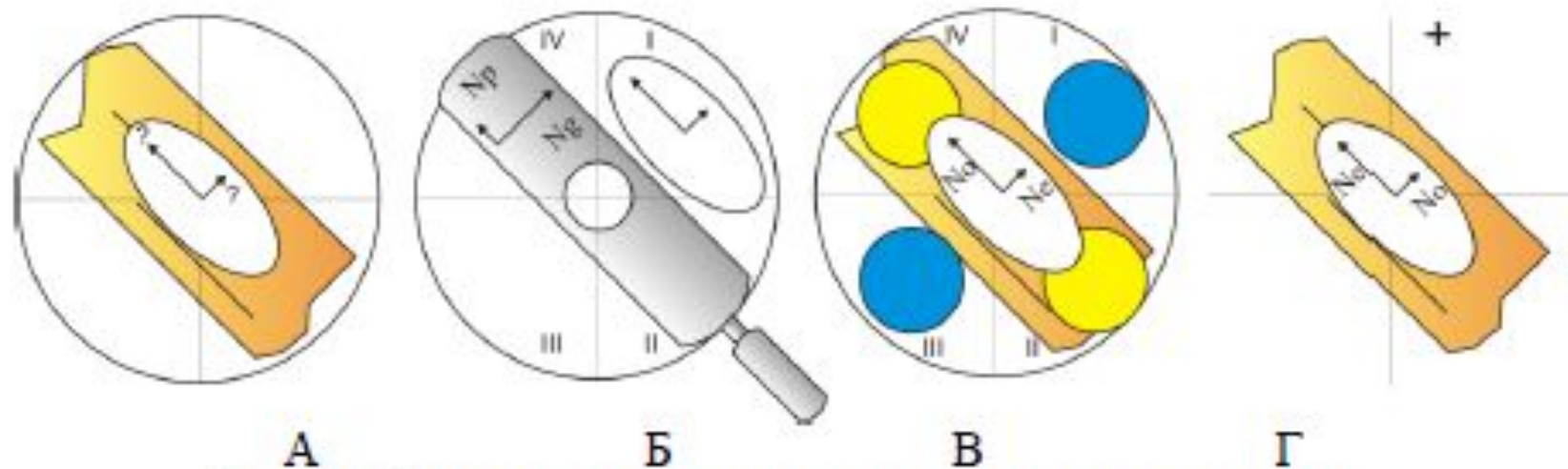














Рис. 23. Схема определения оптического знака минерала:

А – ориентированное зерно минерала; Б – компенсатор, введенный в систему; В – изменение окраски коноскопической фигуры; Г – наименование осей и оптический знак минерала

Таблица 2

Изменение окраски коноскопической фигуры одноосных и двуосных минералов при введении компенсатора и кварцевого клина

Тип компенсатора	Разрезы, перпендикулярные оптической оси			
	Одноосные минералы		Двуосные минералы	
	+	-	+	-
Кварцевая пластинка (по длине $N_p$ )			 	 
Кварцевый клин (по длине $N_p$ )			 	 

- 
- Для определения оптического знака двуосного минерала нужно:
  - - развести изогирь на максимальное расстояние в направлении прорези для компенсатора. Если при введении компенсатора окраска между изогирями (II и IV квадранты) повысится, оптический знак минерала положительный (ось  $N_r$  лежит в горизонтальной плоскости, ось  $N_g$  – направлена в сторону наблюдателя); если понизится, то – отрицательный (табл.).
  - При определении знака у минералов с высоким двупреломлением используют кварцевый клин. Его вводят постепенно в прорезь микроскопа (тонким концом вперед) и наблюдают за передвижением интерференционных колец на коноскопической фигуре. В положительных минералах (и одноосных и двуосных) во II и IV квадрантах кольца перемещаются от центра (интерференционная окраска уменьшается), а в I и III – к центру (интерференционная окраска увеличивается). В отрицательных минералах перемещение колец происходит в обратном направлении.