

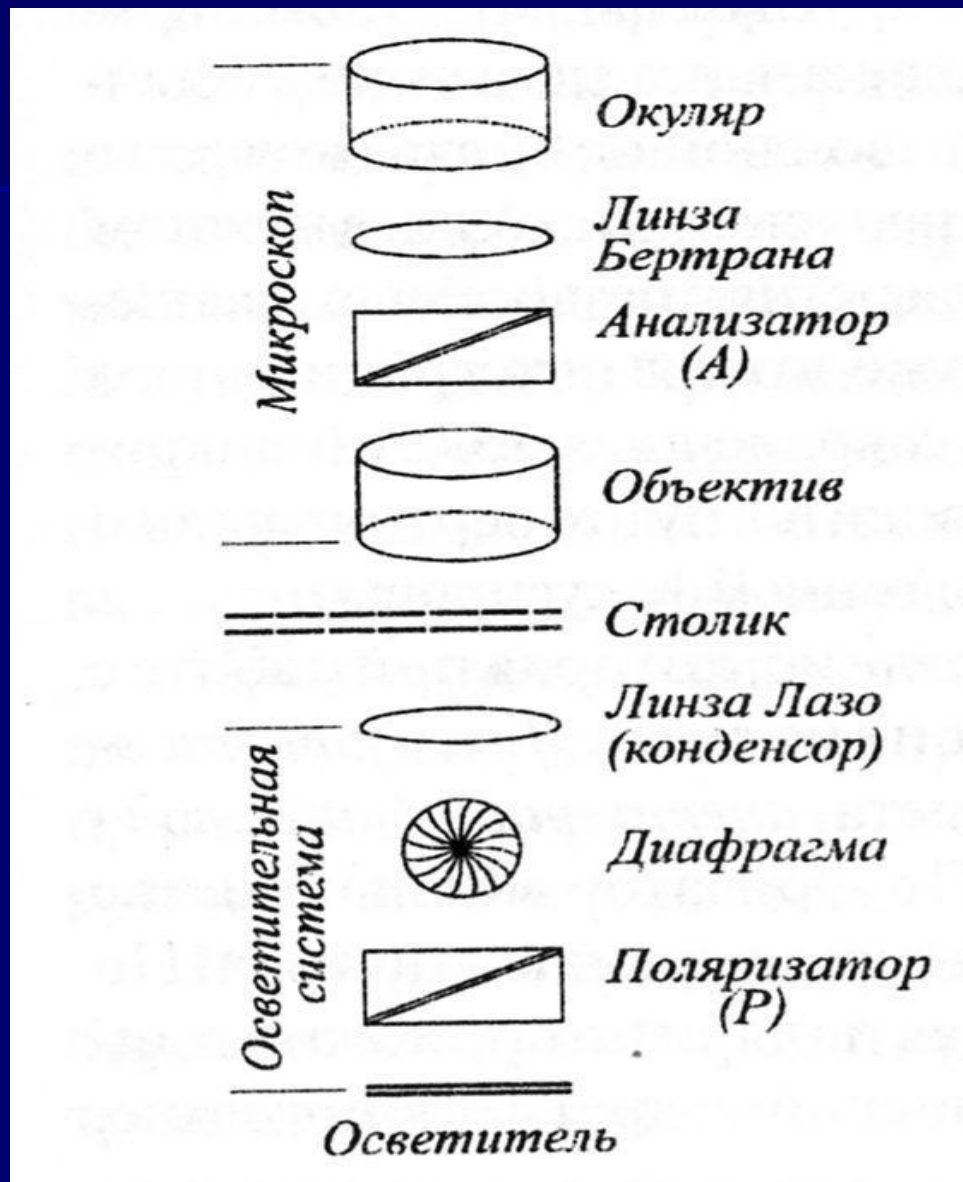
Исследование минералов под микроскопом

ПОЛЯРИЗАЦИОННЫЙ МИКРОСКОП И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ В ПЕТРОГРАФИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

Устройство микроскопа

Для изучения оптических свойств и диагностики минералов в шлифах, представляющих собой тонкие полированные срезы горных пород ($d = 0,03$ мм), наклеенные на стекло с помощью канадского бальзама или специальной эпоксидной смолы, применяется *поляризационный микроскоп*, отличающийся от обычного микроскопа наличием поляризатора, анализатора и некоторых дополнительных вспомогательных приспособлений. Любой микроскоп состоит из системы линз, разделенной на две части. Первая часть этой системы - *объектив* - дает увеличенное, перевернутое действительное изображение исследуемого объекта. Это изображение рассматривается при помощи второй части - *окуляра*.

Рис. 1 Принципиальная схема хода лучей в микроскопе



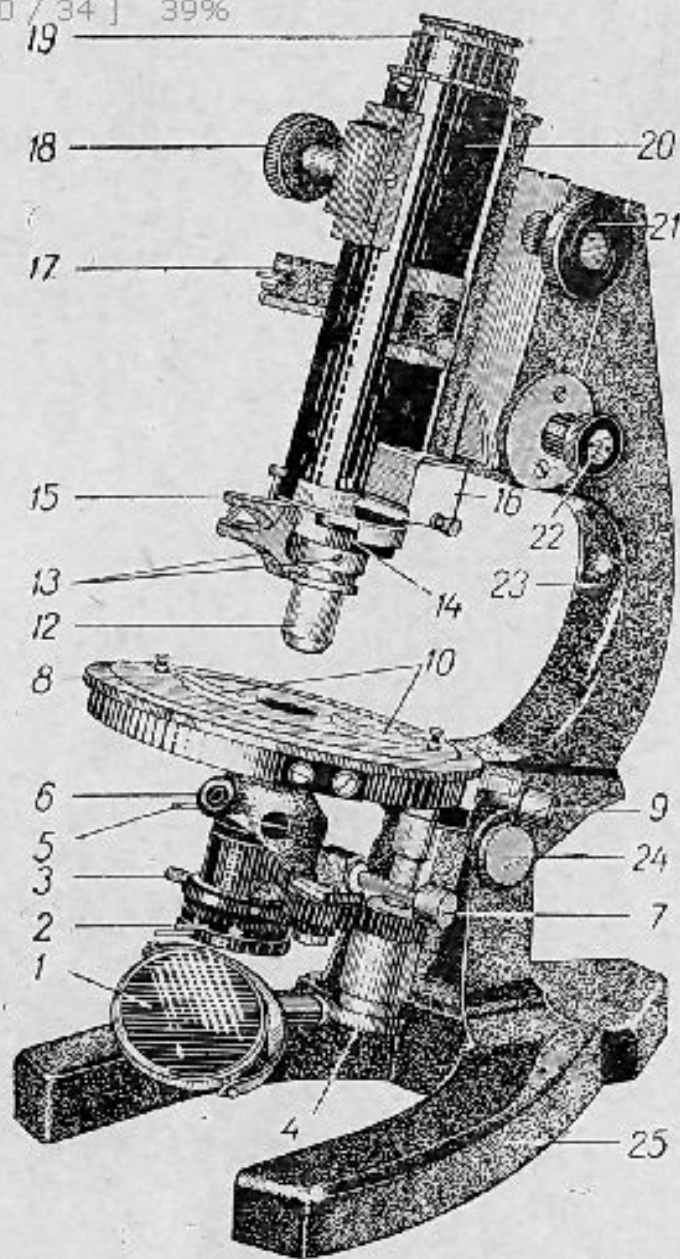
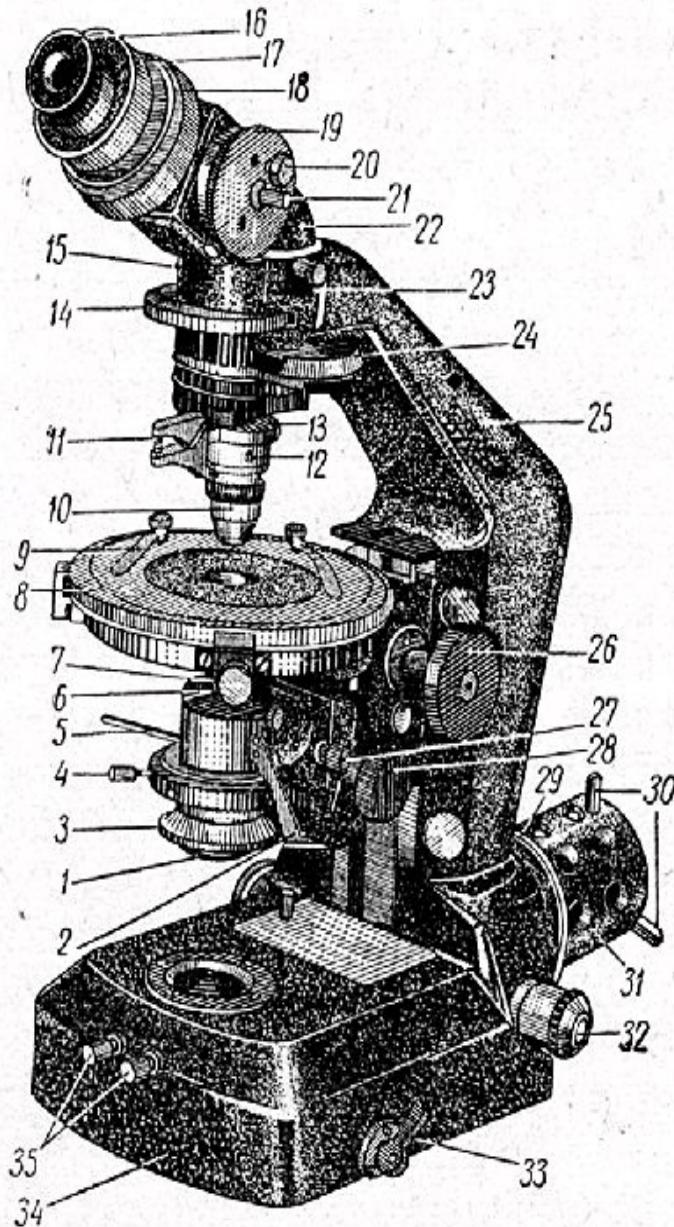


Рис. 2. Поляризационный микроскоп МП-3:

1- осветительное зеркало; 2- поляризатор (в оправе с конденсатором; 3- стопорный винт поляризатора; 4- винт для подъема поляризатора с конденсатором; 5 - рукоятка апертурной диафрагмы; 6- линза Лазо; 7- рукоятка для включения линзы Лазо; 8 - предметный столик; 9- стопорный винт столика; 10- клеммы для крепления препарата; 11- нониусы; 12- объектив; 13- центрировочные винты объектива; 14- щель для компенсатора; 15- щипцевое устройства для крепления объективов; 16- анализатор; 17- линза Бертрана; 18- маховичок для передвижения линзы Бертрана; 19-окуляр; 20-тубус; 21- маховичок микрометрической подачи тубуса; 22- маховичок (барашек) микрометрической подачи тубуса; 23- основание (пятка) штатива; 24- штатив; 25- стопорные винты штатива (на рисунке с обратной стороны).

Рис. 3. Усовершенствованный микроскоп
МИН-8:

1-апертурная диафрагма слабых объективов; 2-рукоятка линзы Лазо; 3-оправа поляризатора с конденсором; 4-стопорный винт поляризатора; 5-рукоятка апертурной диафрагмы средних и сильных объективов; 6-съемный конденсор; 7-стопорный* винт столика и нониус; 8-предметный столик; 9-клеммы; 10-объектив; 11-щипцовое устройство крепления объектива; 12-центрировочные-винты объектива; 13-щель для ввода конденсатора; 14-диск со светофильтрами; 15-тубус; 16-окуляр; 17-кольцо для наводки на резкость коноскопической фигуры; 18-кольцо диафрагмы линзы Бертрана; 19-диск для включения линзы Бертрана; 20-барашек для центрировки линзы Бертрана по горизонтальной оси; 21- барашек для центрировки линзы Бертрана по вертикальной оси; 22- наклонная насадка тубуса; 23- винт крепления наклонной насадки тубуса; 24-анализатор; 25- штатив; 26- маховичок макро-метрической подачи столика; 27- стопорный винт кронштейна поляризатора; 28- маховичок подъема и опускания поляризатора с конденсором; 29- диафрагма поля; 30- центрировочные винты осветительной лампы; 31- осветительное устройство; 32- барашек микрометрической подачи столика; 33- рукоятка дополнительной линзы; 34- станина микроскопа; 35-центрировочные винты отклоняющей призмы осветителя.



Шлиф – препарат для микроскопических исследований минералов и горных пород

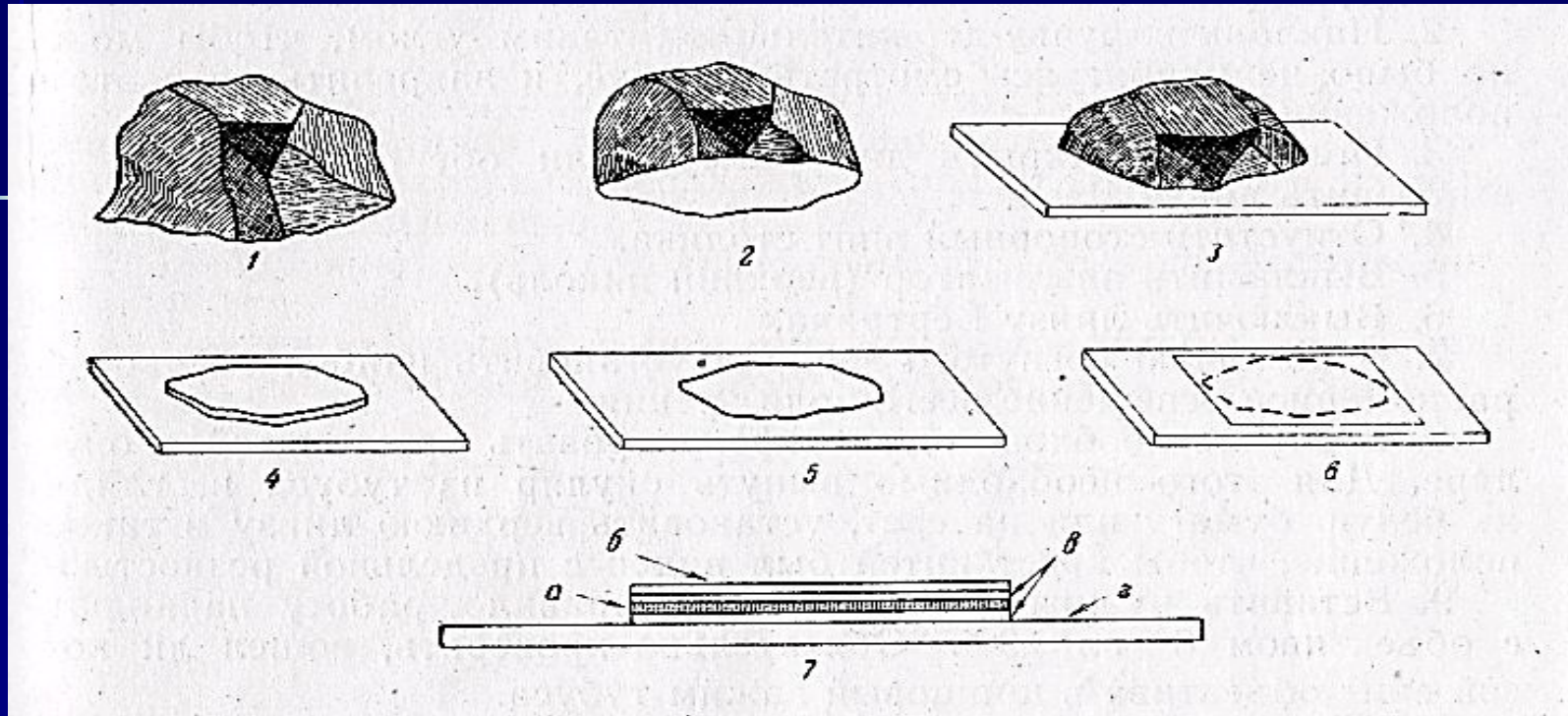


Рис. 4. Последовательные стадии изготовления шлифа

1 - обломок породы; 2 — заготовка в обломке плоской площадки; 3 — обломок, наклеенный плоской площадкой на предметное стекло; 4 — сошлифованная тонкая пластина породы; 5 — пластинка, доведенная до толщины 0.03 мм; б — пластинка, закрытая покровным стеклом; 7 — разрез готового шлифа (вертикальные размеры произвольно увеличены): а — пластинка породы; б — покровное стекло; в — канадский бальзам; г — предметное стекло

Общее увеличение микроскопа определяется произведением увеличений объектива и окуляра. Современные микроскопы могут давать увеличение до $2000\times$ и позволяют наблюдать предметы размером около $0,15\text{ мкм}$. Что касается поляризационных микроскопов, то их увеличение не превышает $700\text{--}800\times$, и этого вполне достаточно для проведения петрографических исследований. Рассмотрим устройство поляризационного микроскопа сверху вниз по схеме на рисунке 9.

Окуляр предназначен для непосредственного наблюдения глазом и содержит круглую стеклянную пластинку с нанесенным на ней тонким крестом или же крест внутри пластинки натянут из двух проволочек. Крест находится в плоскости изображения, поэтому его изображение проектируется в поле зрения микроскопа.

Окуляр с крестом нитей вставляют в тубус микроскопа и закрепляют с помощью фиксатора так, что бы одна из нитей лежала точно в плоскости симметрии микроскопа, а другая - перпендикулярно к ней.

Наиболее часто используемый окуляр имеет увеличение $8\times$. Кроме простого окуляра с крестом нитей, в комплекте каждого микроскопа обычно присутствуют дополнительные окуляры-микрометры. В них вложены стеклянные пластинки с нанесенной на них либо градуированной линейной шкалой, либо квадратной сеткой. Такие окуляры обычно используются для точного определения размеров и площади зерен минералов.

Между окуляром и анализатором находится *линза Бертрана*, представляющая собой слабый объектив с большим полем зрения. Эта линза применяется для наблюдения в сходящемся свете, а в других случаях она должна быть отключена. Некоторые модели микроскопов содержат диафрагму линзы Бертрана (полевою диафрагму), лежащую в плоскости изображения под окуляром и применяемую для уменьшения поля наблюдения при коноскопическом изучении мелких зерен.

Далее идет **анализатор** (верхний нико́ль), который находится в тубусе микроскопа между окуляром и объективом. Анализатор может выдвигаться из тубуса и тем самым выключаться из оптической системы микроскопа.

Ниже располагается **объектив**. В микроскопах новых и некоторых старых моделей применяется револьверная система (с объективами различного фокусного расстояния и увеличения, обычно от $2,5\times$ до $60\times$), вращение которой позволяет легко менять рабочий объектив. Объективы самых больших увеличений используются для получения коноскопических фигур. Каждый объектив в револьверной системе является автономным, поэтому его центрировка производится отдельно с помощью специальных центрировочных винтов.

Столик поляризационного микроскопа имеет круглую форму и может вращаться. Для измерения углов поворота по краю столика нанесены деления, обычно через 1° .

На поверхности столика имеются отверстия с резьбой для крепления дополнительных приспособлений (препаратоводителя, интеграционного столика, столика Федорова и др.). У большинства современных моделей микроскопа фокусировка объекта исследования производится путем вертикального перемещения столика с помощью винтов грубой и тонкой фокусировки.

Под столиком находится *осветительная система*, которая при работе с микроскопом должна быть поднята. Она состоит из *линзы Лазо (конденсора)*, необходимой для получения сходящегося света, *апертурной (ирисовой) диафрагмы* и *поляризатора* (нижнего николя). Поляризатор в большинстве микроскопов может вращаться в своей обойме вокруг вертикальной оси. По краю обоймы обычно нанесены деления. Вращая поляризатор, можно приводить николи в скрещенное, параллельное или любое другое положение. Обычно главным рабочим положением является то, при котором николи скрещены.

Поверки микроскопа перед работой

Прежде чем начать работу с любым микроскопом, необходимо: -
Установить микроскоп в удобном для работы положении.

- Обеспечить освещение.

- Проверить скрещенность николей.

- Определить направление колебаний света, выходящего из поляризатора.

- Проверить перпендикулярность нитей креста окуляра.

- Проверить совпадение направлений нитей окуляра с направлением световых колебаний, пропускаемых николями.

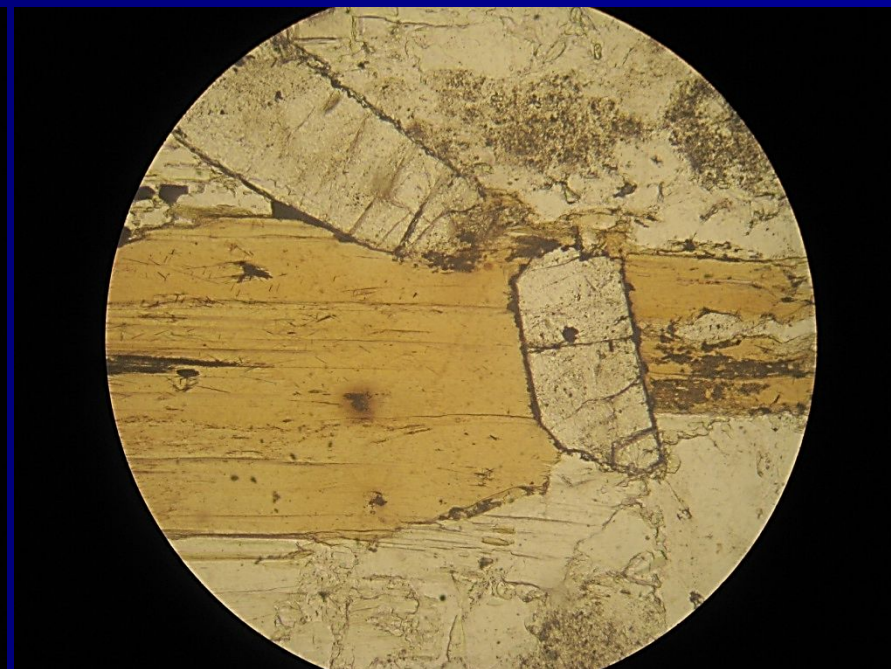
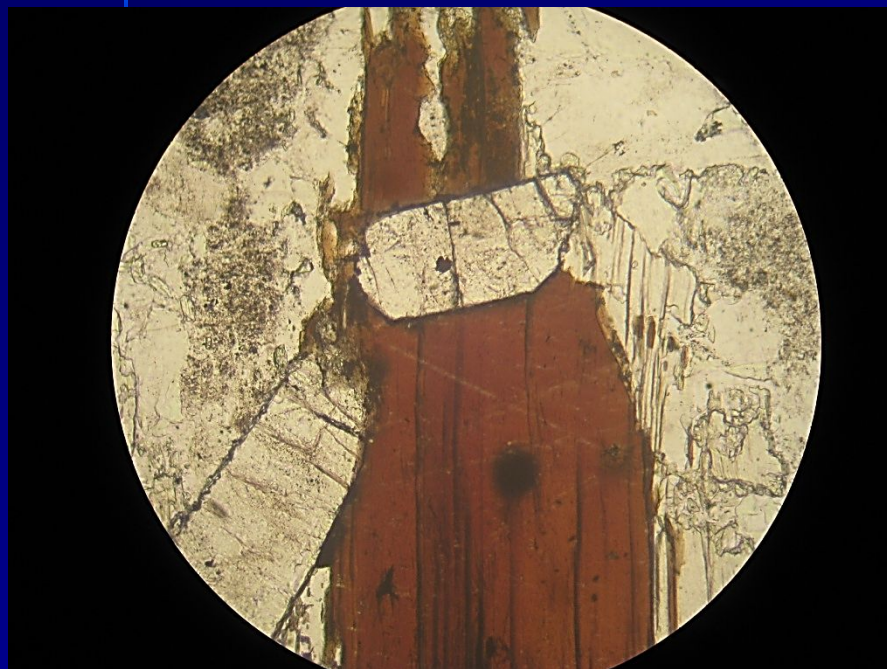
- Проверить центрировку объективов.

Проверка скрещенности николей. В микроскопе направление колебаний света, выходящего из поляризатора (P), должно быть перпендикулярным направлению колебаний света, пропускаемого анализатором (A). Это положение называется положением скрещенных николей. Для его установки после получения максимальной равномерной освещенности поля зрения (без шлифа) включаем анализатор: если поле зрения стало черным, то николи скрещены.

Если поле зрения стало светло-серым или осталось светлым, то проверяется положение поляризатора: на микроскопах «МИН» и «Полам» включить поляризатор до фиксированного положения, а если и после этого не наступает полной темноты, это означает, что свернут анализатор, требуется вмешательство мастера.

Определение направлений колебаний света, выходящего из поляризатора. Для этого в шлифе под микроскопом выбирается кристалл биотита с наиболее четко выраженными трещинами спайности, с резким изменением собственной окраски минерала (плеохроизмом) при вращении столика микроскопа. При выключенном анализаторе вращается столик микроскопа до получения максимальной густоты окраски биотита, и в этом положении трещины спайности показывают направление колебаний света, выходящего из поляризатора.

При совпадении спайности биотита с направлением колебаний поляризованного луча он приобретает наиболее густую и тёмную окраску, а при повороте столика микроскопа на 90^0 окраска его становится наиболее светлой.



Проверка перпендикулярности креста нитей окуляра.

В шлифе выбирается зерно любого минерала с прямолинейными хорошо выраженными трещинами спайности, лучше всего биотита. Затем: (1) выбранное зерно помещается в центр поля зрения; (2) вращением столика микроскопа трещины спайности устанавливаются точно параллельно одной из нитей креста окуляра, и по лимбу столика микроскопа берется отсчет; (3) вращением столика микроскопа (в любую сторону) совмещаются эти же трещины спайности с другой нитью, и опять берется отсчет по лимбу.

Разница между отсчетами должна составлять $90 \pm 1^\circ$. Если она отклоняется от 90° требуется вмешательство мастера для исправления креста нитей окуляра.

Проверка совпадения креста нитей окуляра с направлениями колебаний света, пропускаемого анализатором и поляризатором. В шлифе выбирается зерно биотита с тонкими трещинами спайности и ставится на центр поля зрения. Затем: (1) включается анализатор; (2) столик микроскопа вращается до максимального

погасания биотита (наиболее точная установка максимального погасания достигается путем небольших вращений столика с переводом через темноту и повторным возвратом к ней); (3) при максимальном погасании трещины спайности должны совпасть с направлением одной из нитей креста окуляра, с допустимым отклонением в 1^0 ; если не совпадение составляет больший угол то нужно проверить положение окуляра: а) если фиксатор (шпенёк) окуляра не вошел в прорезь тубуса микроскопа, то поворотом окуляра поставить последний в фиксированное положение; (б) если окуляр находится в фиксированном положении, а направление нити не совпадает со спайностью, то требуется вмешательство мастера.

Центрировка объектива. У микроскопов часто происходит несовпадение центра вращения поля зрения с оптической осью микроскопа. Оно проявляется в том, что любое зерно, любая точка шлифа, поставленная точно на перекрестье нитей окуляра, при вращении столика микроскопа уходит из центра, иногда даже за пределы поля зрения.

Это происходит из-за перекоса или расцентрирования объектива. Объектив может быть не доведен до фиксированного положения (микроскопы "Opton" и "Полам") или неправильно вставлен, что легко определяется по несимметричному положению центрировочных винтов по отношению к зажимным щипцам объектива в микроскопах со съемными объективами (МП, МИН и др.). Для исправления центрировки самого объектива в шлифе выбирается любая приметная точка и устанавливается на перекрестье нитей окуляра. При вращении столика точка уходит из центра и описывает окружность. Необходимо мысленно фиксировать центр вращения и с помощью центрировочных колец или винтов совместить его с перекрестьем нитей окуляра. Для контроля точности центрирования нужно, перемещая шлиф руками, выбранное зерно снова поставить на центр и повторить все предыдущие операции.

Центрировка объектива микроскопа

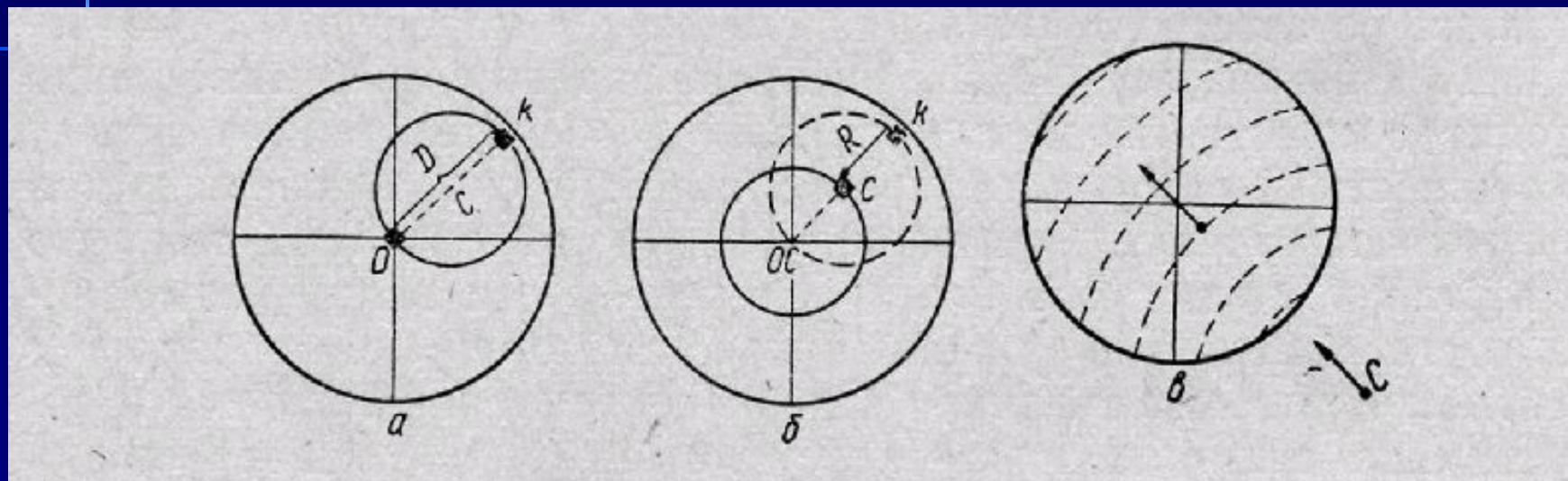


Рис. 5. Центрировка микроскопа:

a — расположение зерна на диаметрально удалении от креста (точка *к*); *б* — перемещение зерна на полдиаметра; *в* — направление движения зерен при сильной расцентрированности микроскопа.

Наблюдения без анализатора

Для минералов можно провести под микроскопом определение целого ряда их свойств в плоскопараллельном свете, не включая анализатор: размеры, форму, цвет минерала и плеохроизм, характер спайности, угол между трещинами спайности, рельеф, шагреневую поверхность и примерную величину показателя преломления.

Определение размера зёрен и площади сечения минералов

Определение размера зерен. Размер зёрен определяется в зависимости от характера исследований либо приблизительно, либо точно с использованием препаратоводителя (салазок) или соответствующих окуляров с линейкой или сотой. Для приблизительных замеров предварительно определяется диаметр поля зрения при определенных увеличениях. Точный замер с помощью микрометрического окуляра позволяет определить размеры с точностью до тысячных долей мм, но предварительно необходимо провести градуировку микрометрического окуляра, т. е. определить цену делений окуляра при каждом используемом в работе объективе. Для градуировки линейки окуляра используется объект-микрометр, представляющий собой металлическую пластинку, в центре которой вставлено стекло с нанесенной линейной шкалой, длиной в 1 мм и разделенной на 100 делений, т. е. цена каждого деления 0,01 мм. Микрометр устанавливается на столик микроскопа как обычный шлиф.

В тубус микроскопа вместо обычного окуляра вставляется окуляр с линейкой. Устанавливается объектив самого меньшего увеличения и фокусируется на шкалу объект-микрометра, при этом шкала микрометрического окуляра должна быть четко видна (окуляры обладают автономной фокусировкой). Перемещая руками объект-микрометр, совмещаем начало обеих шкал. Отмечаем, скольким делениям шкалы (линейки) окуляра соответствует шкала объект-микрометра и вычисляем цену деления окуляра. Например: для объектива 9х (микроскопа МИН-10) 100 делений шкалы объект-микрометра, т. е. вся линейка, соответствует 54 малым делениям шкалы окуляра. Отсюда 1 малое деление линейки окуляра равно $1 \text{ мм} : 54 = 0,0185 \text{ мм}$, а вся линейка окуляра 5х имеет длину $0,0185 \times 100 = 1,85 \text{ мм}$. Для объективов большей кратности в поле зрения видна лишь часть шкалы объект – микрометра. В этом случае подсчитав число делений шкалы объект – микрометра, приходящихся на всю линейку шкалы окуляра, делим их на 100, т.е. на число делений шкалы окуляра, и получаем цену малого деления шкалы окуляра.

Измерение площади сечений минералов. Для замеров площади сечений минералов используется планиметрическая сетка, которая нанесена на круглом стекле, как и линейная шкала, и также вставляется в окуляр вместо стекла с линейной шкалой. Градуировка проводится так же, как и линейной шкалы. Определение размеров зерен с помощью препаратоводителя ("салазок") проводится передвижением одной из планок "салазок". Вращением винта "салазок" зерно подводится одним краем к перекрестью нитей окуляра и на линейке "салазок" берется отсчет с использованием нониуса. Тем же винтом переводим зерно через перекрестье, подведя к нему противоположный край зерна, и вновь на линейке "салазок" берем отсчет. Разница в отсчетах и даст нам размер зерна в мм. При определении размеров кристаллов, имеющих удлиненную форму, необходимо проводить два замера – по длинной стороне и по короткой, отношение которых даёт коэффициент удлинения минерала, нередко имеющий важное генетическое значение.

Определение формы минерала возможно: (1) по степени идиоморфизма - а) идиоморфные - полностью огранённые, б) гипидиоморфные - частично ограненные, в) ксеноморфные - лишённые граней, обладающие неправильной формой; (2) по изометричности (соотношению размеров по разным направлениям) - а) изометричные - размеры по всем направлениям одинаковы или близки, б) удлинённые, вытянутые; (3) по контурам кристаллов - а) для идиоморфных определяется число граней и их взаиморасположение, что нередко дает возможность определять сингонию, к какой группе минералов относится исследуемый минерал, или иногда сам минерал. Для кристаллов призматической формы определяется коэффициент удлинения L (длина/ширина), по которому выделяются широко призматические при $L < 2$, призматические при $L = 2-4$, узко призматические при $L = 5-10$ и игольчатые при $L > 10$, б) для ксеноморфных отмечается характер контура: ровный, зубчатый, лапчатый, занозистый и т.д.

Каждый минерал необходимо изучать в разных его сечениях. Это относится и к форме: сопоставление формы разных сечений кристаллов дает возможность воссоздать его объемную форму.

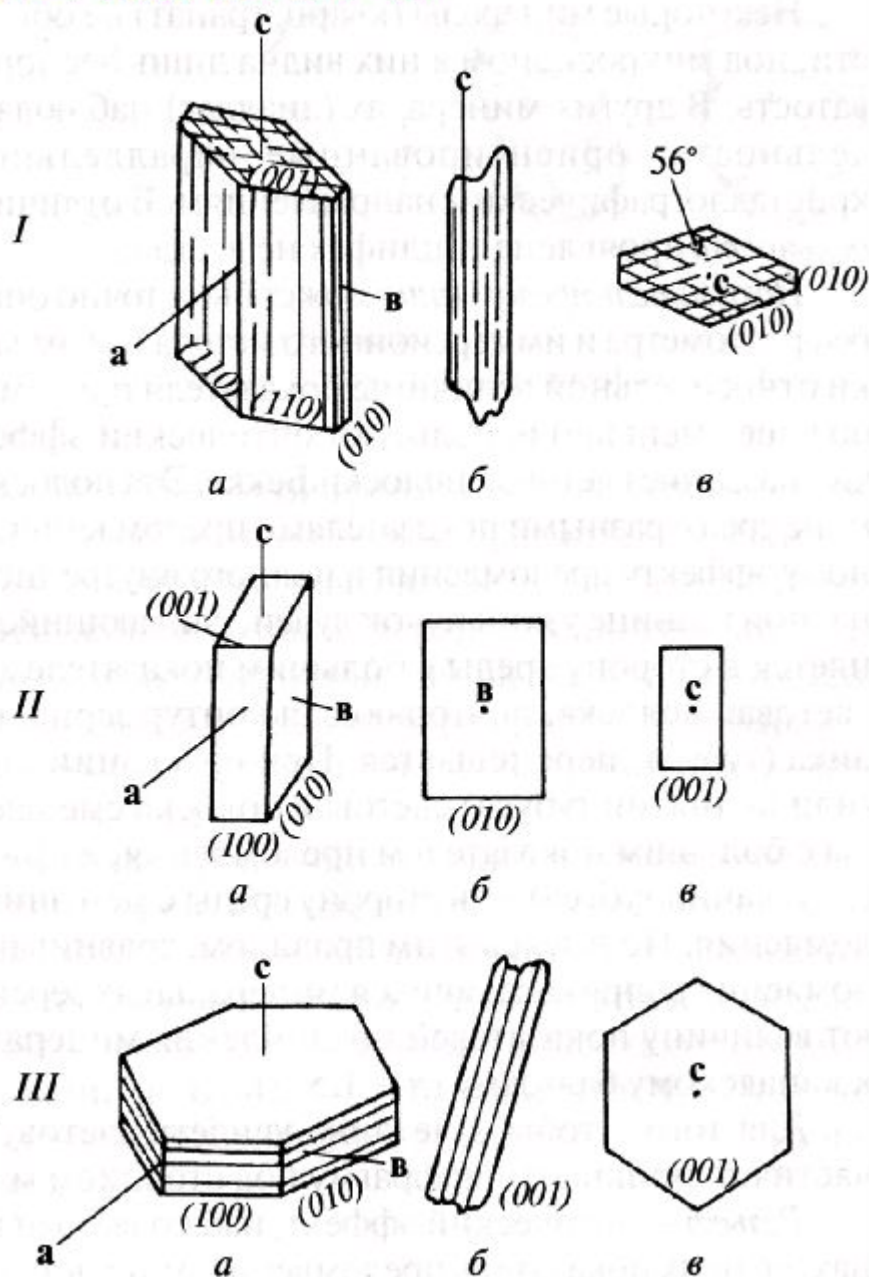


Рис. 6. Кристаллы призматической (/), таблитчатой (//), пластинчатой (///) формы: а — объемная форма кристаллов; б, в — сечения: б — продольные, в — поперечные

Цвет минералов, плеохроизм и его типы

Большинство минералов в шлифе имеют менее густую окраску чем в образце, что связано, главным образом с тонким срезом. Цвет минерала обычно указывается из двух частей, причём на второе место ставится основной цветовой тон, а на первое оттенок или интенсивность цвета (например, синезелёный, светло-коричневый и т.п.).

Плеохроизм. Плеохроизмом называется способность минерала неодинаково поглощать свет разных частей спектра по разным направлениям. Выделяется 3 типа плеохроизма. От смены направлений кристалла по отношению к направлению колебаний поляризованного света может изменяться: (1) только густота окраски, т.е. в пределах одной части спектра; (2) цвет, но примерно равной густоты; (3) цвет и густота окраски.

Для определения плеохроизма необходимо знать: направление колебаний света в микроскопе, выходящего из поляризатора; в минерале – ориентировку осей индикатрисы. Для оптически одноосных минералов (средних сингоний) определяем цвет в двух направлениях по N_e и N_o . Для оптически двуосных минералов (низших сингоний) определяем цвета по трём направлениям – по N_g , N_m и N_p .

Записав цвет по осям индикатрисы, составляем **схему абсорбции**, т.е. схему поглощения цвета. Например, окраска по N_e – тёмно-зелёная, по N_o – светло-зелёная, следовательно, по N_e более интенсивное поглощение света, чем по N_o , и схема абсорбции будет соответственно $N_e > N_o$. Или (для двусосных минералов): окраска по N_g – зелёная, по N_r – светло-розовая, по N_m – синяя. Схема абсорбции $N_g = N_m > N_r$. При очень резком различии в густоте окраски, в схему абсорбции можно внести усиление - $N_e \gg N_o$ и т.п.

Для определения плеохроизма используют следующую последовательность действий:

1. Выбор зерна. Для минералов средней категории: тригональной, тетрагональной и гексагональной сингоний (оптически одноосных) - выбирается зерно с максимальной интерференционной окраской (никили скрещены), с наиболее резко изменяющейся при вращении столика микроскопа собственной окраской (при одном никеле) и четко выраженным каким-либо кристаллографическим направлением (призматические грани вытянутых кристаллов; тонкие и четкие трещины спайности в одном направлении).

Это сечение характеризует окраску минерала по обеим осям индикатрисы: N_e и N_o (но сечение одноосного минерала с минимальной интерференционной окраской является перпендикулярным к оптической оси, а поэтому - оптически изотропно и характеризует цвет минерала по N_o).

Для минералов низшей категории: ромбической, моноклинной и триклинной сингоний (оптически двуосных) - необходимы два ориентированных сечения минералов, чтобы охарактеризовать его окраску по всем трем направлениям - N_g , N_m и N_p . Одно зерно с максимальной интерференционной окраской, с наиболее резко изменяющейся собственной окраской при вращении столика микроскопа и наличием четкого кристаллографического направления - это сечение характеризует окраску по осям N_g и N_p . Другое зерно - с минимальной интерференционной окраской и с практически не изменяющейся при вращении столика собственной окраской - это сечение перпендикулярно к оптической оси минерала и характеризует окраску по N_m .

2. Выбранное зерно устанавливаем на перекрестье нитей окуляра, включаем анализатор (А) и вращением столика гасим кристалл, т. е. добиваемся максимальной его темноты, совмещая при этом определяемое направление с направлением колебаний света, выходящего из поляризатора (Р).

3. Выключаем (A) и записываем наблюдаемую собственную окраску минерала для выбранного направления.

4. Снова включаем (A) и поворачиваем столик микроскопа на 90° , т. е. опять гасим кристалл, но уже в новом положении, при котором второе направление в кристалле, перпендикулярное к первому, совмещено с направлением колебаний света, выходящего из (P).

5. Выключаем (A) и отмечаем наблюдаемую собственную окраску минерала для второго направления.

6. Для минералов низшей категории второе выбранное зерно, которое не изменяет собственной окраски при вращении столика микроскопа с выключенным (A), должно оставаться темным при вращении столика микроскопа с включенным (A). Так как это сечение кристалла перпендикулярно оптической оси, то в плоскости шлифа располагается круговое сечение индикатрисы с осью Nm , а отсюда следует, что в этом сечении при любом повороте столика микроскопа с (P) всегда совмещается ось Nm , и окраска, наблюдаемая без (A) в этом сечении, характеризует направление Nm .

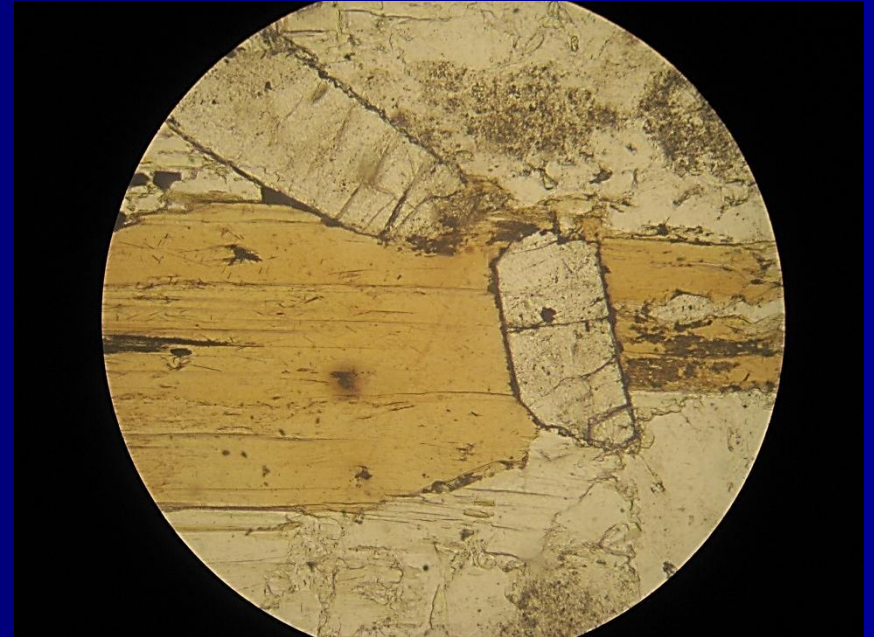
7. Определив окраску по всем главным направлениям в кристалле (N_e и N_o - в одноосных; N_g , N_m и N_p - в двуосных), записываем схему абсорбции, т. е. поглощения света, соотношения густоты окраски по разным направлениям: N_e и N_o (например, $N_e > N_o$) или N_g , N_m и N_p (например, $N_g > N_m > N_p$).

Для отчётливо удлинённых кристаллов с учётом густоты окраски вдоль их вытянутости и перпендикулярно к ней, выделяют биотитовую и турмалиновую схемы абсорбции. При первой минерал более густо окрашен по удлинению, а при второй, наоборот.

Биотит. Прямая схема плеохроизма

Спайность совпадает с направлением колебаний поляризованного света, т.е. показатель преломления кристалла близок к N_g или N_m , светопоглощение максимальное.

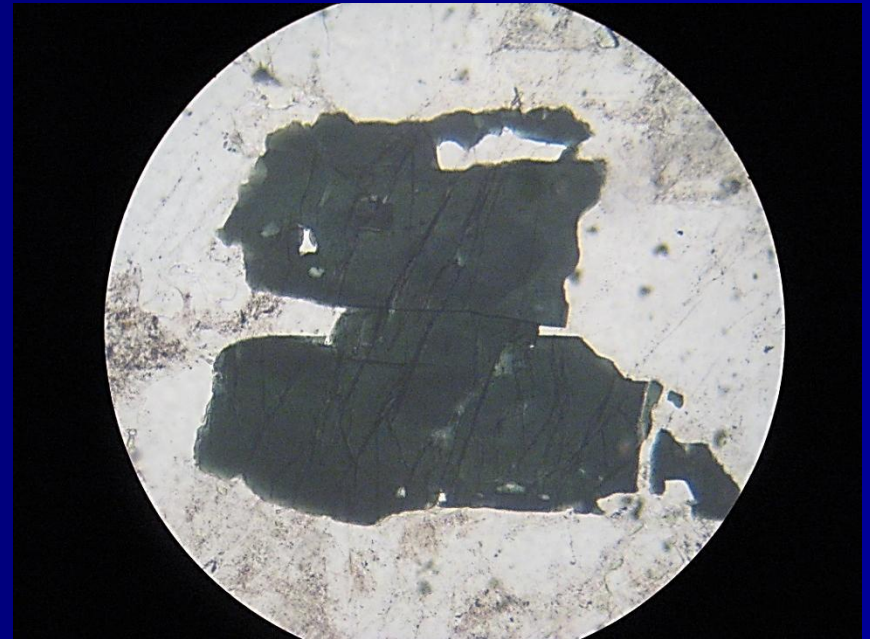
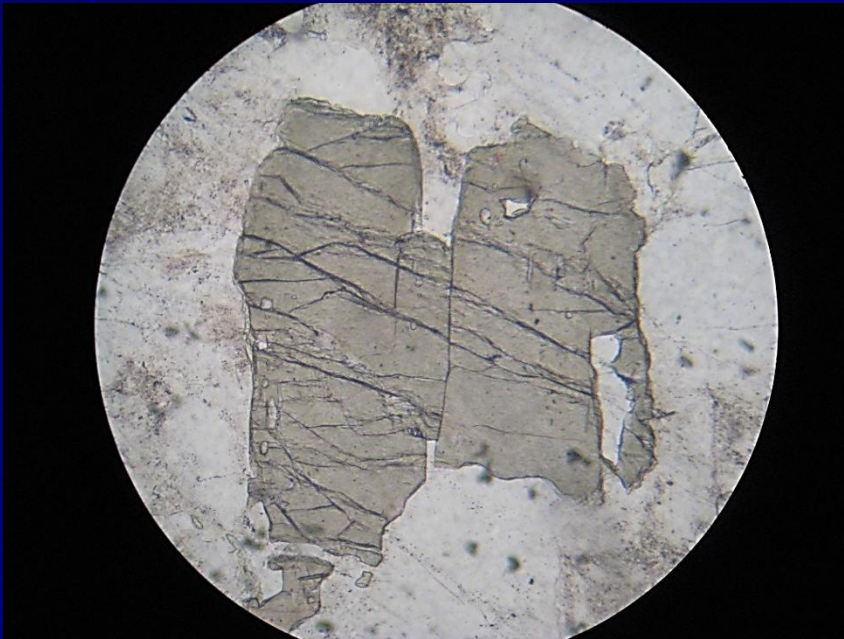
Спайность перпендикулярна направлению колебаний поляризованного света, т.е. показатель преломления кристалла близок к N_p , светопоглощение минимальное.



Турмалин. Обратная схема плеохроизма

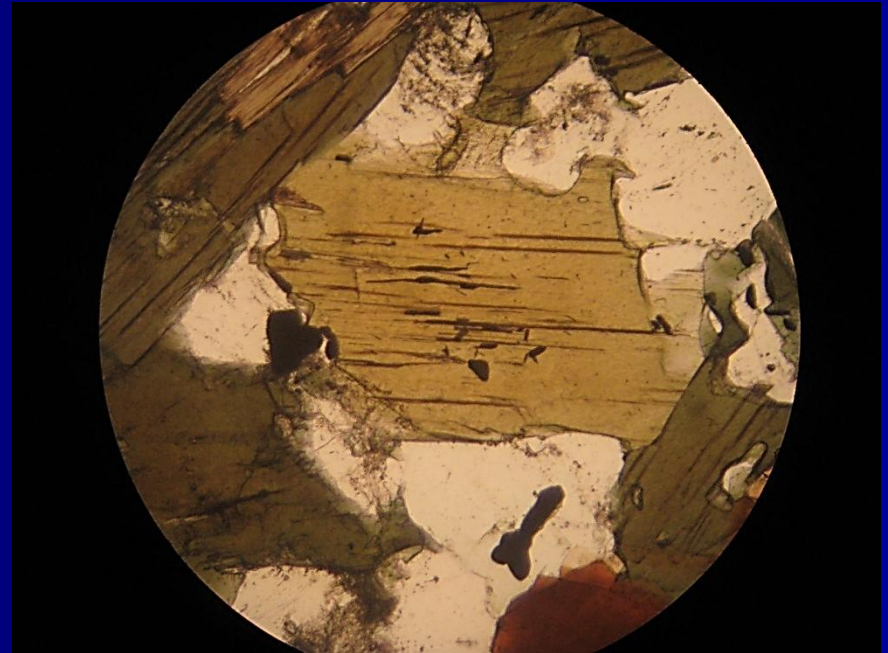
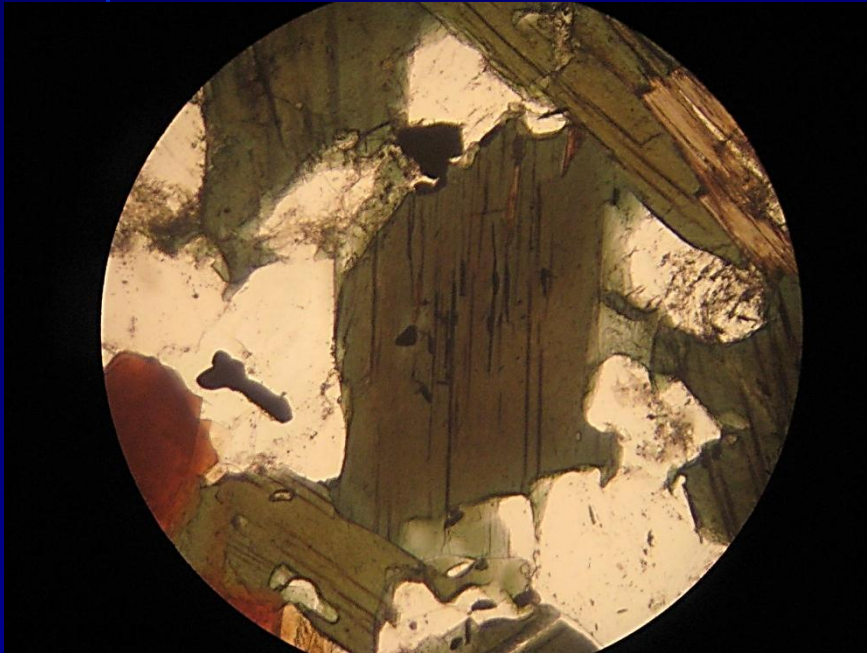
Кристаллы турмалина ориентированы удлинением по направлению колебаний поляризованного луча, т. е. показатель преломления турмалина близок к N_e .

Кристаллы турмалина ориентированы удлинением перпендикулярно направлению колебаний поляризованного луча, т. е. показатель преломления турмалина близок к N_o .



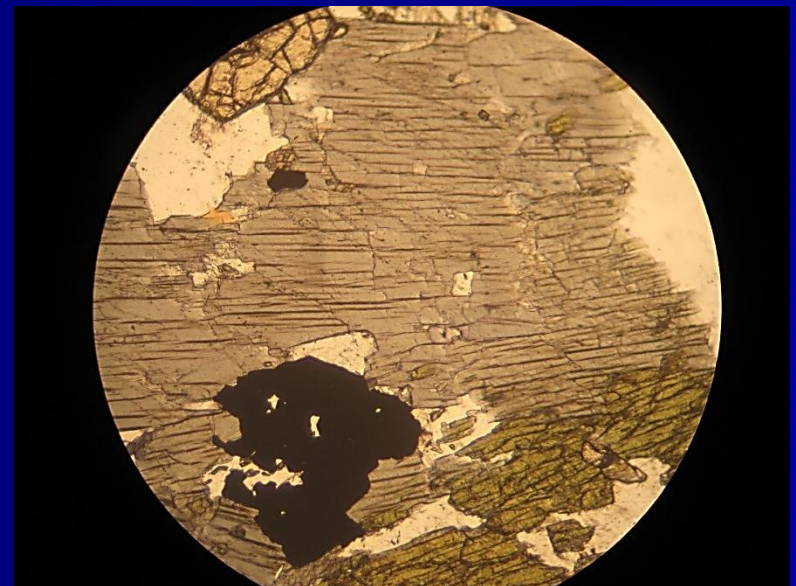
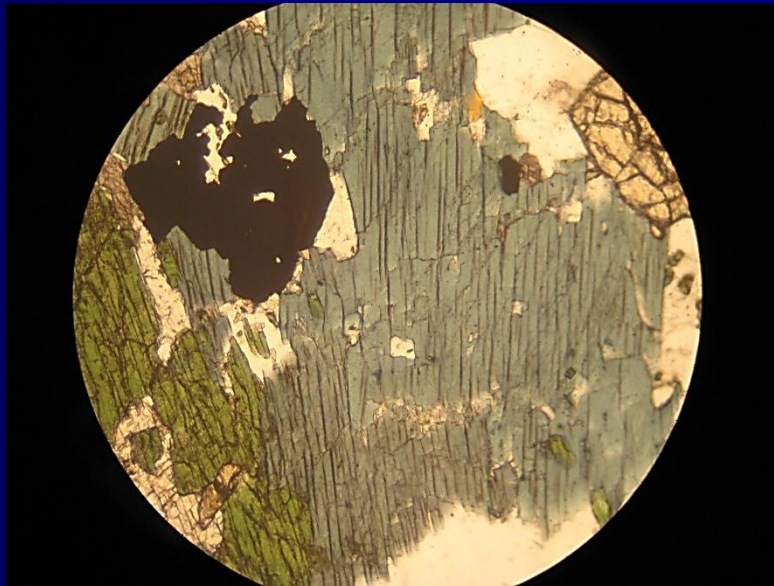
Плеохроизм роговой обманки

Интенсивность окраски и плеохроизм роговой обманки возрастают с железистостью от бесцветной до жёлто-зелёной, жёлтой, буроватой по N_r , жёлто-зелёной, зелёной, жёлто-бурой по N_m и от голубовато-зелёной до сине-зелёной или бурой по N_g .



Плеохроизм рибекита

Рибекит относится к подгруппе натровых амфиболов и характеризуется плеохроизмом по следующей схеме: *Nr* – тёмно-синий; *Nt* – светло-синий; *Ng* – зеленовато-жёлтый.



Спайность

Спайность называют свойство кристаллов колотья по плоскостям, параллельным действительным или возможным граням. Характер спайности является важным диагностическим признаком минералов. По степени совершенства спайности под микроскопом, также как макроскопически, она подразделяется на весьма совершенную, совершенную, несовершенную, весьма несовершенную (спайность отсутствует).

Несовершенная спайность никогда не даёт прямолинейных трещин, с изгибами, изломами. Типичные минералы: оливин.

Совершенная спайность: трещины прямолинейные, но не чаще 0,01 мм. Типичные минералы: пироксены; амфиболы; полевые шпаты; карбонаты.

Весьма совершенная спайность трещины прямолинейные, непрерывные близко расположенные до 0,004 мм. Типичные минералы: слюды и слюдоподобные.

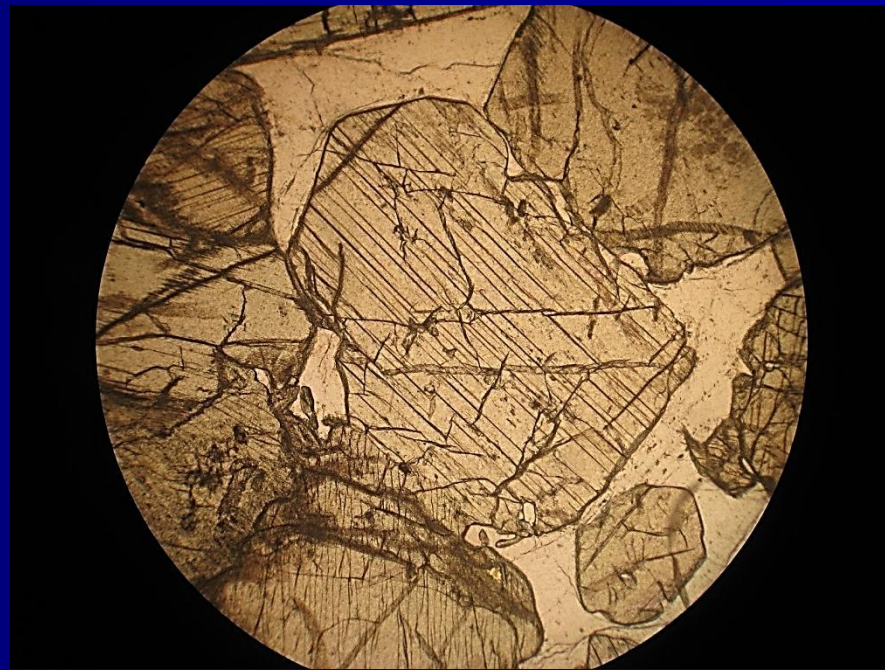
Пересекающаяся спайность может быть в двух, в трёх и в нескольких направлениях. В этом случае важное значение имеет угол между спайностями различных направлений, который зачастую является крайне характерным даже для целой группы минералов. Например спайность амфиболов по 3 пинакoidу ($56 - 57^\circ$) по которой они однозначно отличаются от пироксенов у которых в этом сечении спайность составляет $87 - 89^\circ$. Многие карбонаты характеризуются спайностью по ромбоэдру с углом между трещинами $73 - 75^\circ$.

Несовершенная и совершенная спайность

Несовершенная спайность у оливина.
Трещины спайности не прямолинейны, с изгибами и изломами.

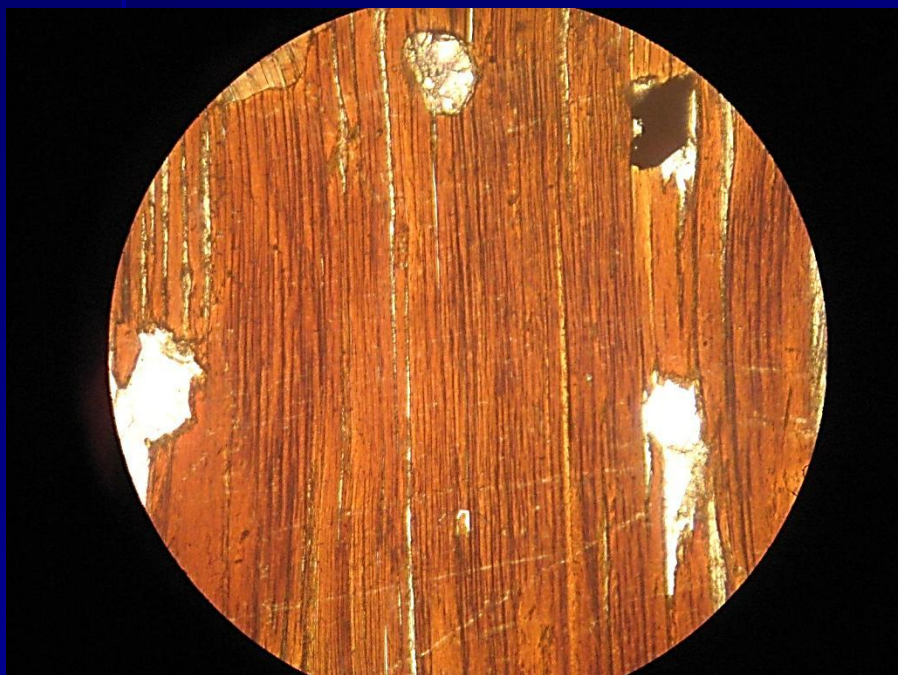


Совершенная спайность у пироксена, энстатита. Трещины прямолинейные и выдержанные, густота не превышает 0,01 мм.

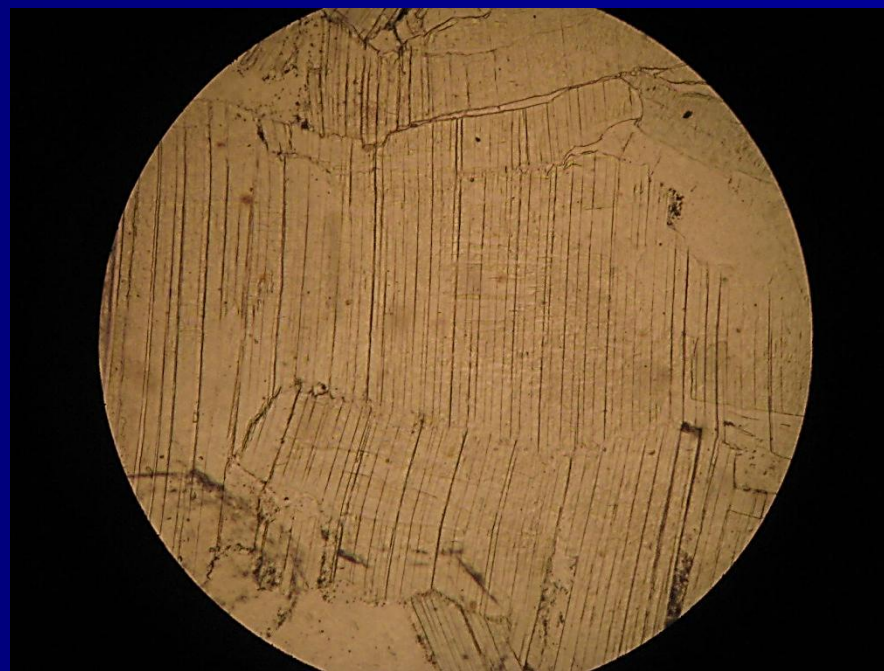


Весьма совершенная спайность у слюд

БИОТИТ

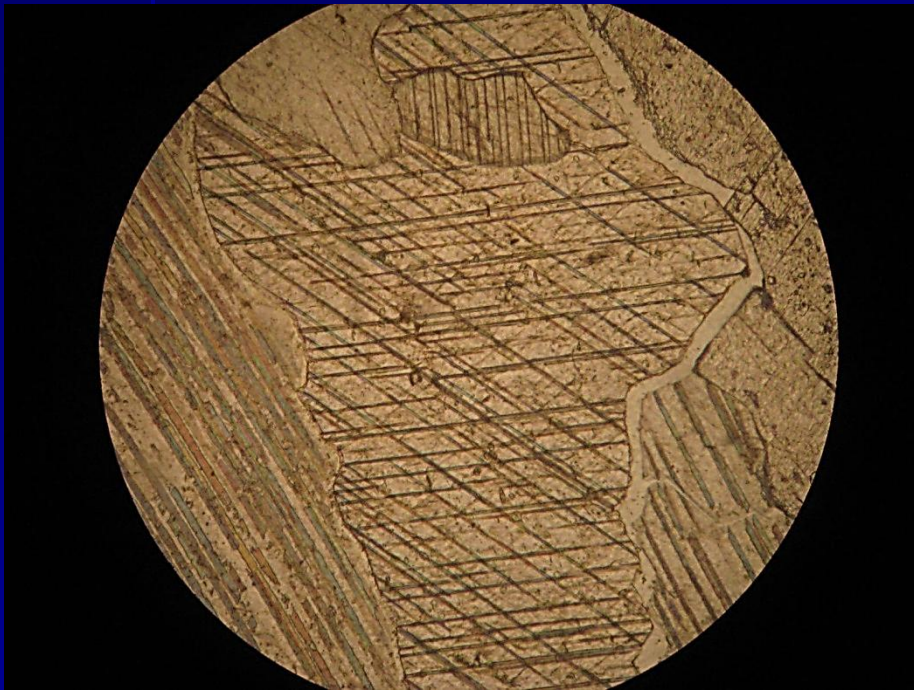


МУСКОВИТ

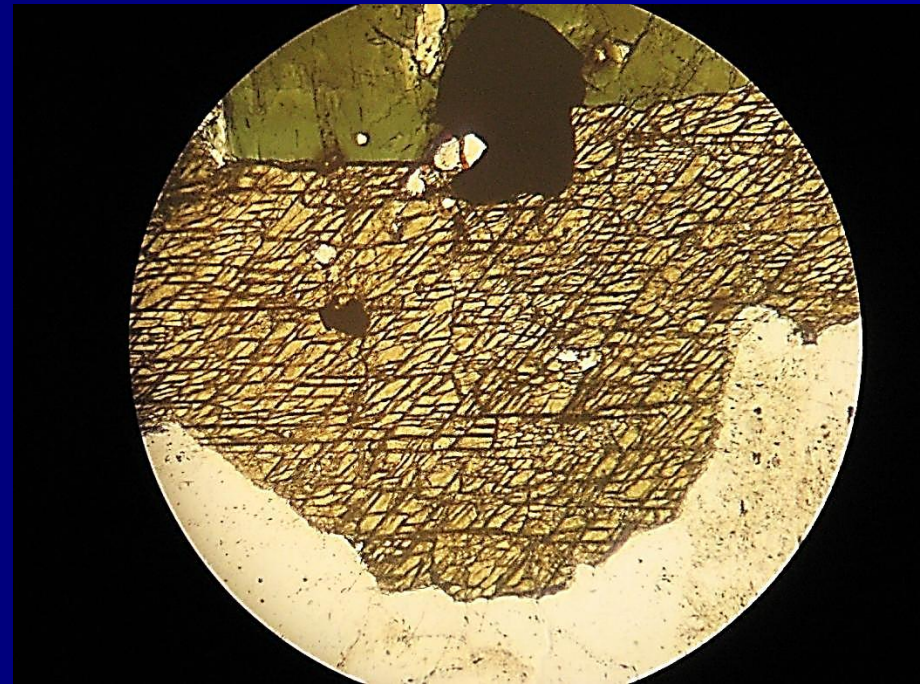


Перекрещивающаяся спайность

Ромбоидальная совершенная спайность кальцита



Перекрещивающаяся под углом 57° совершенная спайность амфиболов



Показатель преломления и связанные с ним рельеф и шагреневая поверхность

Шагреневая поверхность – от французского *chagrin* - мягкая шероховатая кожа, выделяваемая из шкур животных. Этот эффект шероховатости поверхности минералов в шлифах возникает в результате явлений преломления лучей света на границе раздела двух сред с разными показателями преломления. В шлифах, где поверхность минералов заливается канадским¹ или пихтовым бальзамом закрывается покровным стеклом, одной да таких сред является бальзам с известным показателем преломления равным 1,536.

Поверхность минералов в шлифах не идеально гладкая, а шероховатая, т. е. представляет собой комбинацию огромного числа бугорков и ямок, что и предопределяет ход лучей света, пресекающих границу минерала или вулканического стекла с бальзамом.

Поскольку нижняя поверхность исследуемых объектов только усложняет ход лучей, практически не изменяя конечного эффекта на их выходе из шлифа, то мы рассматриваем лишь ход лучей на верхней границе минерал (вулканическое стекло) - бальзам.

Эффект шагреновой поверхности резче проявляется при закрытой апертурной диафрагме, создающей условия большей параллельности лучей света, входящих в минерал. Если показатель преломления минерала будет равен показателю преломления бальзама, то, естественно, создается оптически однородная среда минерал-бальзам, в которой на реальной границе двух сред лучи не будут испытывать преломления, поэтому поверхность минерала будет освещена равномерно (рис. 7).

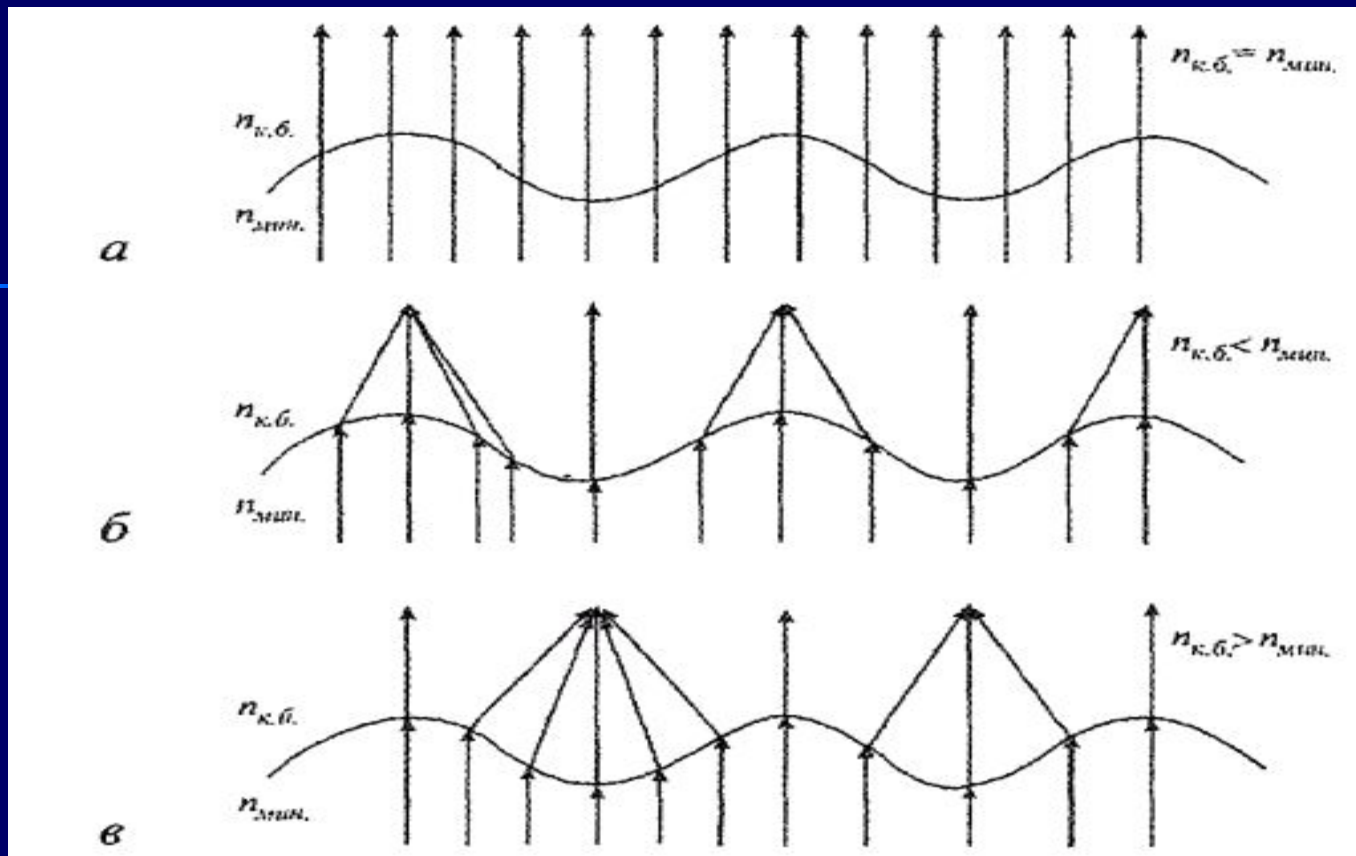


Рис. 7. Схема прохождения лучей света через границу минерала и канадского бальзама. а - показатели преломления минерала (n) и канадского бальзама (n) равны; б - показатель преломления минерала выше, чем у канадского бальзама; в - показатель преломления минерала ниже, чем у канадского бальзама. Шагреньевая поверхность появляется в случаях б и в.

Если показатель преломления минерала больше, чем у бальзама, то возникает иная картина. В точках, где лучи подходят перпендикулярно к границе раздела двух сред, а это - вершины бугорков и перегиба дна ямок, лучи не испытывают преломления при любых разностях показателей преломления. На склонах бугорков лучи пересекают границу раздела под углом и преломляются, отклоняясь в сторону более плотной среды, т. е. с большим показателем преломления, и фокусируются над вершинами бугорков, создавая ярко освещенную точку. По отношению к ямкам свет рассеивается, ослабляя их освещенность (рис. 10 6). Этот контраст разноосвещенных точек и воспринимается нашим глазом как эффект шероховатости. Чем больше разница показателей преломления минерала и бальзама, тем резче проявляется этот эффект.

Шагреновая поверхность минералов

Гранат $n=1,705-1,805$



Сфен $n=1,89-1,98$

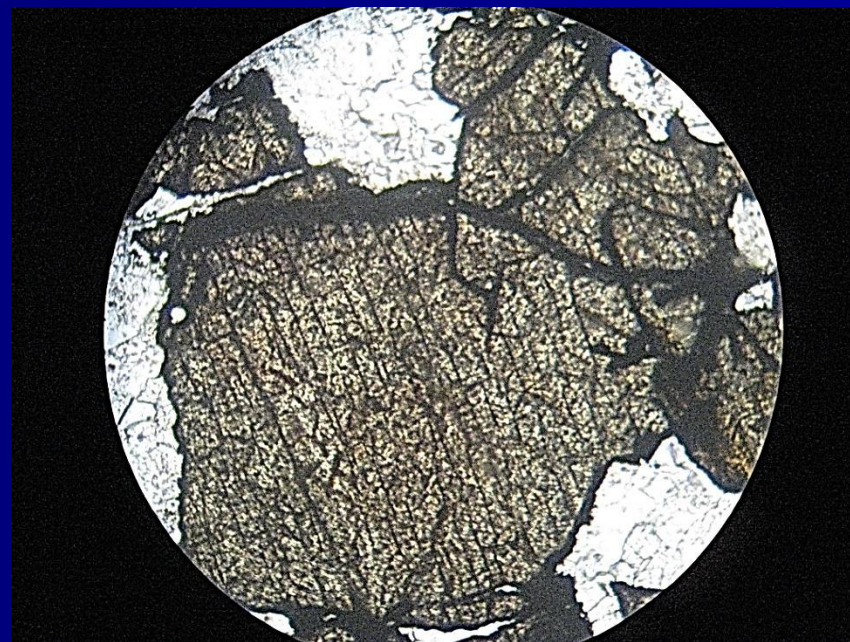


Шагреновая поверхность минералов

Шеелит $n=1,918-1,934$



Сфалерит $n=2,37$



Если же показатель преломления минерала меньше, чем у бальзама, то ярко освещённые точки будут над ямками, а бугорки - затемнены (рис. 7). Эффект шероховатости будет восприниматься нашим глазом, как и в предыдущем случае, в зависимости от абсолютной разности показателей преломления двух сред независимо от их знака. Однако для диагностики минерала важно знать знак разности показателей преломления минерал - бальзам, что определяет знак рельефа минерала. Рельефом минерала называется относительная выпуклость или вогнутость минерала на фоне бальзама. Опытный глаз различает рельеф положительный (рис. 8) - когда показатель преломления минерала значительно больше, чем показатель преломления окружающей среды - бальзама, зерно кажется выпуклым, выше общей поверхности шлифа; рельеф отрицательный, когда показатель преломления минерала меньше показателя преломления бальзама, т. е. зерно кажется ниже общей поверхности шлифа. Однако такое восприятие является сугубо субъективным и может быть ошибочным. Объективно знак рельефа определяется с помощью световой полоски Бекке.

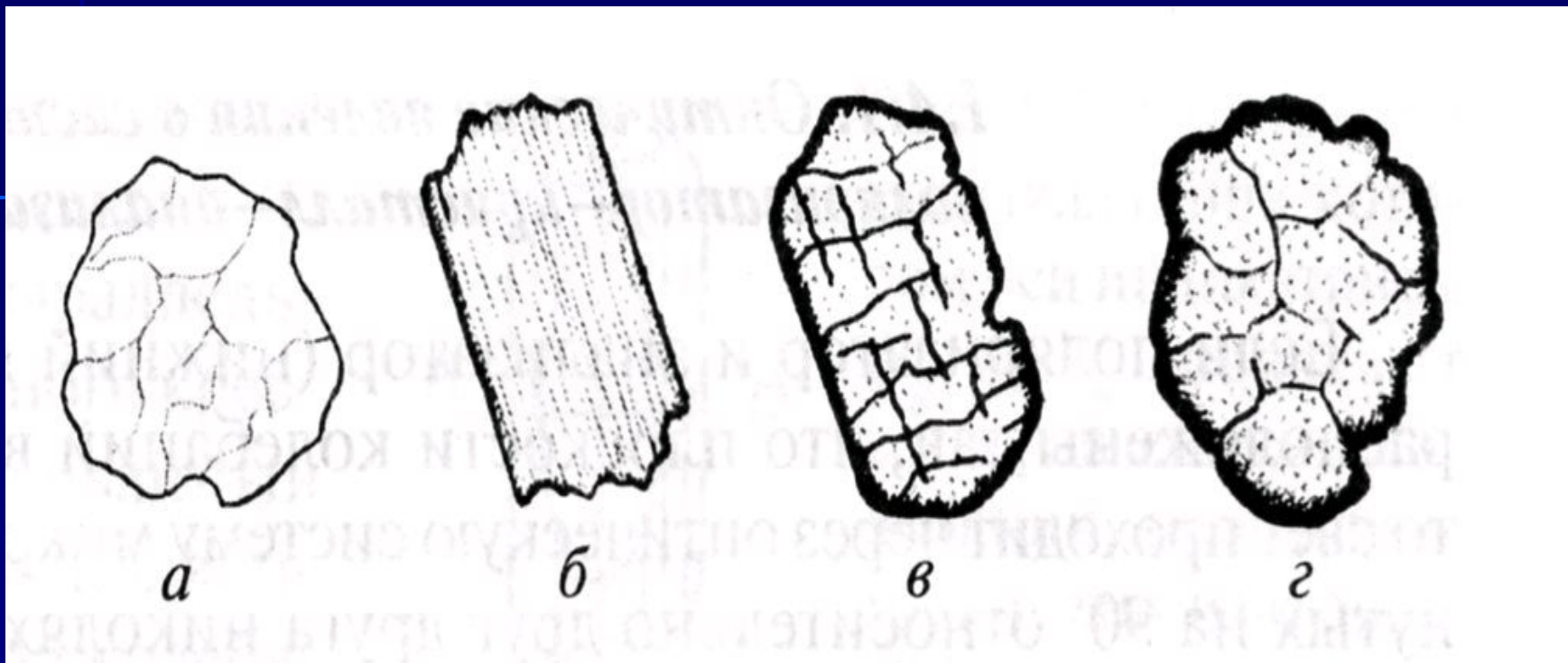


Рис. 8. Типы рельефа минералов и характер ограничений:
а — рельеф низкий, ограничения тонкие; б — рельеф средний, ограничения более толстые; в — рельеф высокий, ограничения жирные; г — рельеф очень высокий, ограничения очень жирные.

Световая полоска Бекке. Появление подвижной световой полоски на границе двух сред впервые было установлено О. Машке (O. Mascke) в 1880 г., описавшим также возникновение дисперсионного эффекта на такой границе в некоторых случаях. Однако в практику минералого-петрографических исследований горных пород и минералов под микроскопом метод использования световой полоски вошел лишь после повторного открытия этого явления Ф. Бекке (F. Bekke) в 1893 г., и световая полоска была названа его именем. Появление световой полоски обязано свойству световых лучей испытывать полное внутреннее отражение на границе двух сред с разными показателями преломления. На рисунке 11 показан ход лучей, падающих на границу раздела двух сред, для которых принимаем условие, что $n_1 > n_2$.

Луч, падающий на границу раздела со стороны с меньшим показателем преломления, пересечет границу и войдет в среду с большим показателем преломления. И все другие лучи из n_2 будут всегда преломляться в сторону более плотной среды n_1 т. к. в этой комбинации при любых углах падения не произойдет полного внутреннего отражения.

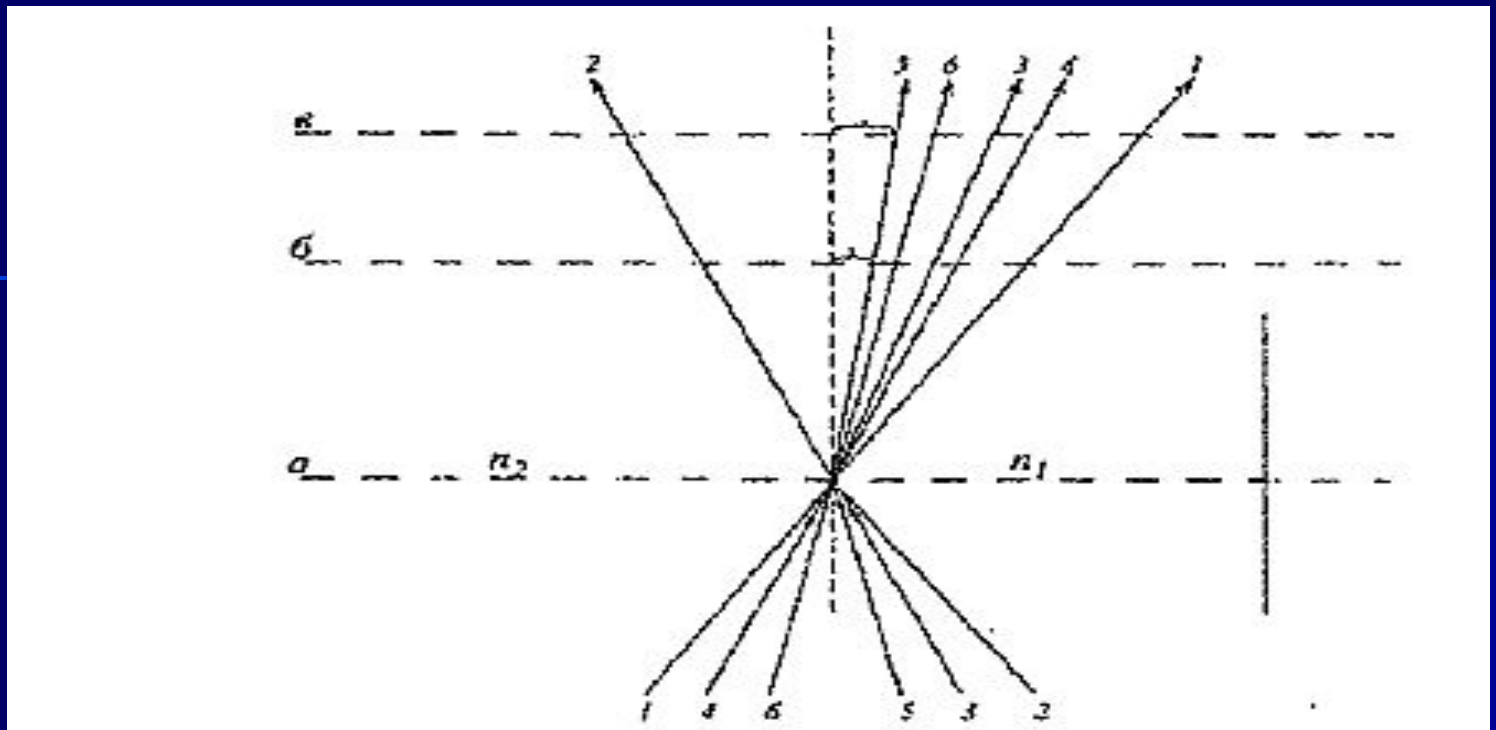


Рис. 9. Ход лучей падающих на границу раздела двух сред с различными показателями преломления. Линии а, б и в отражают последовательный подъём фокальной плоскости микроскопа и смещение полоски Бекке в сторону среды с большим показателем преломления (n_1).

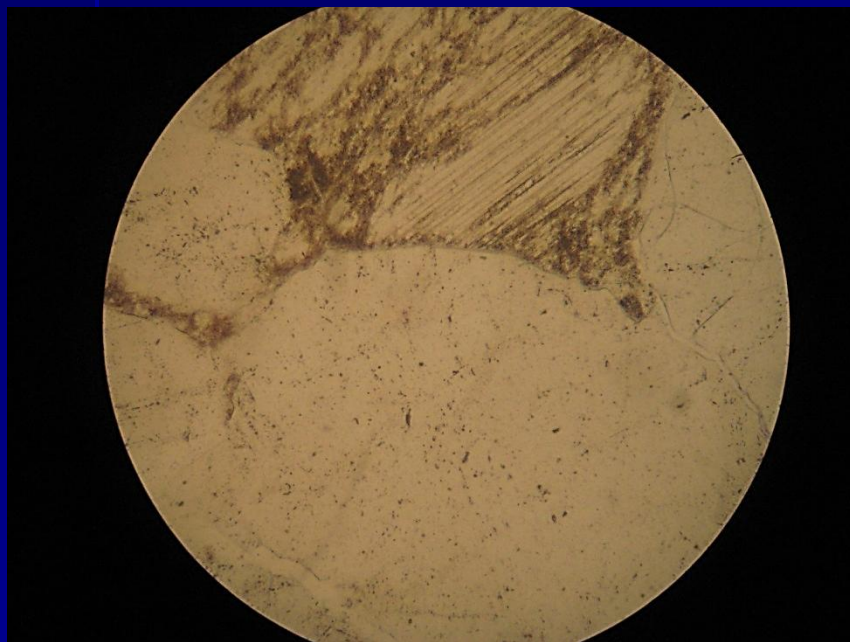
Луч 2, падающий на границу раздела со стороны среды с большим показателем преломления с углом падения меньше предельного, пересечет границу и войдет в среду n_2 испытав при этом преломление, отклоняясь от прямолинейного пути в сторону к более плотной среде n_1 (см. рис. 9, луч 2).

Лучи 3, 5 на этом рисунке падают под углом больше предельного и поэтому испытывают полное внутреннее отражение от границы со средой обладающей меньшим показателем преломления. Таким образом, лучи 1,3,4,5,6 выходят из минерала с n_1 создавая более яркий пучок света со стороны среды с большим показателем преломления.

Если объектив микроскопа точно сфокусировать на минерал, то светлая полоска совместится с реальной границей рассматриваемых двух сред (рис. 9, плоскость а). При подъеме фокальной плоскости, т. е. при увеличении фокусного расстояния между объективом и препаратом, световая полоска будет перемещаться в сторону среды с большим показателем преломления (см. рис. 9, плоскости б и в).

Полоска Бекке на границе кварц - кпш

Минерал в фокусе микроскопа



Тубус микроскопа приподнят



Полоска Бекке наблюдаемая у апатита заключённого в полево шпате

Минерал в фокусе микроскопа

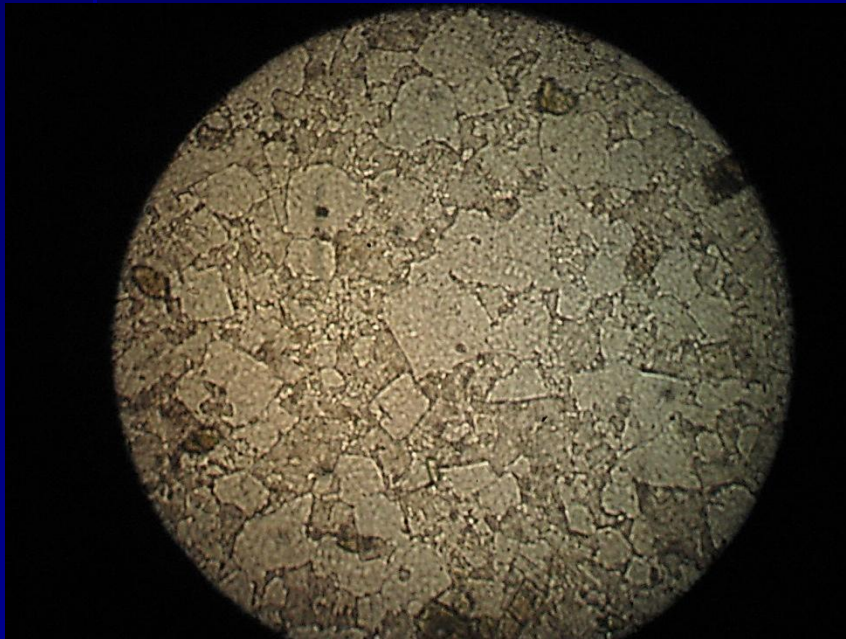


Тубус микроскопа приподнят

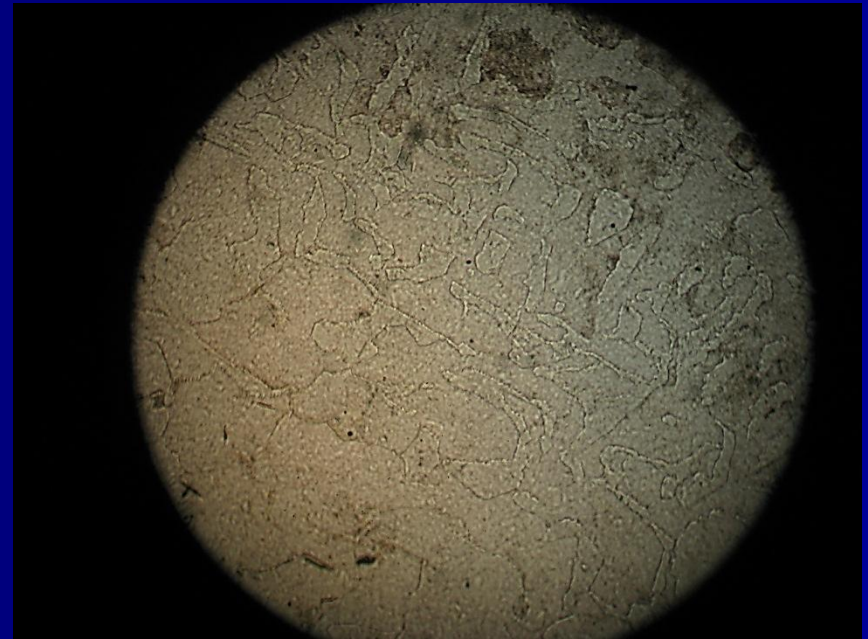


Использование полоски Бекке для определения количественного соотношения бесцветных минералов с близкими показателями преломления

Аплит. Кварц полевошпатовый агрегат.
Полоска Бекке подсвечивает кварц



Пегматит. Эвтектоидные срастания
кварца с кпш. Полоска Бекке
подсвечивает кварц



Исследование минералов в скрещенных николях (при включенном анализаторе)

В скрещенных николях исследуются следующие оптические свойства минералов:

- тип и угол оптического погасания минералов;**
- пространственная ориентировка и наименование осей оптической индикатрисы;**
- знак удлинения;**
- интерференционная окраска;**
- сила двойного лучепреломления (двупреломление);**
- исследуют схему плеохроизма (выключая анализатор);**
- форма, размеры и процентное содержание бесцветных (при одном николе) минералов;**
- коноскопические исследования.**

Для определения пространственной ориентировки и наименовании осей оптической индикатрисы, знака удлинения, силы двойного лучепреломления (двупреломление) и решения других задач, в оптическую систему микроскопа вводятся дополнительные устройства которые получили название компенсаторов. Устройство данных приспособлений и принцип их действия рассматривается на следующем слайде.

Компенсатор, его устройство и применение

Компенсатор представляет собой пластинку из кварца, гипса, слюды (мусковита) и др. материалов в металлической или пластмассовой оправе. Наиболее распространены кварцевые компенсаторы (рис. 10).

К устройству компенсаторов предъявляются следующие требования.

1. Пластика должна иметь строго определённую толщину, что обеспечивает фиксированную разность хода. У кварцевых и гипсовых компенсаторов эта величина составляет обычно $R \gg 560$ нм, что соответствует красно-фиолетовой окраске, пограничной между 1 и 2 порядками.

2. Пластика вставляется в оправу т.о., чтобы меньшая ось индикатрисы кристалла из которого она изготовлена, была ориентирована параллельно длинной стороне компенсатора. Обычно ориентировка осей индикатрисы показывается графически на оправе.

Действие компенсатора проявляется в сложении или вычитании разностей хода лучей света проходящих через систему «поляризатор – кристалл – компенсатор – анализатор» (рис. 11). Прошедший через кристалл пучок света получит определённую разность хода (R_M), а пройдя через компенсатор – R_K . Если в минерале и компенсаторе одноимённые оси индикатрисы совпадут, то разности хода сложатся $R_\Sigma = R_K + R_M$ и соответственно цвета интерференции минерала повысятся (на цветной диаграмме Мишель – Леви смещение вправо), если совпадут разноимённые оси индикатрис,

Компенсаторы

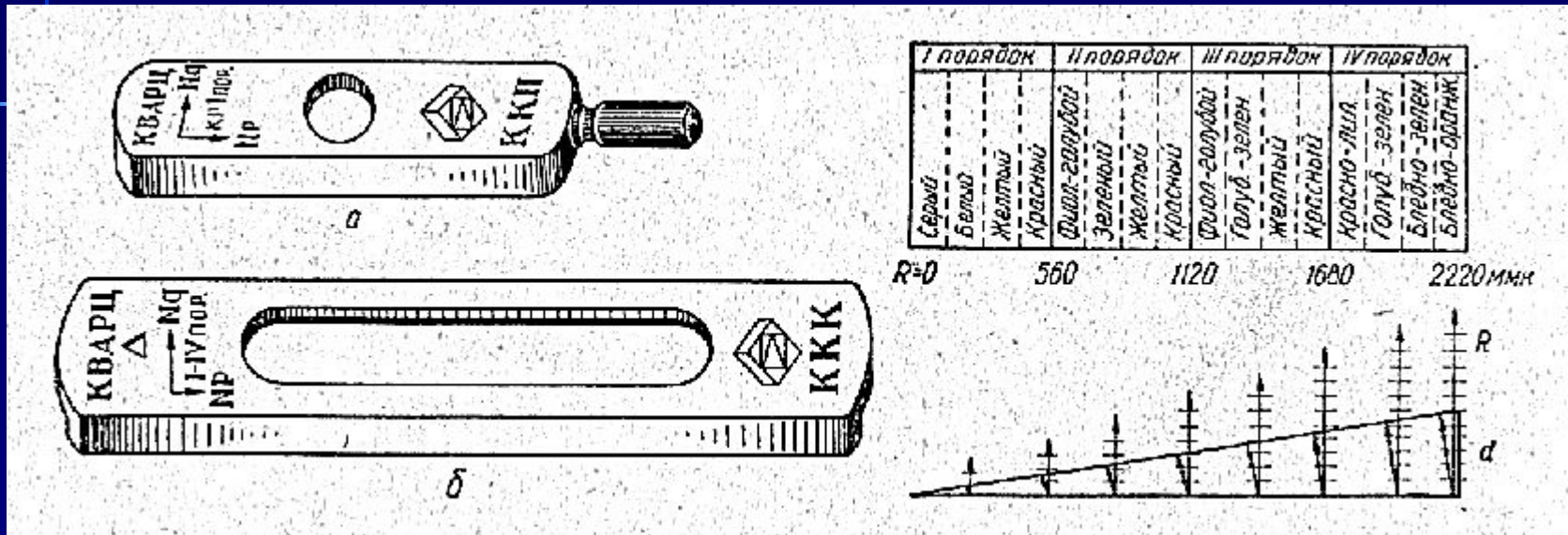


Рис. 10. Компенсаторы:
а - кварцевая пластинка; б - кварцевый клин.

Рис. 11. Порядки цветов интерференции в кварцевом клине.

то произойдёт вычитание разностей хода ($R_{\Sigma} = R_m - R_k$) и уменьшение суммарной разности хода на ту же самую величину R_k , и соответственно произойдёт понижение интерференционной окраски (на цветной диаграмме Мишель – Леви смещение влево). Затем, зная разность хода минерала и разность хода компенсатора решается вопрос о том совпали или не совпали одноимённые оси индикатрис минерала и компенсатора.

Во избежание сомнений в правильности вывода о повышении или понижении интерференционной окраски, поступают следующим образом:

1. Минерал поворачивают вправо на 90° и сравнивают окраску с предыдущей;

2. Наблюдают изменение интерференционной окраски на краю, обычно утонённой части минерала, и если она серая или белая, а после введения компенсатора становится синей или зелёной – это означает совпадение одноимённых осей индикатрис минерала и компенсатора, а если она становится жёлтой или оранжевой, это означает несовпадение.

Определение наименования осей индикатрисы в кристалле, знака удлинения (главной зоны) и угла погасания

Углом погасания называется угол между каким либо кристаллографическим направлением (спайностью, гранью) и какой либо осью индикатрисы (N_e , N_o , N_g , N_m , N_p). Угол погасания является характерной константой для многих минералов.

Погасание может быть: 1) прямое, 2) косое, 3) симметричное.

Прямым считается такое погасание когда какая либо ось индикатрисы (N) совпадает с кристаллографическим направлением, т.е. угол погасания равен 0.

Косым является такое погасание, когда ось индикатрисы (N) составляет некоторый угол с кристаллографическим направлением.

Симметричным считается такое погасание когда оси индикатрис (N) занимают положение биссектрис по отношению к двум кристаллографическим направлениям.

Для определения угла погасания выбирается зерно с отчётливо выраженным кристаллографическим направлением (спайностью либо гранью параллельными вытянутости кристалла) и обычно с наиболее высокими цветами интерференции. Затем зерно устанавливаем так, чтобы кристаллографическое направление было ориентировано параллельно вертикальной нити микроскопа. В этом положении берётся первый отсчёт по лимбу столика микроскопа. Если при включении анализатора зерно становится максимально тёмным, то погасание считается прямым. Если при включении анализатора зерно не погасает, следовательно для его затемнения столик микроскопа необходимо повернуть на некоторый, обычно острый угол и взять второй отсчёт. Разница первого и второго отчётов и будет искомым углом погасания. Контроль максимальной темноты (погасания) осуществляется поворотом столика микроскопа влево – вправо от момента погасания.

В момент погасания оси индикатрисы совпадают с направлением колебаний в николях, т.е. располагаются параллельно нитям креста окуляра. Далее следует определить с какой осью индикатрисы замерен угол погасания. Для этого от момента погасания поворачиваем столик микроскопа на 45° против часовой стрелки (рис 12). В этом положении ось индикатрисы с которой измерен угол погасания совмещается с прорезью в тубусе для компенсатора. Если после введения компенсатора интерференционная окраска повысится, это означает, что одноимённые оси компенсатора и минерала совпали, т. е. N_p с N_p и N_g с N_g (рис. 12 а, б); если интерференционная окраска понизится, следовательно оси компенсатора и минерала не совпали.

Определение главной зоны или знака удлинения.

Удлинением минерала называется вытянутость его в одном направлении. Удлинение может быть:

1) положительным «+», отрицательным «-», 3) положительно – отрицательным "±", 4) неопределённым (нейтральным).

Положительным удлинением минерал обладает, если ось индикатрисы N_g совпадает или образует угол менее 45° с удлинением кристалла (рис. 13 а). Удлинение отрицательно, если ось индикатрисы N_p совпадает или образует угол менее 45° с удлинением кристалла (рис. 13 б). Положительно-отрицательным удлинением "±" обладает минерал, если с удлинением кристалла совпадает ось индикатрисы N_m (рис. 13 в).

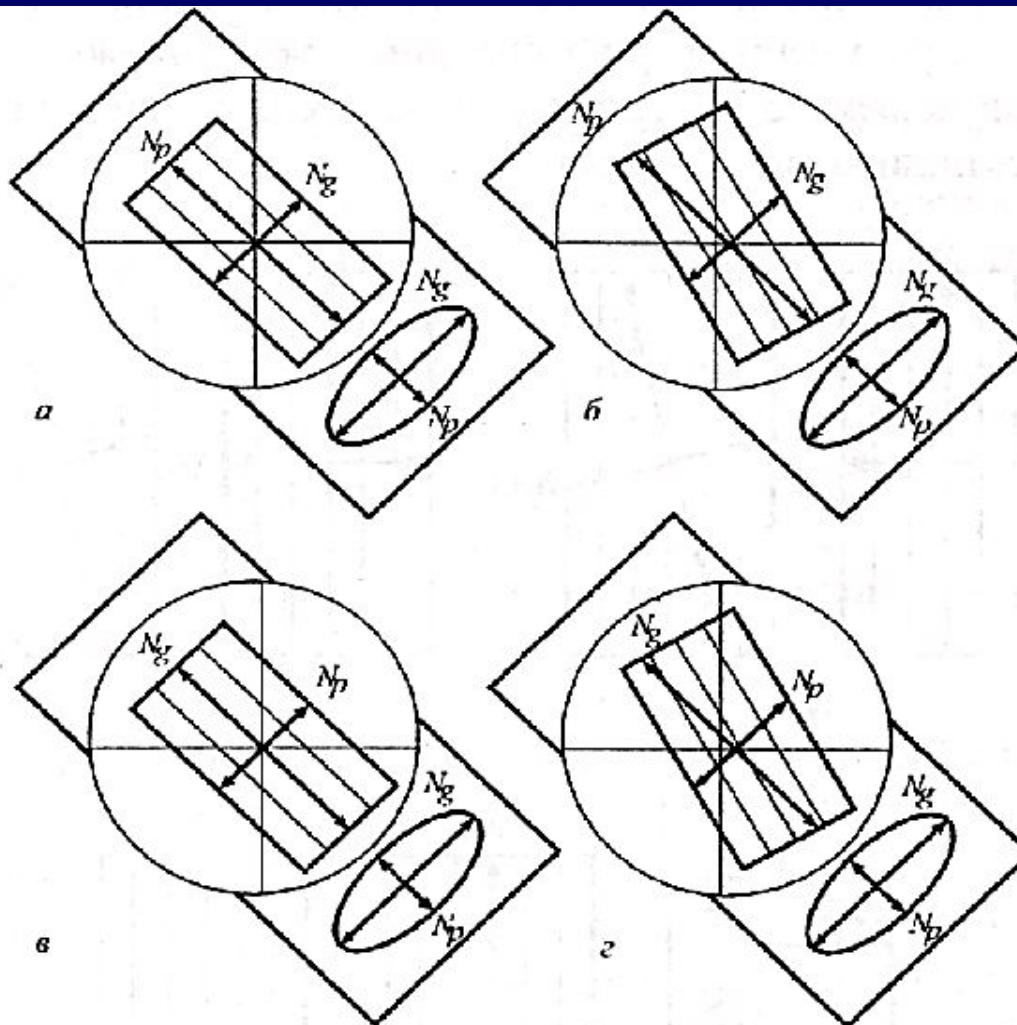


Рис. 12. Схематическая зарисовка ориентировок осей индикатрисы минерала и компенсатора в случаях прямого (а, в) и косого (б, г) погасания. а, б -удлинение отрицательное; в, г-удлинение положительное.

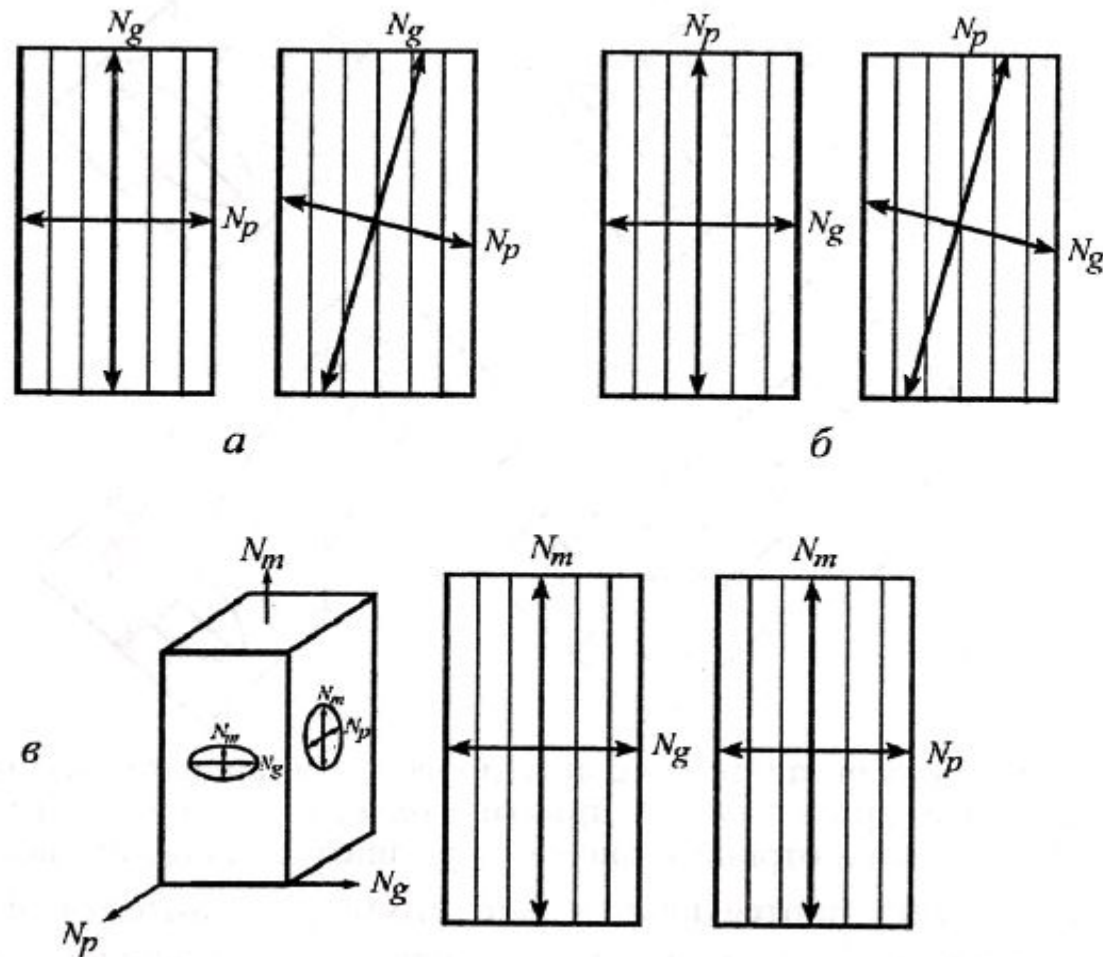
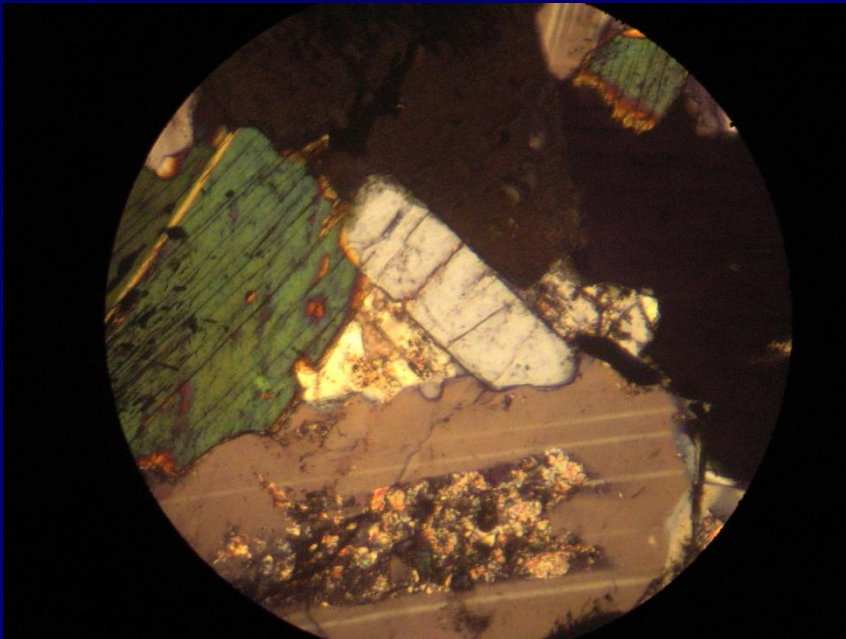


Рис. 13. Ориентировка осей индикатрисы в кристаллах с положительным (а), отрицательным (б) удлинением и удлинением " $\pm$ " (в).

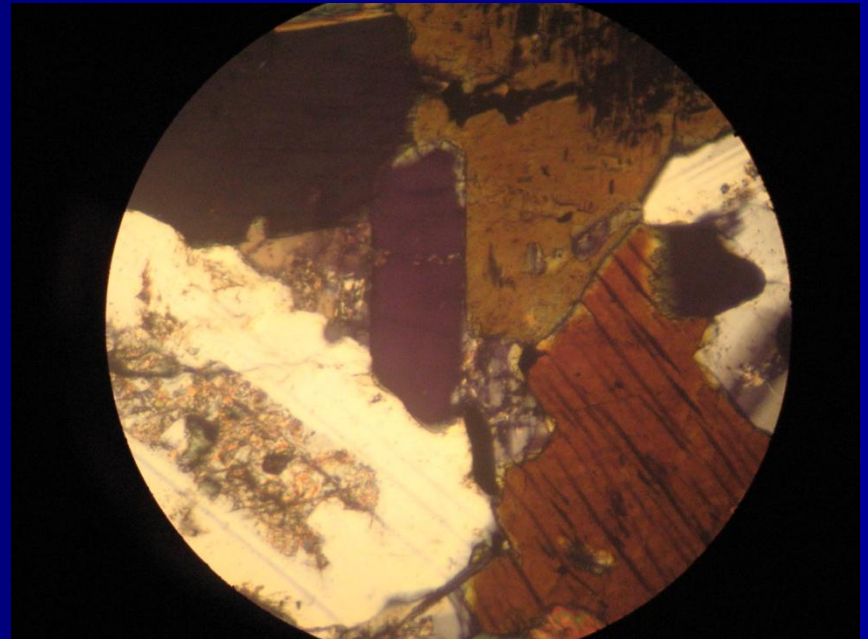
Апатит

Прямое погасание (двупреломление 0,003)

Кристаллографическое направление (удлинение, сечение грани) ориентировано под 45° к плоскости колебаний поляризованного луча (P-P). Максимальное просветление. Ник. скрещ. d п з 1,2 мм.



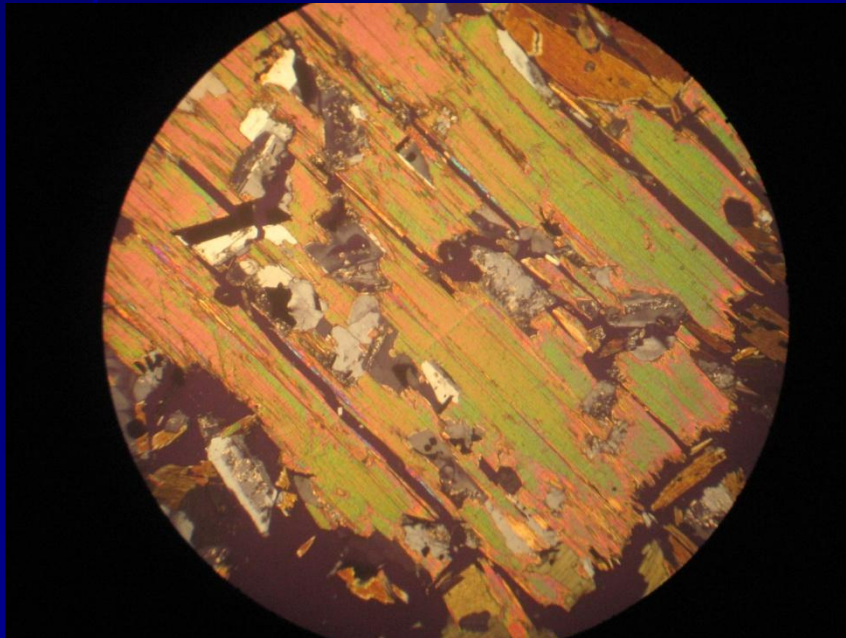
Кристаллографическое направление (удлинение, сечение грани) ориентировано параллельно к плоскости колебаний поляризованного луча (P-P). Минерал погас Ник. скрещ. d п з 1,2 мм.



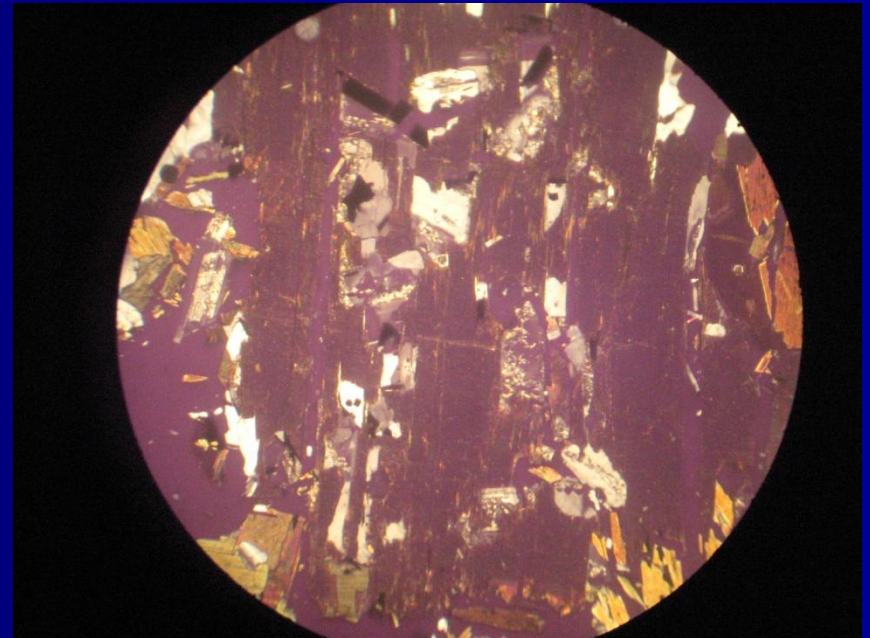
Биотит

Прямое погасание (двупреломление 0,039)

Кристаллографическое направление (спайность) ориентировано под 45° к плоскости колебаний поляризованного луча (P-P). Максимальное просветление. Ник. скрещ. d п з 3,6 мм.



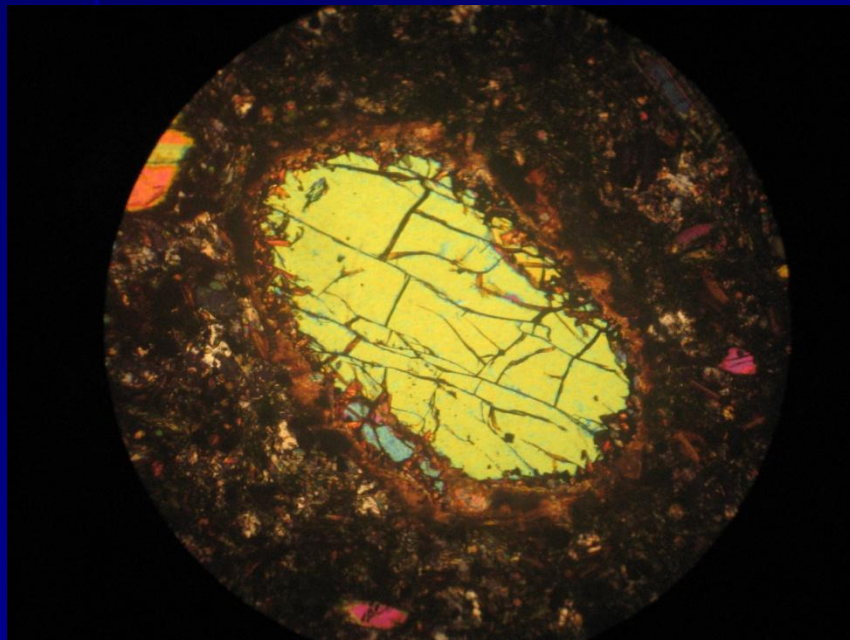
Кристаллографическое направление (спайность) ориентировано параллельно плоскости колебаний поляризованного луча (P-P). Минерал погас. Ник. скрещ. d п з 3,6 мм.



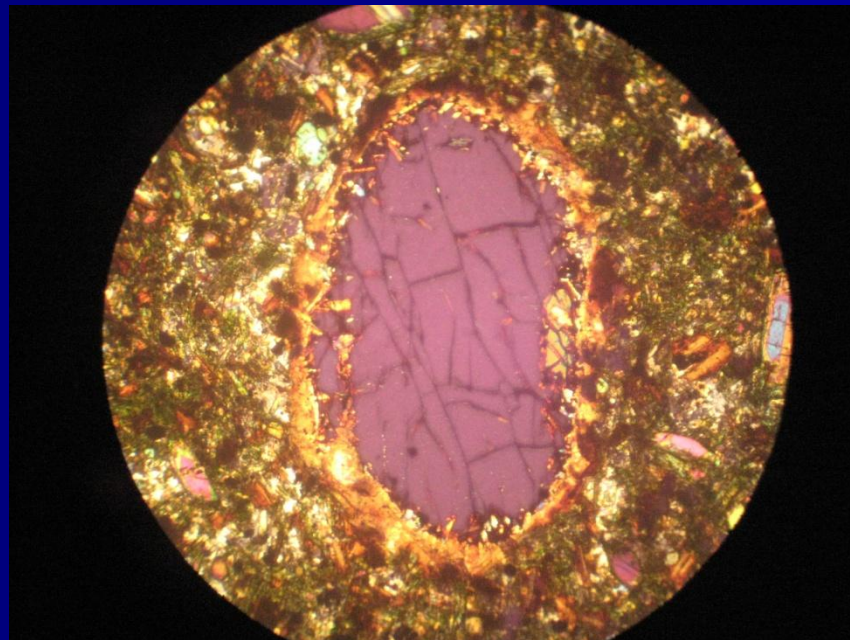
Оливин

Прямое погасание
(двупреломление 0,033)

Кристаллографическое направление (удлинение) ориентировано под 45° к плоскости колебаний поляризованного луча (Р-Р). Максимальное просветление. Ник. скрещ. d п з 3,6 мм.



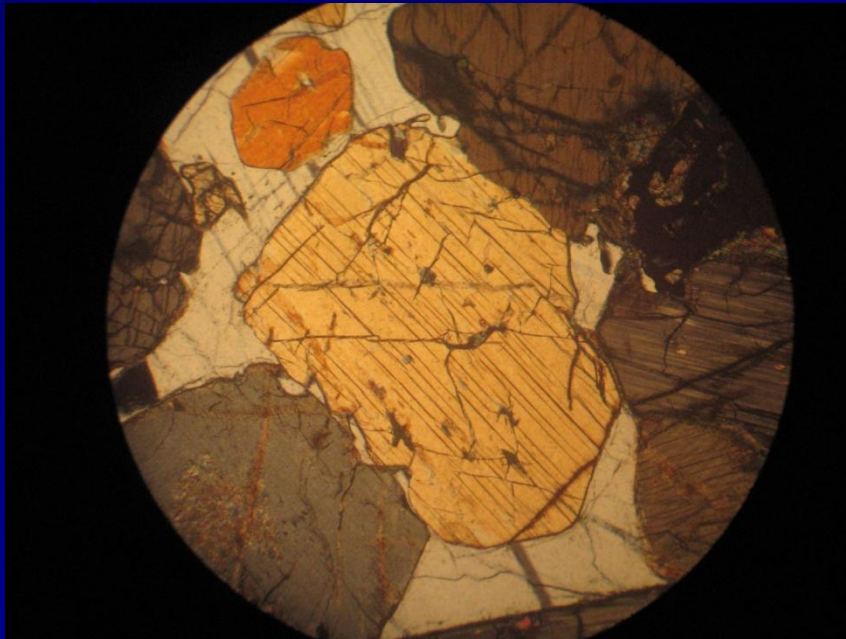
Кристаллографическое направление (удлинение) ориентировано параллельно плоскости колебаний поляризованного луча (Р-Р). Минерал погас. Ник. скрещ. d п з 3,6 мм.



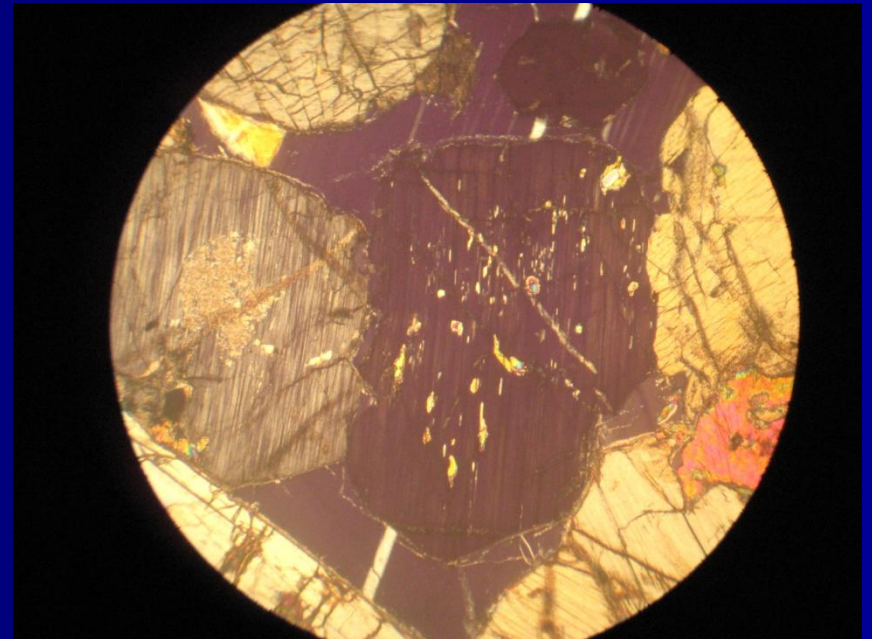
Гиперстен

Прямое погасание
(двупреломление 0,015)

Кристаллографическое направление (спайность) ориентировано под 45° к плоскости колебаний поляризованного луча (Р-Р). Максимальное просветление. Ник. скрещ. d п з 3,6 мм.



Кристаллографическое направление (спайность) ориентировано параллельно плоскости колебаний поляризованного луча (Р-Р). Минерал погас. Ник. скрещ. d п з 3,6 мм.

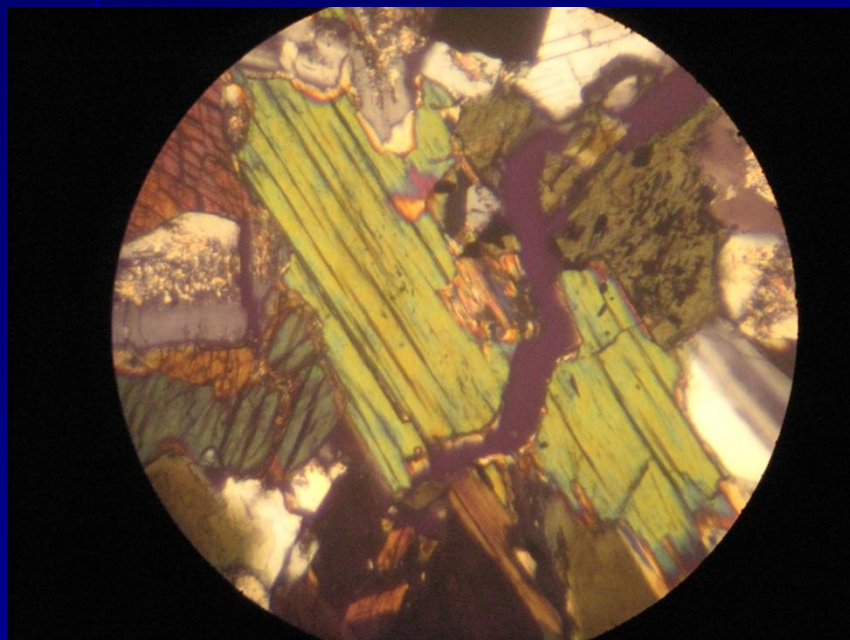


Роговая обманка

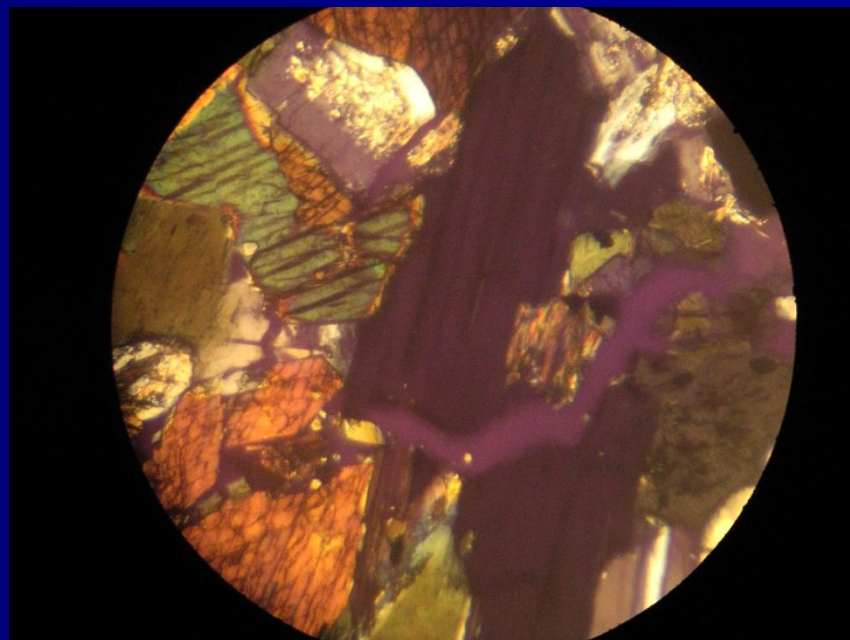
Косое погасание

((Угол погасания 22° , двупреломление 0,026)

Кристаллографическое направление (спайность) ориентировано под 23° к плоскости колебаний поляризованного луча (Р-Р). Максимальное просветление. Ник. скрещ. d п з 1,2 мм.



Кристаллографическое направление (спайность) ориентировано под 22° к плоскости колебаний поляризованного луча (Р-Р). Минерал погас. Ник. скрещ. d п з 3,6 мм.



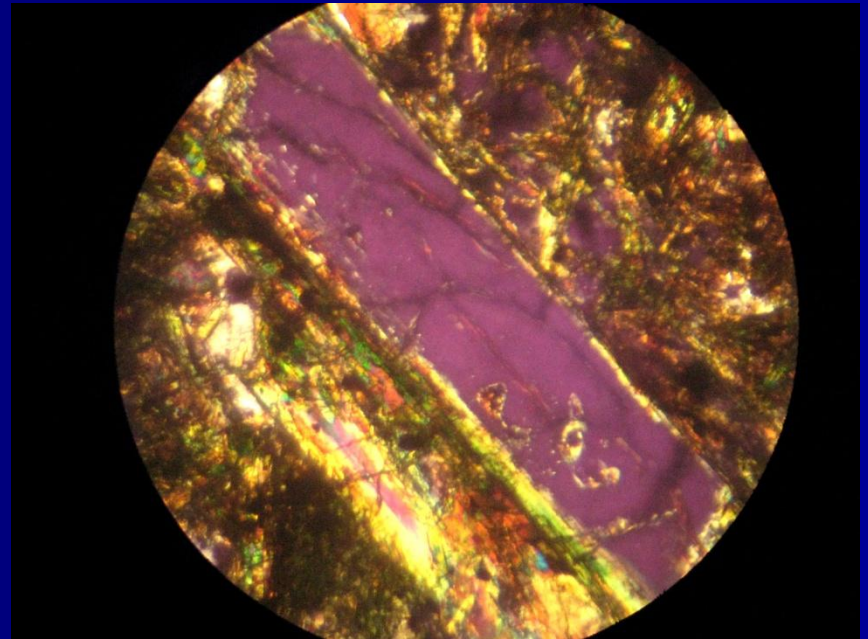
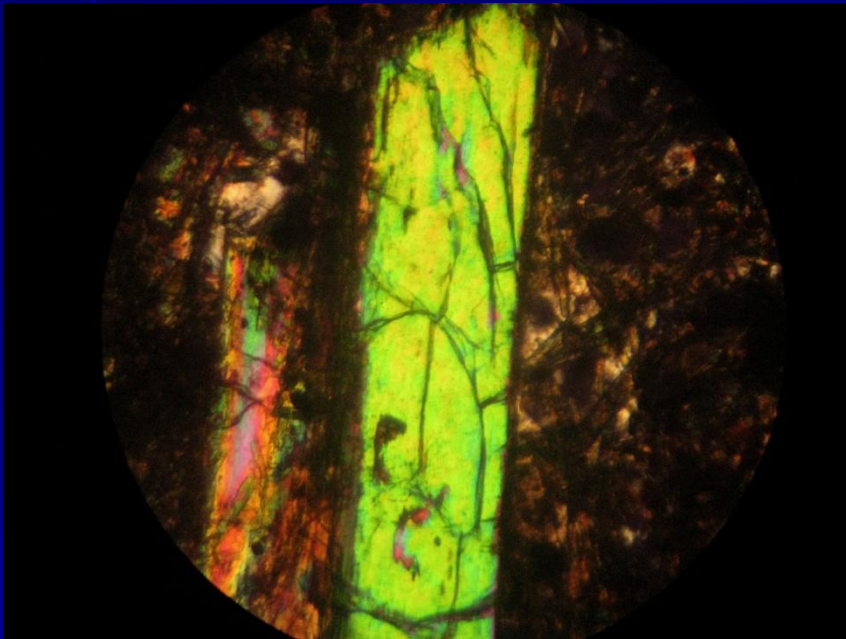
Диопсид

Косое погасание

(Угол погасания 38° , двупреломление 0,024)

Кристаллографическое направление (удлинение) ориентировано под 12° к плоскости колебаний поляризованного луча (P-P). Максимальное просветление. Ник. скрещ. d п з 1,2 мм.

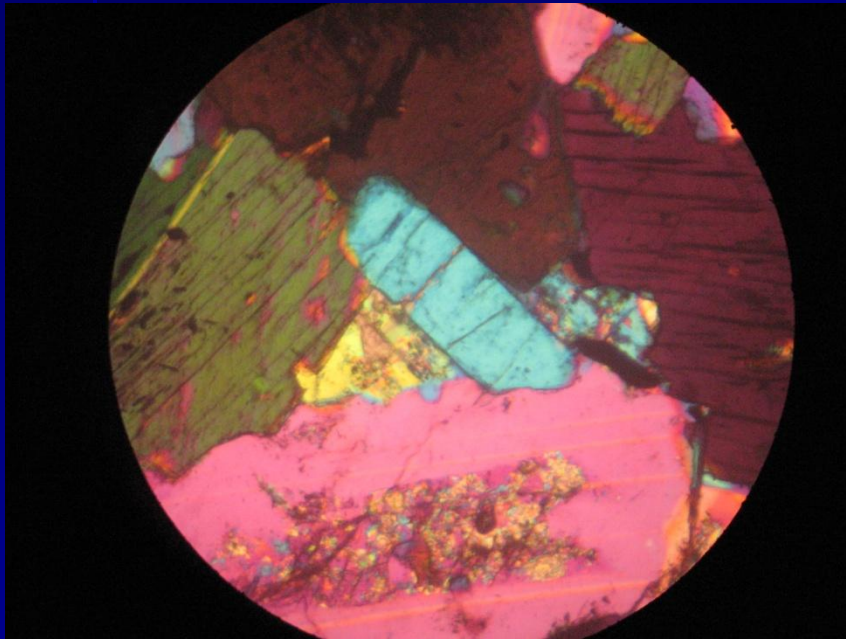
Кристаллографическое направление (удлинение) ориентировано под 38° к плоскости колебаний поляризованного луча (P-P). Минерал погас. Ник. скрещ. d п з 1,2 мм.



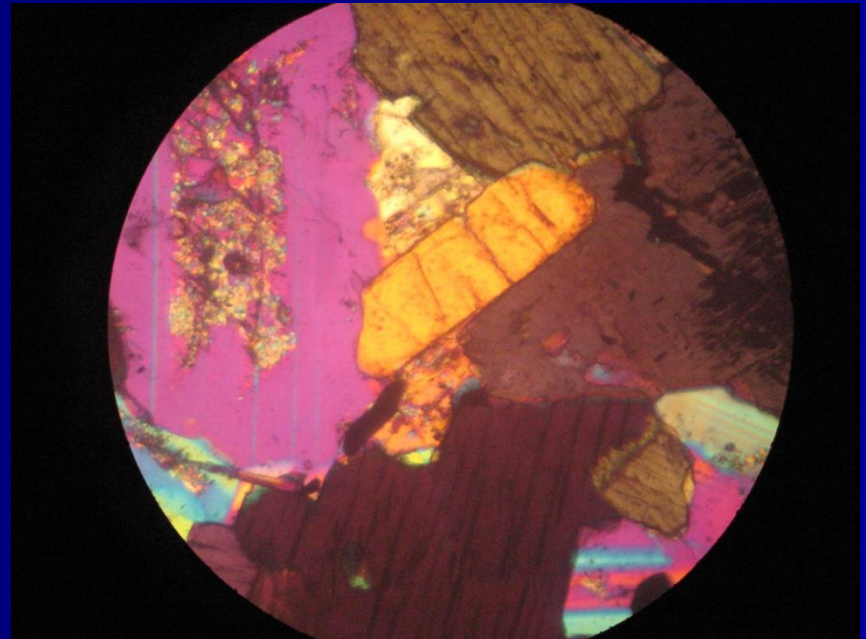
Апатит

Удлинение отрицательное
(двупреломление 0,003)

Ориентировка осей индикатрисы кристалла и компенсатора совпадает. Повышение интерференционной окраски. **Ник. скрещ.**
Компенсатор. d п з 1,2 мм.



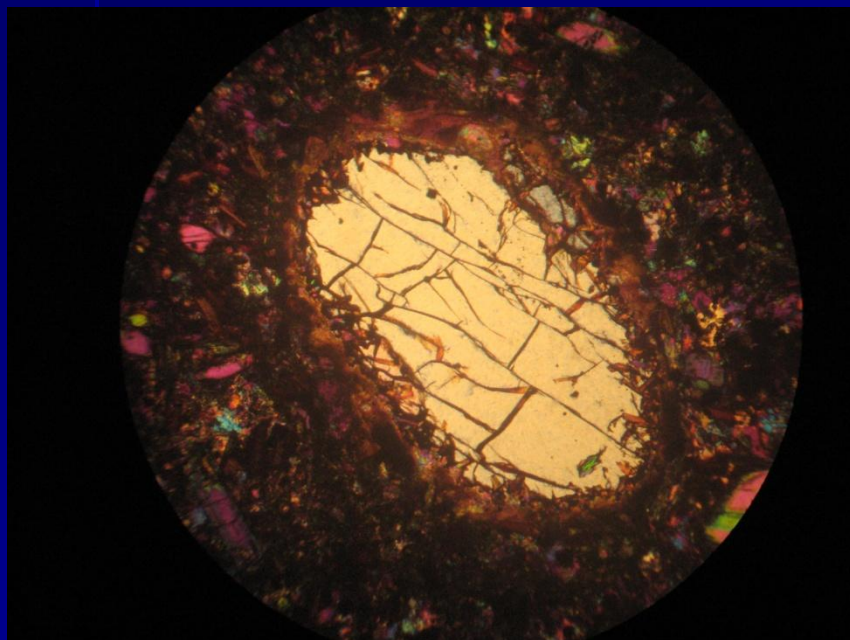
Ориентировка осей индикатрисы кристалла и компенсатора не совпадает. Понижение интерференционной окраски. **Ник. скрещ.**
Компенсатор. d п з 1,2 мм.



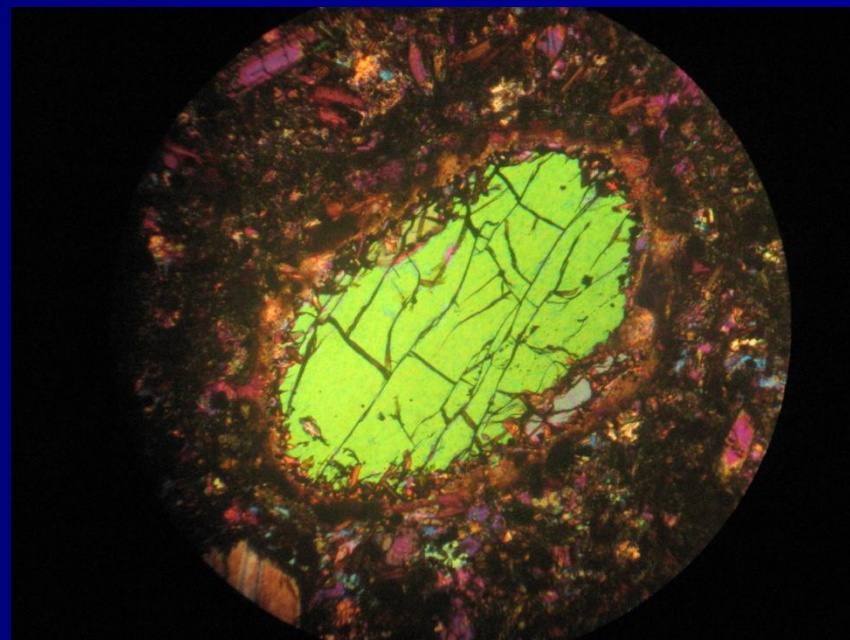
Оливин

Удлинение положительное
(двупреломление 0,033)

Ориентировка осей индикатрисы кристалла и компенсатора не совпадает. Понижение интерференционной окраски. **Ник. скрещ.**
Компенсатор. d п з 3,6 мм.



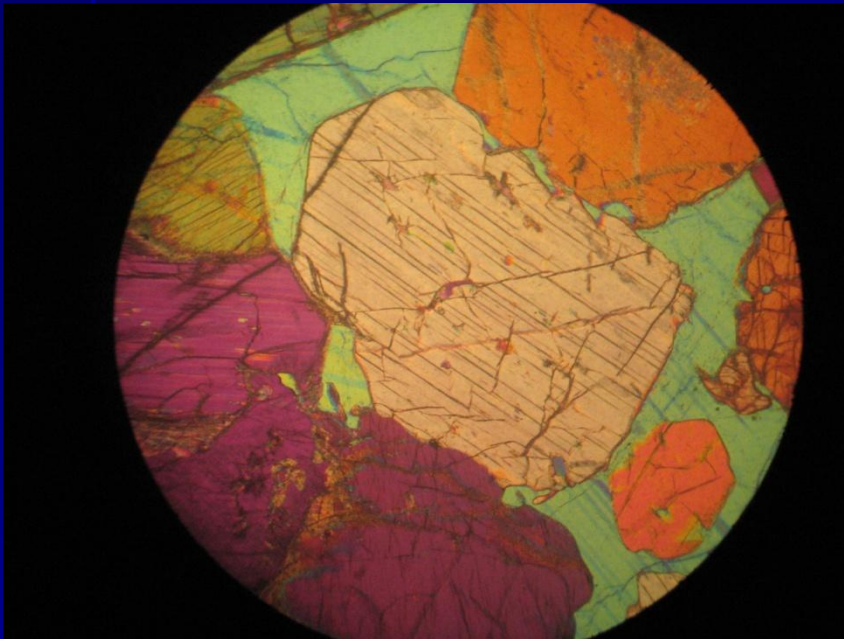
Ориентировка осей индикатрисы кристалла и компенсатора совпадает. Повышение интерференционной окраски. **Ник. скрещ.**
Компенсатор. d п з 3,6 мм



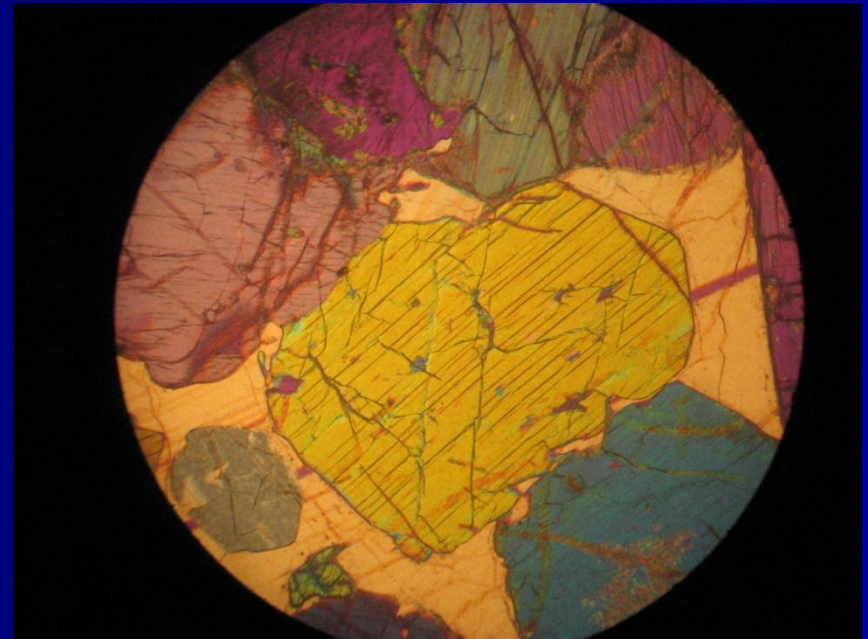
Гиперстен

Удлинение положительное
(двупреломление 0,015)

Ориентировка осей индикатрисы кристалла и компенсатора не совпадает. Понижение интерференционной окраски. **Ник. скрещ.**
Компенсатор. d п з 3,6 мм.



Ориентировка осей индикатрисы кристалла и компенсатора совпадает. Повышение интерференционной окраски. **Ник. скрещ.**
Компенсатор. d п з 3,6 мм.

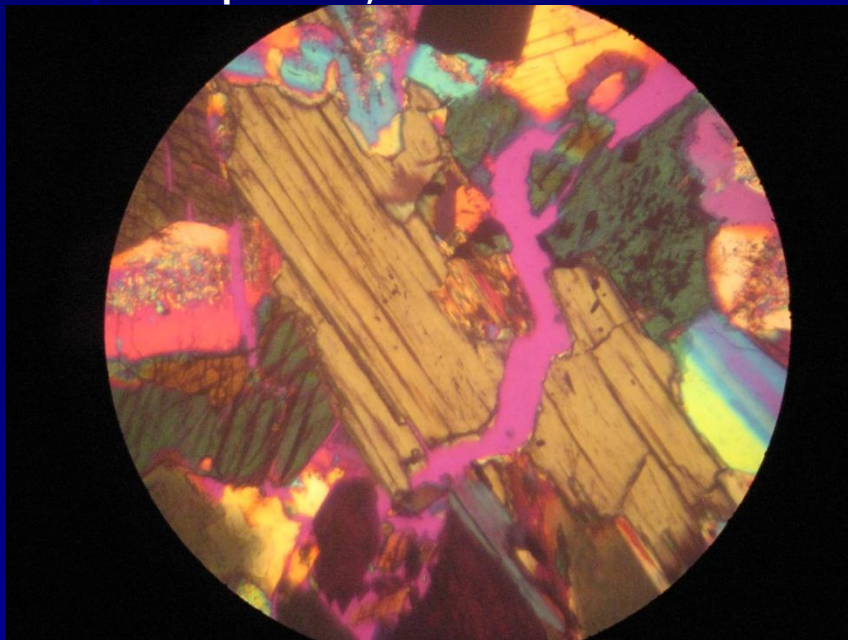


Роговая обманка

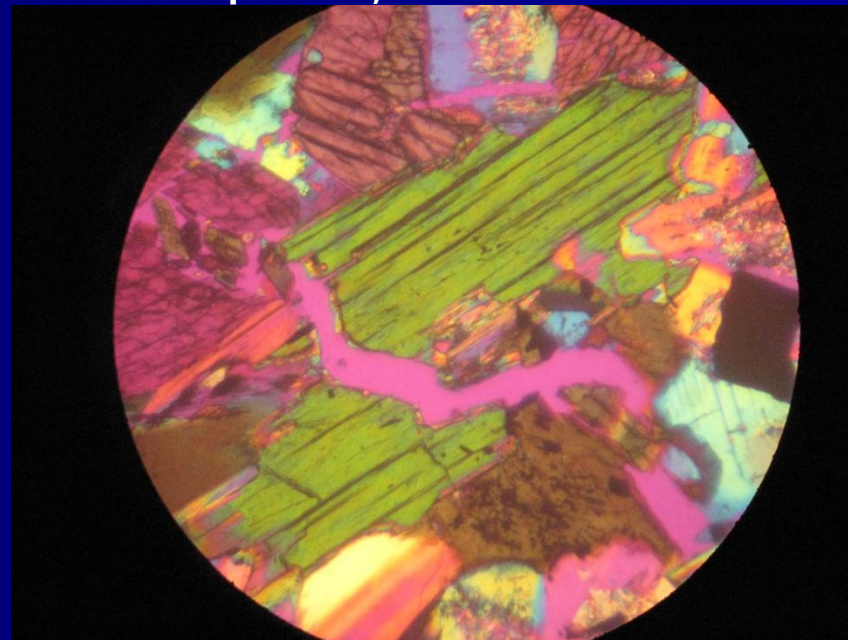
Удлинение положительное

((Угол погасания 22° , двупреломление 0,026)

Ориентировка осей индикатрисы кристалла и компенсатора не совпадает. Понижение интерференционной окраски. **Ник. скрещ.**
Компенсатор. d п з 1,2 мм.



Ориентировка осей индикатрисы кристалла и компенсатора совпадает. Повышение интерференционной окраски. **Ник. скрещ.**
Компенсатор. d п з 1,2 мм.



Цвета интерференции минералов

Причины появления и разнообразия.
Определение величины двупреломления
минералов.

Прохождение света в системе поляризатор - кристалл –анализатор

При прохождении в этой системе свет неоднократно испытывает преломление и разложение световых лучей. Если под микроскопом помещен оптически изотропный препарат, т. е. либо минерала кубической сингонии, либо аморфного вещества - опала, вулканического стекла, бальзама, - то свет, вышедший с одним направлением колебаний из поляризатора, не изменяя своего направления, пройдет через препарат, сохраняя направление колебаний, войдет в анализатор и будет поглощен последним, т. к. в положении скрещенных николей свет, вышедший из поляризатора, не пропускается анализатором.

Через окуляр мы увидим поле зрения темным. Если под микроскопом помещен анизотропный минерал, то возможны два крайних случая. В первом случае оси индикатрисы кристалла совпадают с направлениями колебаний света, пропускаемых анализатором и поляризатором (рис. 14, слева). В этом положении прохождение света через кристалл аналогично прохождению света через оптически изотропное вещество. Луч "а" входит в кристалл, совпадая с направлением одной из осей индикатрисы, в нашем случае с N_e , и, не изменяя, естественно, направления колебаний, проходит через кристалл и гасится (поглощается) анализатором. Поле зрения темное.

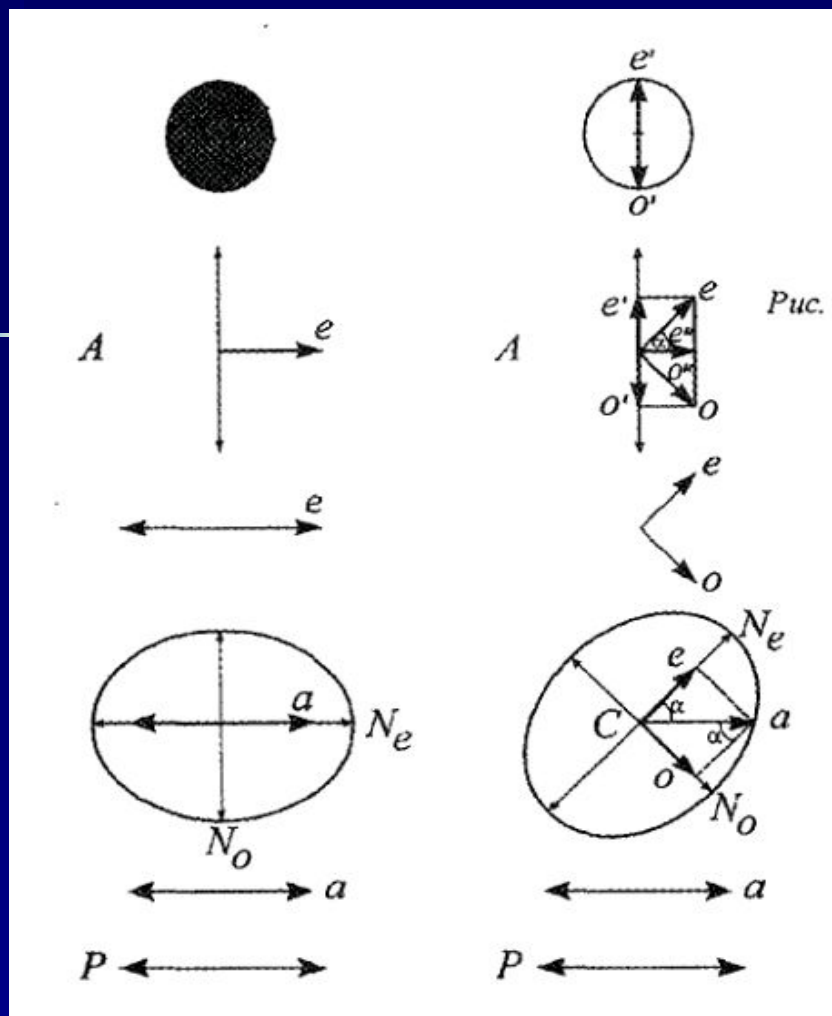


Рис 14. Схема прохождения света в системе "поляризатор (P) - анизотропный кристалл - анализатор (A)" в случаях совпадения (слева) и несовпадения (справа) осей индикатрисы с направлениями колебаний света в николях, o - обыкновенный луч, e - необыкновенный луч.

Во втором случае оси индикатрисы кристалла располагаются под углом 45° к направлениям колебаний, пропускаемых А и Р (рис. 14, справа).

Луч "а", вошедший в кристалл параллельно колебаниям, пропускаемым поляризатором, должен разложиться в кристалле по правилу параллелограмма на два луча: луч "е", по направлению N_e и луч "о" по направлению индикатрисы N_o . Эти два луча "е" и "о", с приобретёнными новыми направлениями колебаний входят в анализатор. Но, так как, они оба оказываются под углом пропускания света анализатором, то каждый из них должен в анализаторе разложиться опять, как и в кристалле, по правилу параллелограмма. Луч "е" разлагается на "e1" и "e2". Луч "e1" располагается перпендикулярно к плоскости пропускания анализатора (А) и в следствии этого будет поглощён анализатором. Луч "e2" совпадая с плоскостью пропускания А, пройдет через А и выйдет в окуляр. То же самое происходит и с лучом "о": луч "o1" поглощается А, а луч "o2" - проходит.

Векторы прошедших через A лучей " e_2 " и " o_2 " направлены в противоположные стороны, а это значит, что два взаимно перпендикулярных луча, обладающие колебаниями, направленными под углом к плоскости пропускания A , сводятся анализатором (A) в одну плоскость, но в противоположных фазах.

Физический **СМЫСЛ** этого заключается в том, что луч " e_2 " в момент выхода из анализатора имеет колебания направленные в противоположную сторону по отношению к началу колебаний, как и луч " o_2 ", независимо от величины отставания их друг от друга за счет разных скоростей прохождения кристаллической среды (рис. 14, *справа*).

Более того, абсолютные величины векторов " e' " и " o' " равны между собой. Физически это выражается в том, что если два луча имеют одинаковую скорость и одновременно выходят из анализатора, то, имея противоположные фазы колебаний, они в результате интерференции волн, взаимно уничтожаясь, дадут нулевую амплитуду колебаний (рис. 15 *а*).

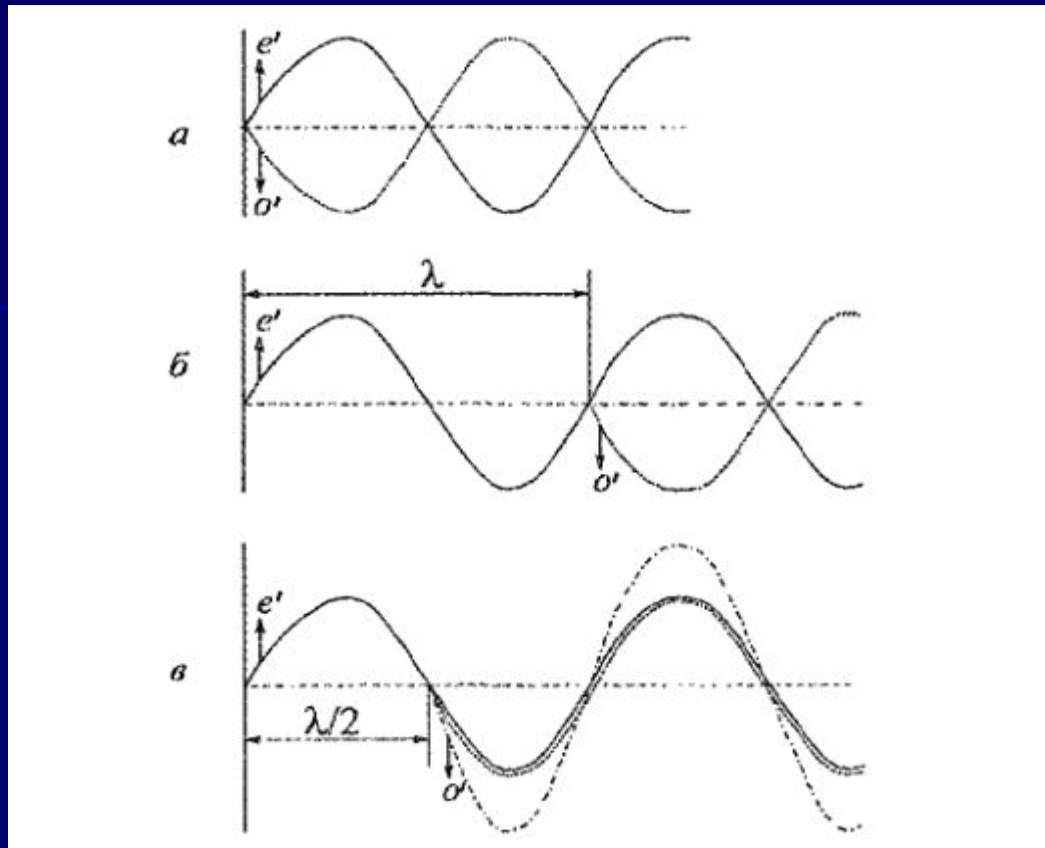


Рис. 15. Интерференция колебаний для двух лучей e' и o' при одновременном (*a*) их выходе из анализатора и с отставанием на длину волны (*б*) и половину длины волны (*в*).

Это возможно лишь в случае оптически изотропных тел и по направлению оптической оси в анизотропных кристаллах.

Если один луч отстает от другого на целую волну или на любое целое число волн, то результат интерференции колебаний будет тот же самый (рис. 15 б).

При отставании одного луча от другого на полволны или на любое нечетное число полуволн к моменту выхода луча " o' " из анализатора, колебания " e' " уже изменятся на обратный знак и окажутся в одной фазе с колебаниями луча " o' ", что приведет к сложению их колебаний, и суммарная амплитуда колебаний возрастёт (рис. 15,в).

Таким образом, максимальная освещенность кристалла должна наблюдаться при расположении осей индикатрисы кристалла под углом 45° по отношению к направлениям колебаний, пропускаемых анализатором и поляризатором (см. рис. 14, *справа*). Эта установка кристалла называется положением максимальной освещенности.

Тёмными (черными) в скрещенных николях при всех поворотах столика микроскопа будут оптически изотропные вещества (минералы кубической сингонии и аморфные вещества) и анизотропные минералы в сечениях, перпендикулярных к оптической оси.

Кроме того, кристалл будет максимально темным при разности хода, т. е. отставании луча o' от луча e' на целое число волн (см. рис. 15 б).

В таблице 1 дана классификация минералов по значению величины двупреломления и приведены соответствующие ему цвета интерференции и минералы с соответствующими значениями двупреломления.

Далее на примере оливина показано, как зависит его интерференционная окраска от направления сечения кристалла и его ориентировки относительно направлений колебания световых волн в поляризаторе и анализаторе.

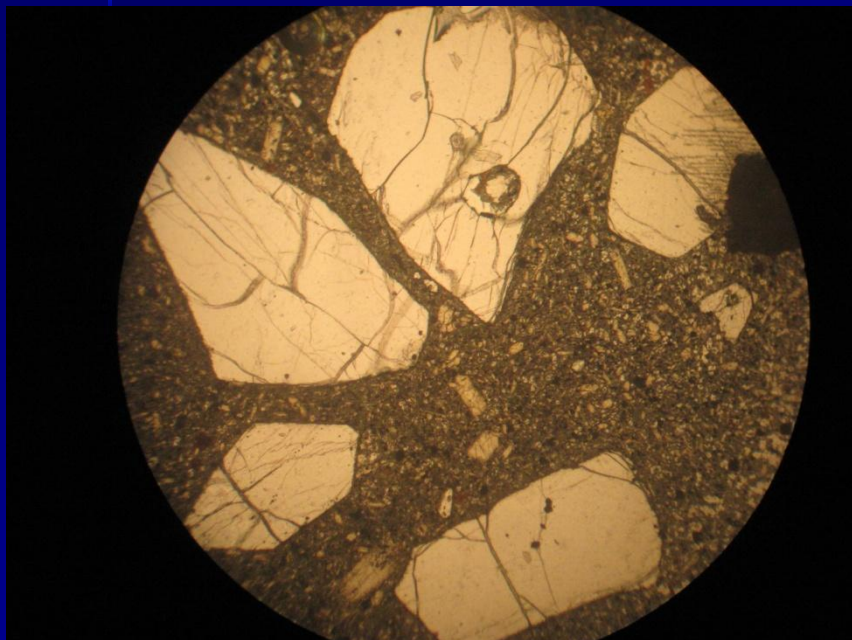
Таблица 1

Интерференционные окраски минералов в зависимости от двупреломления

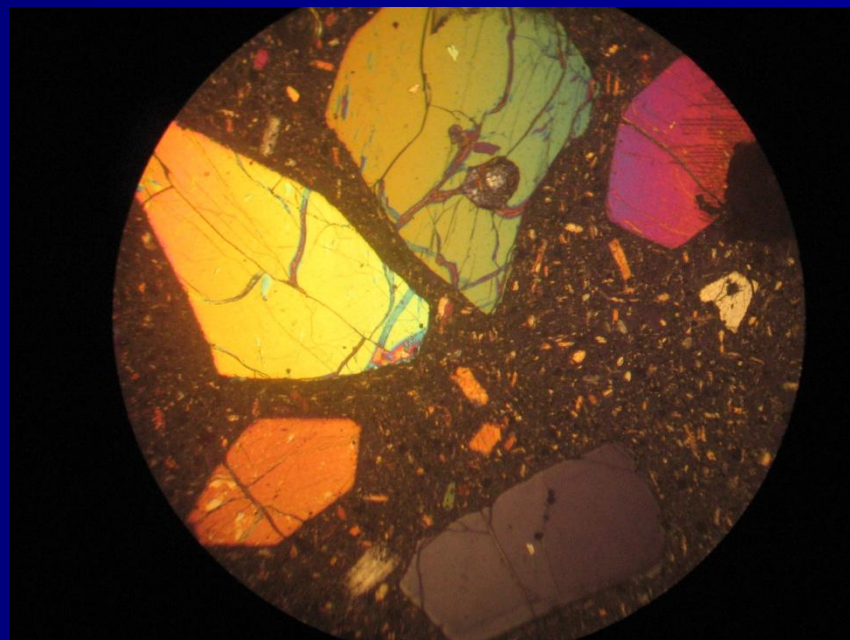
Двупреломление	Интерференционные окраски в шлифах стандартной толщины ($d = 0,03$ мм)	Характерные минералы
очень слабое $< 0,005$	серая, светло-серая	апатит, нефелин
слабое-0,005-0,010	белая, светло-желтая	кварц (0,009), полевые шпаты
умеренное - 0,011-0,030	желто-оранжевая, красная / порядка до желто-зеленой II порядка	роговая обманка, авгит, канкринит
сильное-0,031-0,100	желтая II порядка до V порядка	оливин, биотит, циркон
очень сильное $> 0,100$	перламутровые, бело-розовые окраски высших порядков - VI порядок и выше	карбонаты, титанит, рутил, ксенотим

Зависимость интерференционной окраски оливина от направления сечения и ориентировки осей индикатрисы относительно направления колебаний световых волн в Р и А

Группа фенокристаллов оливина. Ник. парал. D п.з. 3,6 мм.

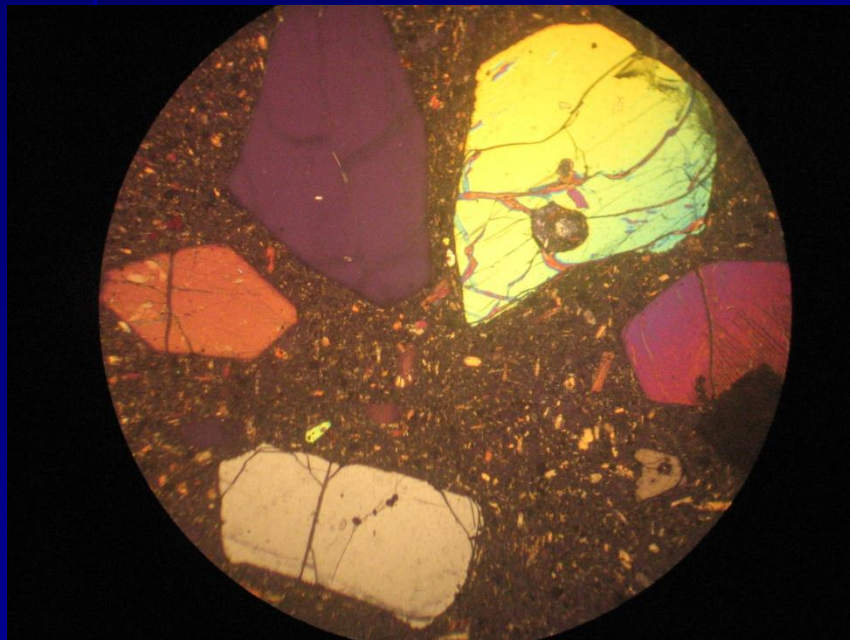


Интерференционные окраски фенокристаллов оливина в данном положении столика микроскопа. Ник. скрещ. D п.з 3,6 мм.

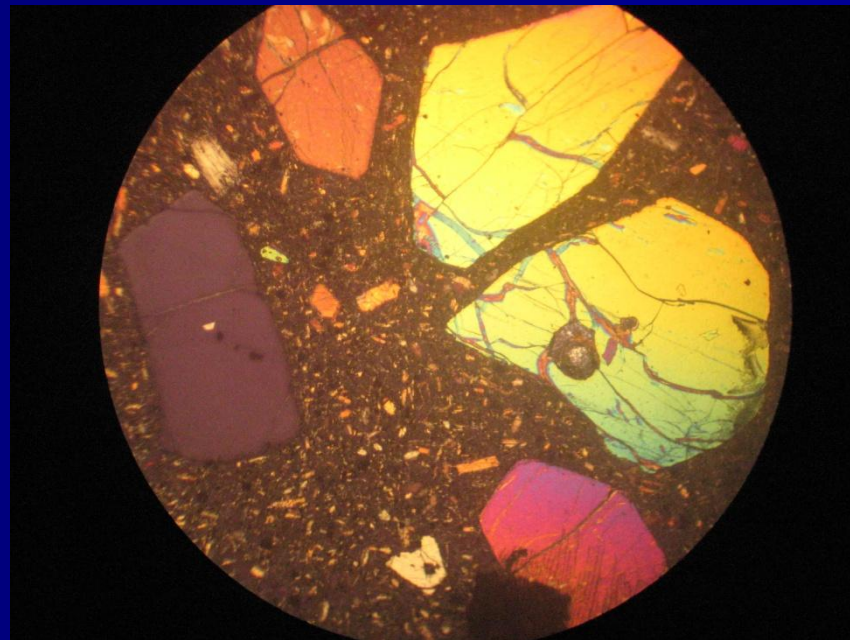


Изменение интерференционной окраски оливина при повороте столика микроскопа

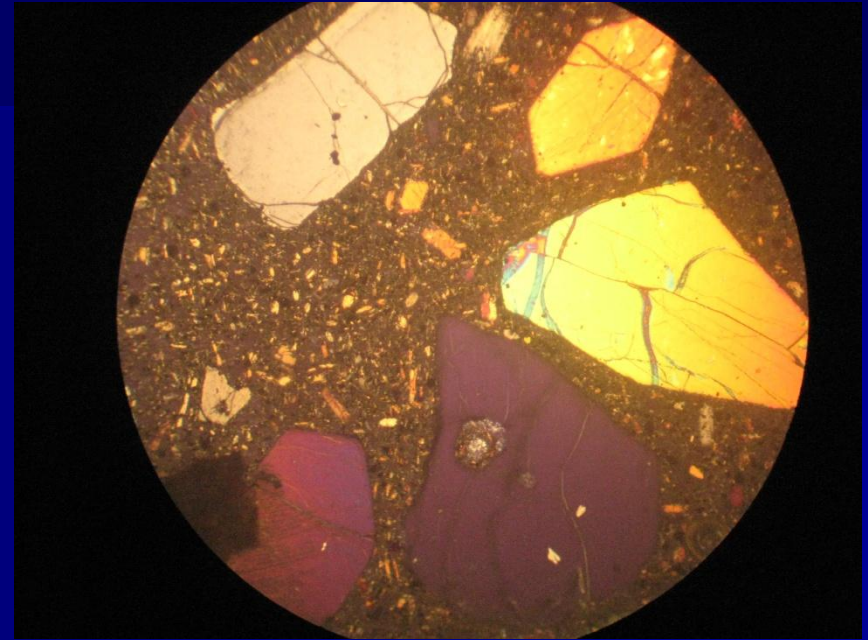
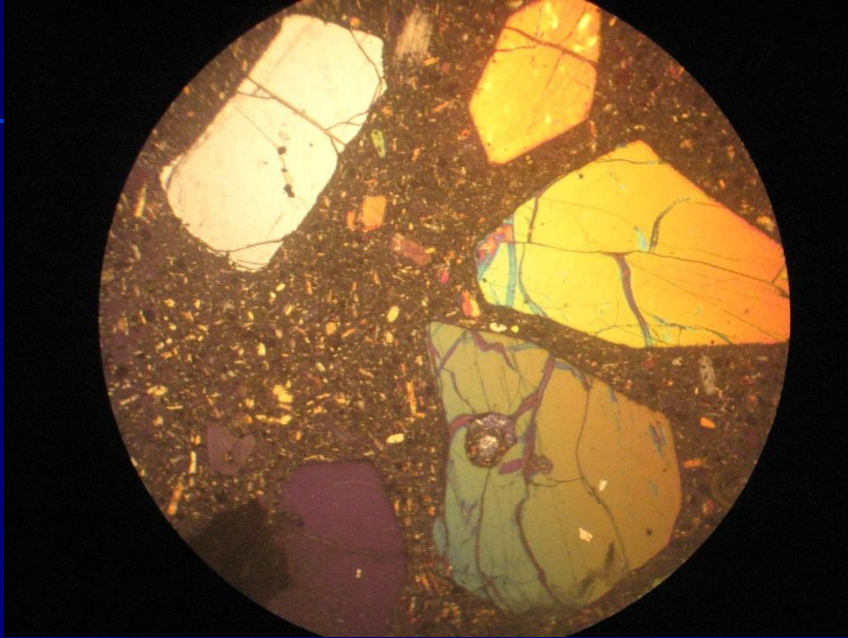
Столик микроскопа относительно предыдущего слайда повернут на некоторый угол вправо до погасания одного из зёрен.



То же, что предыдущий рисунок. Столик повернут вправо ещё на некоторый угол до погасания другого зерна.



Продолжение операции поворота столика микроскопа на некоторый угол до погасания очередных зерен

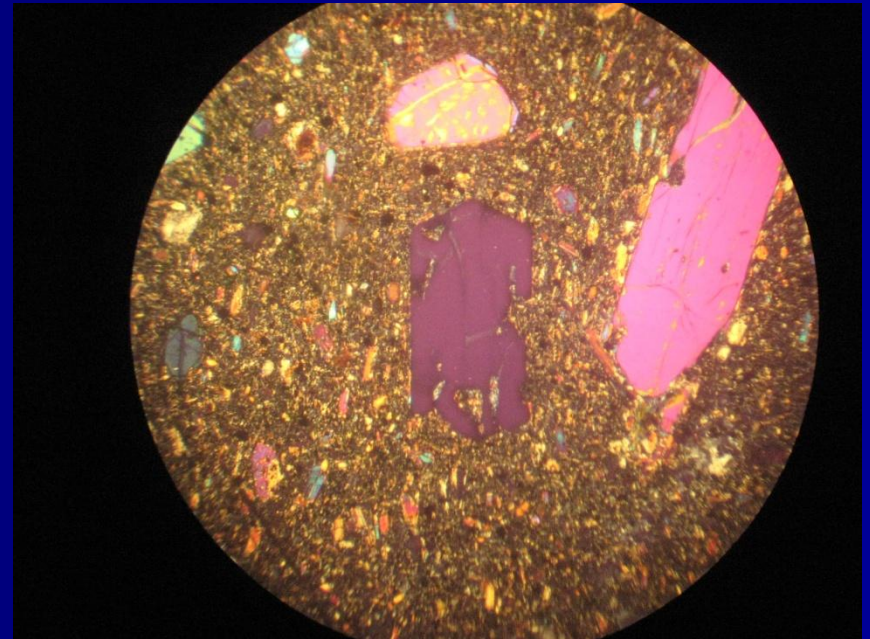
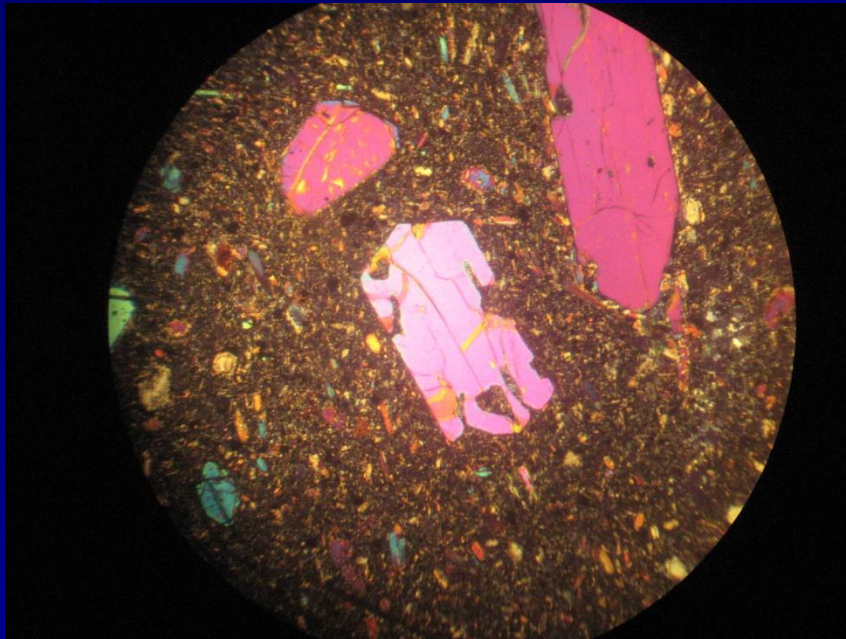


Таким образом, очевидным является то, что цвета интерференции оливина данного состава в шлифе определяются: 1) направлением сечения кристаллов (индикатрисы); 2) ориентировкой индикатрисы (её осей) относительно направления колебаний световых волн в поляризаторе и анализаторе.

Определение величины двупреломления минералов на примере оливина

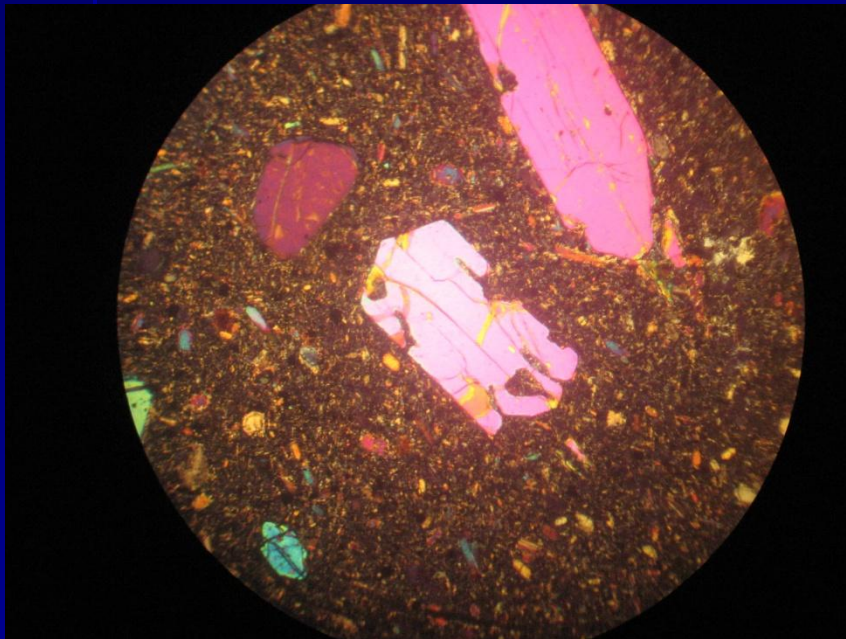
1. Выбираем зерно оливина с наивысшими цветами интерференции. В данном случае это фиолетовые.

2. Поворачиваем столик микроскопа до его погасания.

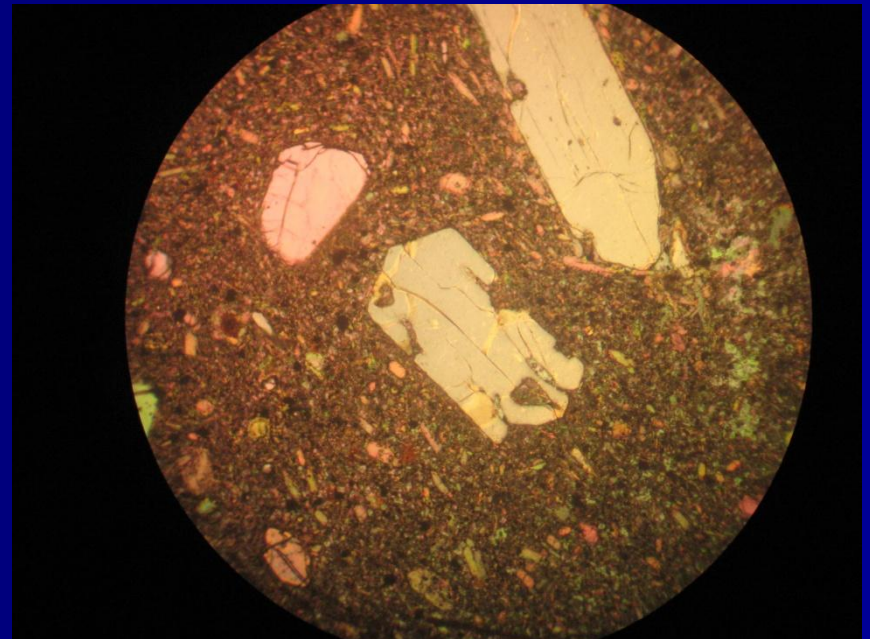


Продолжение операций по определению величины двупреломления оливина

3. Поворачиваем столик микроскопа влево на 45 градусов, до максимального просветления зерна



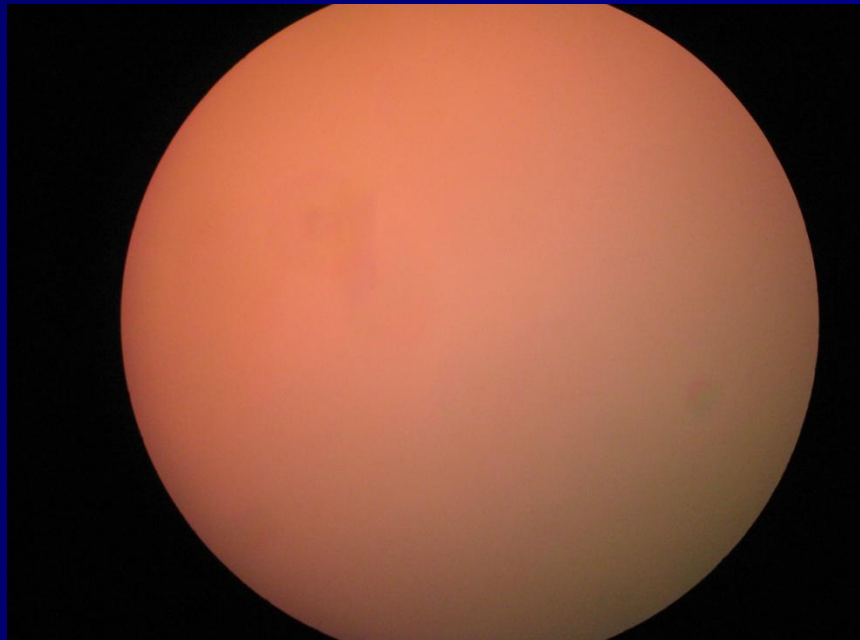
4. Вставляем кварцевый клин и добиваемся компенсации, т. е. появления серых цветов интерференции



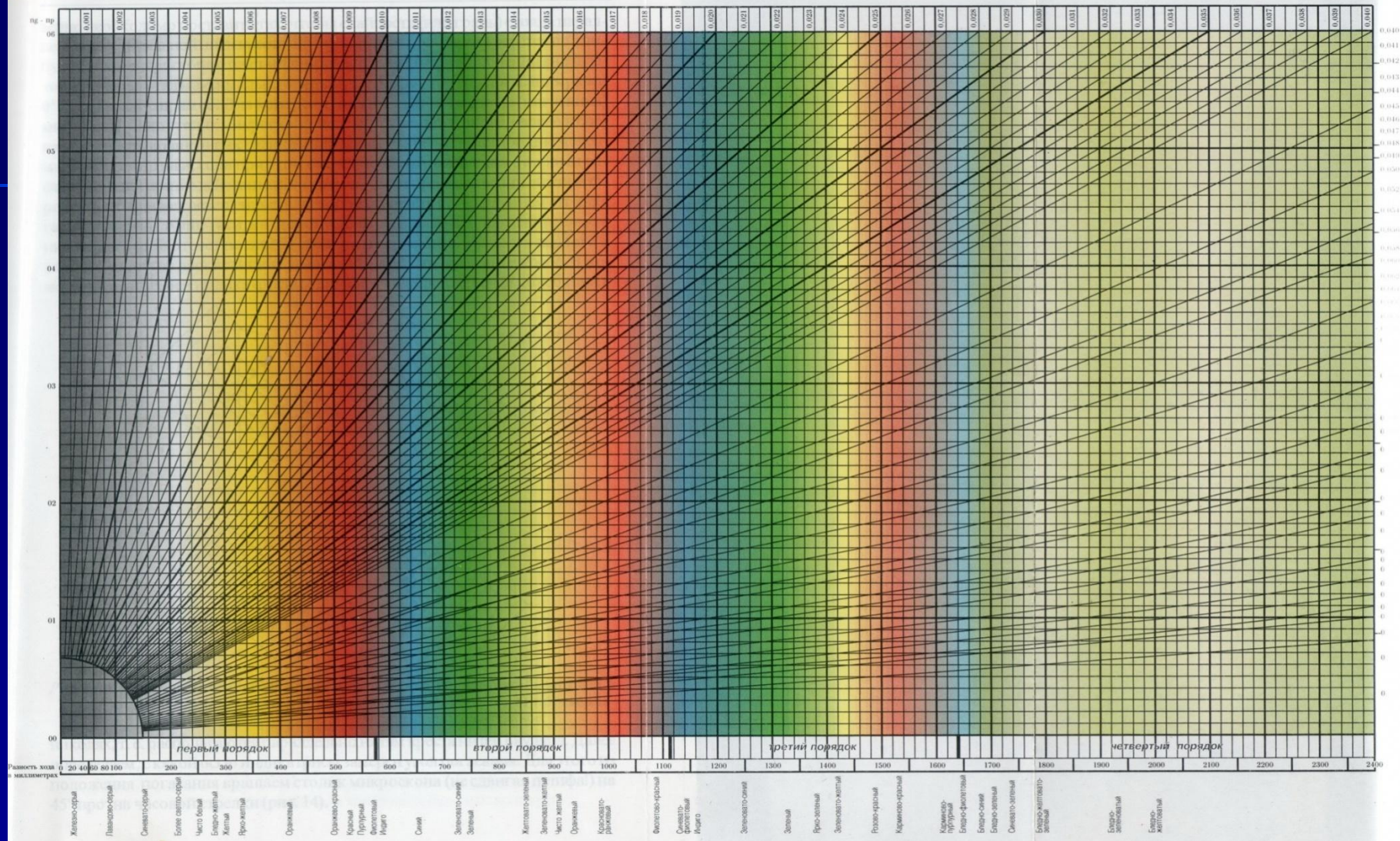
5. В момент компенсации цвет интерференции клина должен соответствовать цвету интерференции зерна (см. фото на слайде). Если компенсация не наступает, то столик микроскопа необходимо повернуть влево на 90 градусов.

6. Определяется порядок цветов интерференции. Для этого медленно вынимаем клин и считаем количество появлений в поле зрения красного цвета. Затем к числу появлений красного цвета добавляем единицу, это и будет порядок цветов интерференции ($P=K+1$).

7. Затем обращаемся к номограмме Мишель – Леви, и определяем значение величины двупреломления для данного зерна оливина. Для этого по горизонтальной линии 0,03 мм (толщина шлифа), в соответствующем порядке находим фиолетовый цвет и по лучу смещаемся на границу номограммы где и считываем значение величины двупреломления (рис. 16).



Глава 2. Поляризационный микроскоп



Порядок действий при определении величины двупреломления по номограмме Мишель – Леви при различной толщине шлифа и различных порядках цветов интерференции

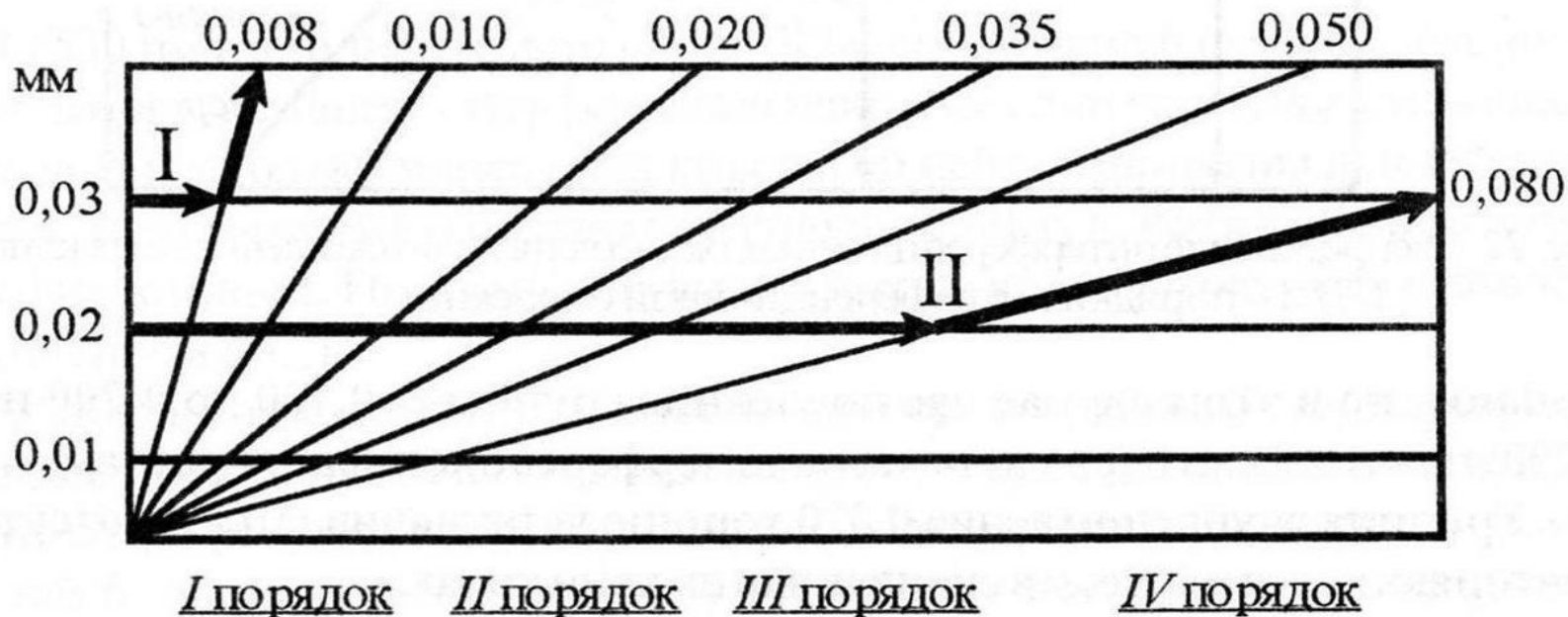


Рис. 16.

Порядок цветов интерференции можно определить по распределению интерференционных окрасок на краю скошенного зерна (рис. 17,18). На приведенных рисунках показано распределение интерференционных окрасок на краю скошенного на клин зерна.

I, II, III – порядки интерференционной окраски.

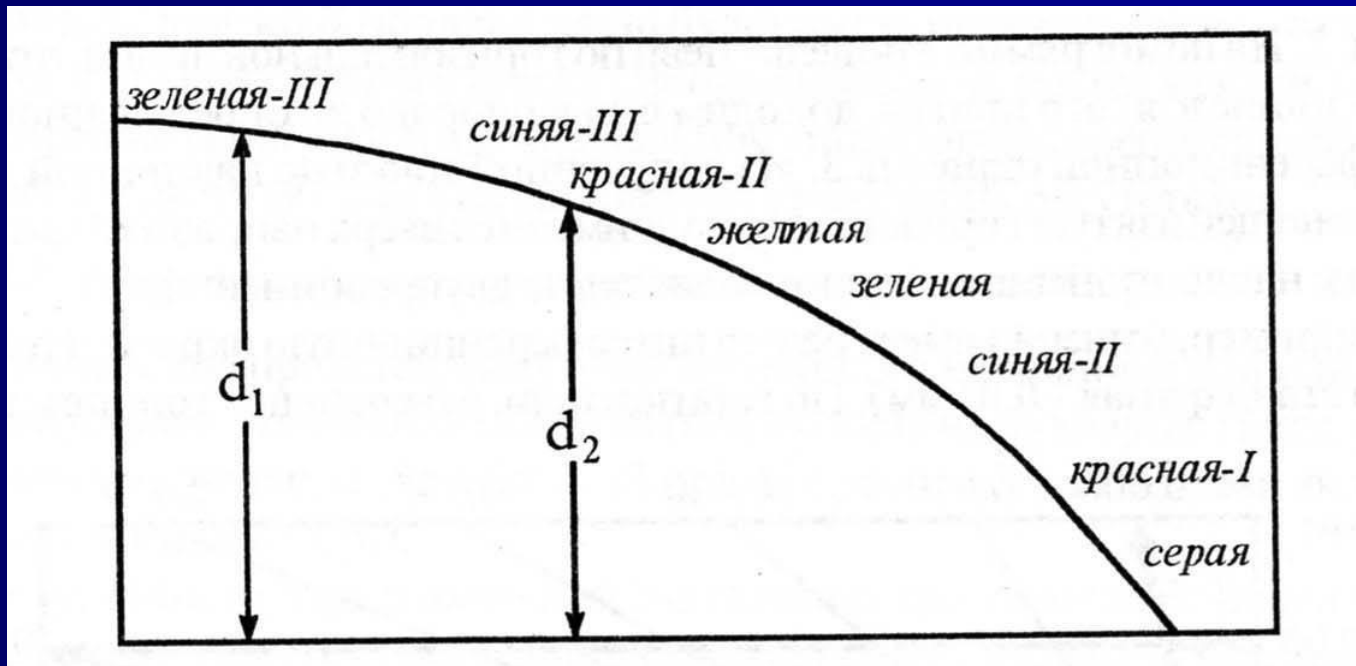


Рис. 17

Появление цветных каёмок в краевой скошенной части зерна

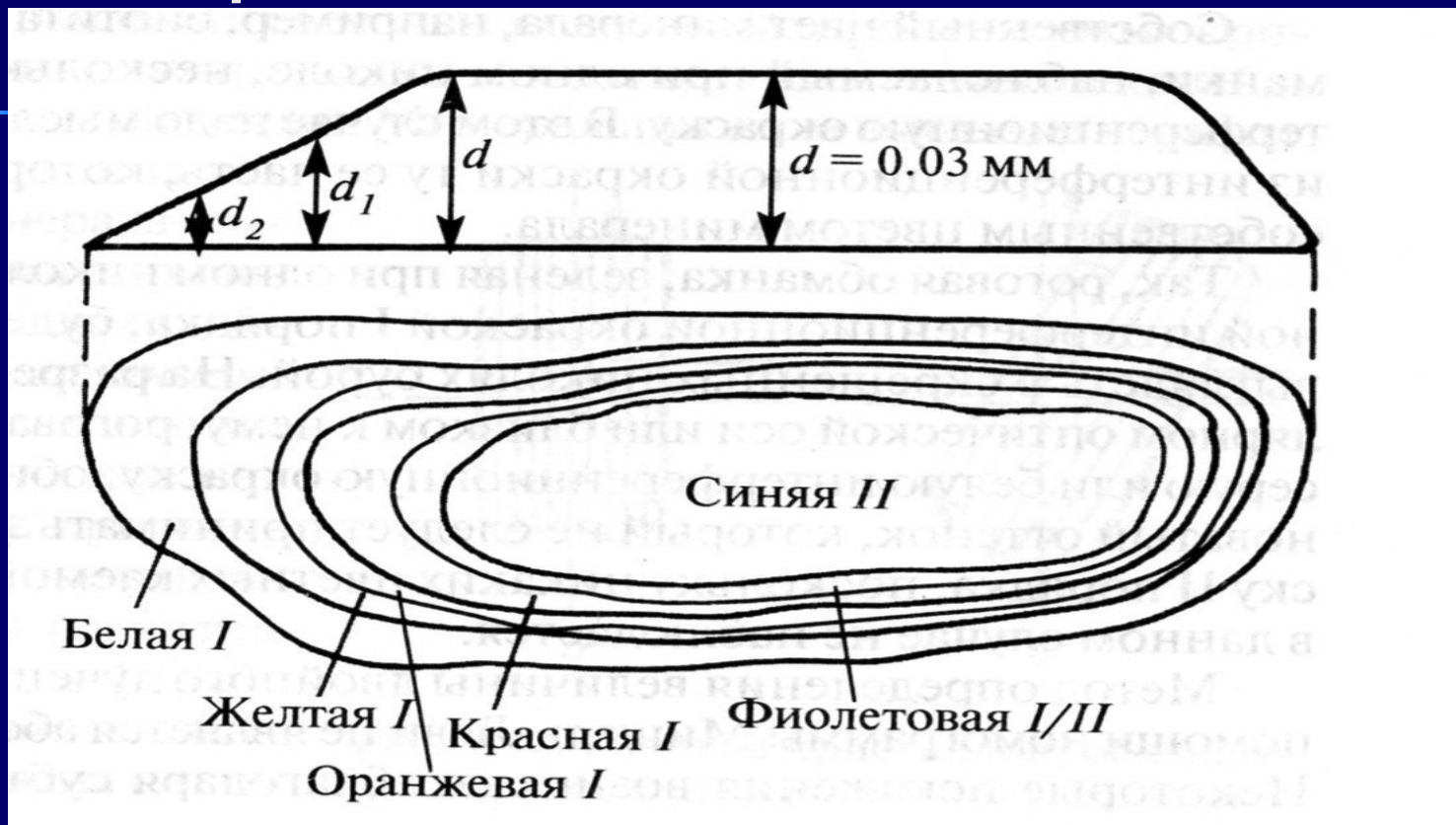
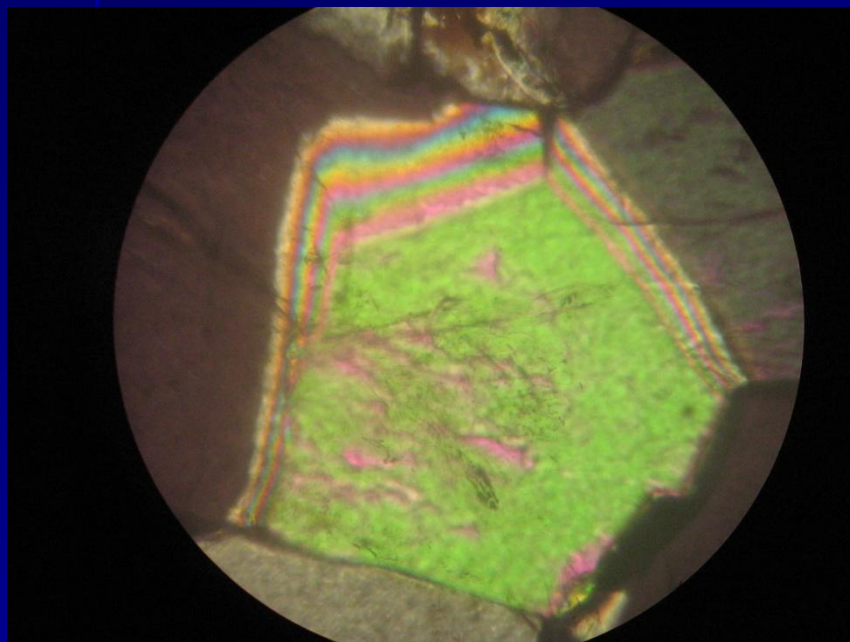


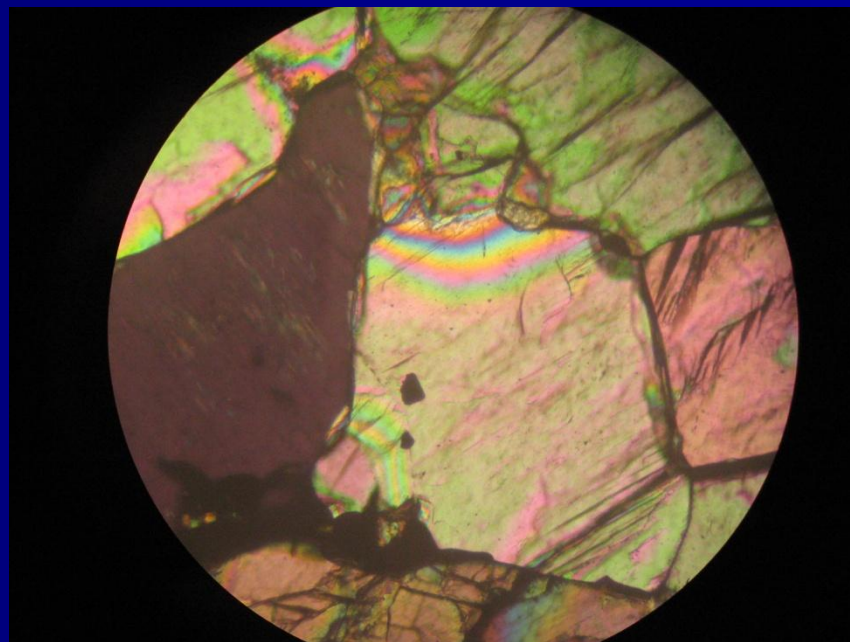
Рис. 18

Определение порядка интерференционной окраски минерала (оливина) на скошенном краю зерна

Распределение цветов интерференции на скошенном краю зерна оливина. Ник скрещ $d \parallel z$ 0,54 мм.

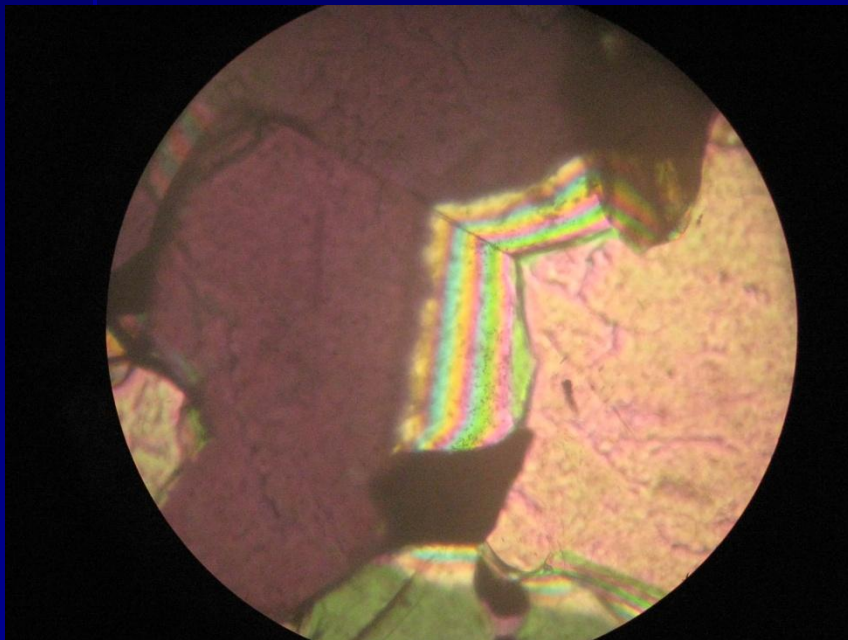


То же, что на предыдущем слайде. Ник скрещ $d \parallel z$ 1,2 мм.

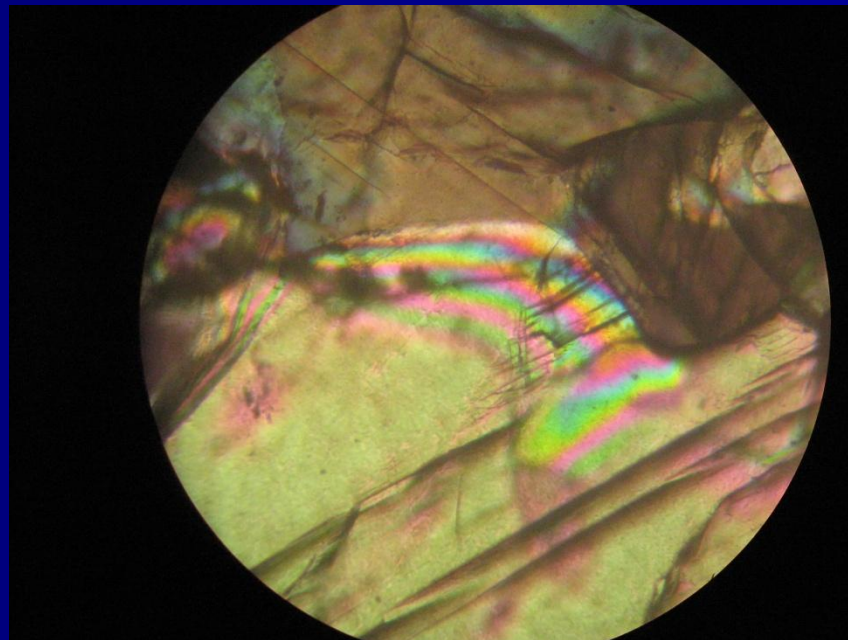


Цветовые каёмки на скошенных краях зёрен оливина

Оливин, ник скрещ d п з 1,2 мм. Судя по трёхкратному повторению красного цвета, порядок цветов интерференции третий.



Оливин, ник скрещ d п з 1,2 мм. Судя по трёхкратному повторению красного цвета, порядок цветов интерференции третий.

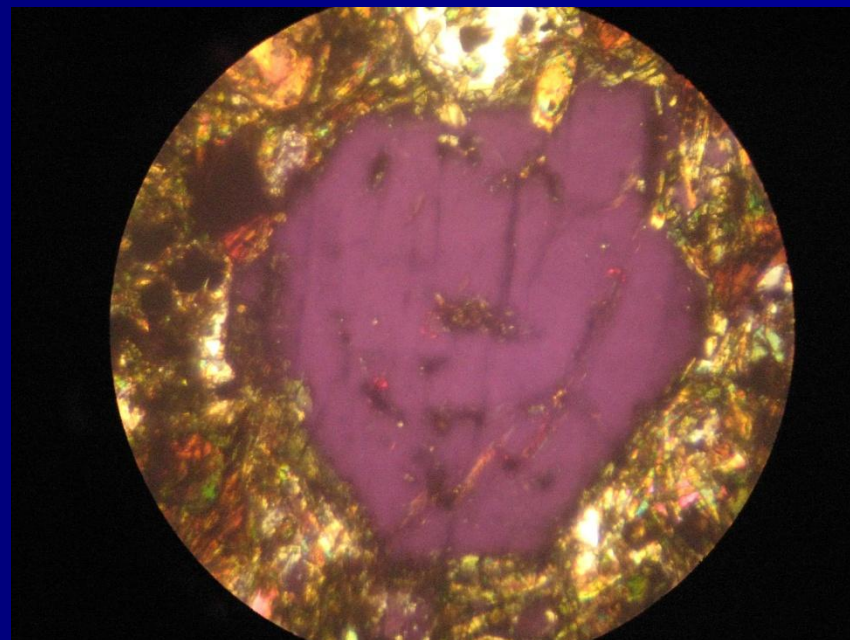
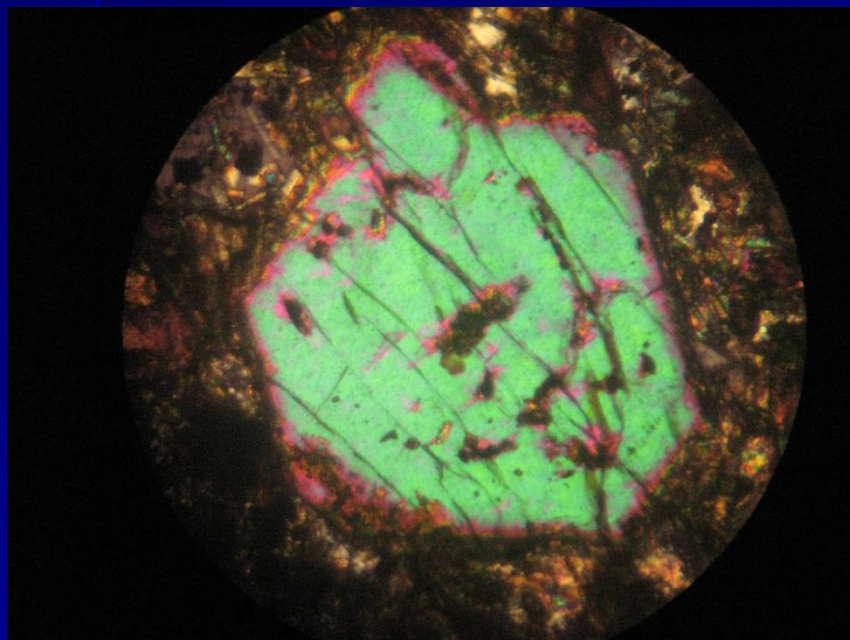


Определение величины двупреломления диопсида

(Угол погасания 38° , двупреломление 0,024)

1. Из всех зёрен диопсида в шлифе выбираем зерно с наивысшими цветами интерференции.
Ник. скрещ. d п з 1,2 мм.

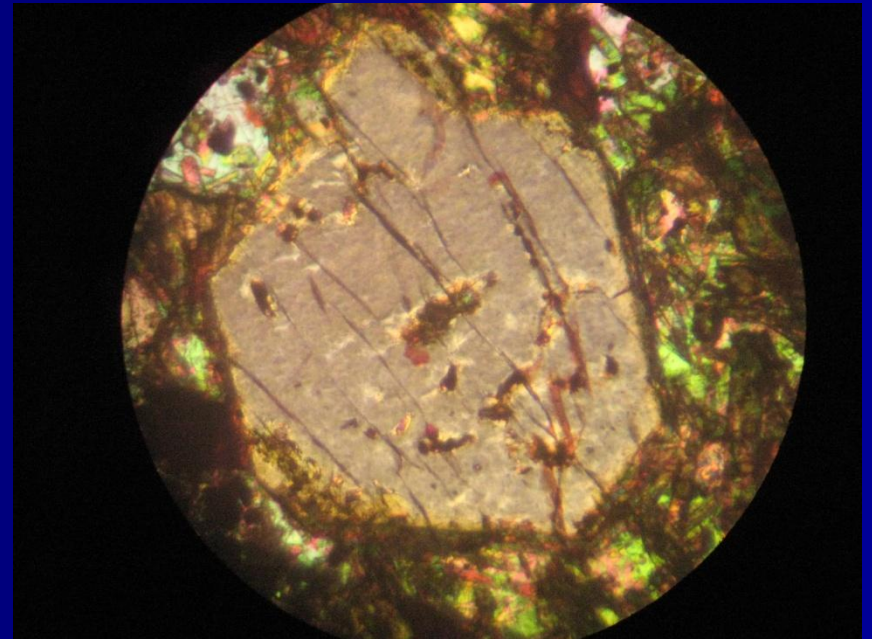
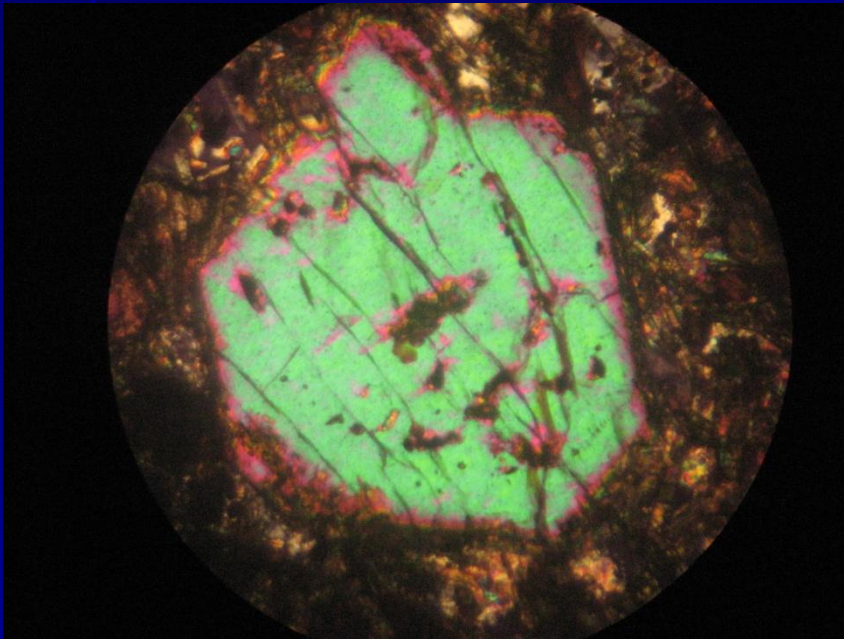
2. Ставим зерно на погасание.



Продолжение операций по определению величины двупреломления

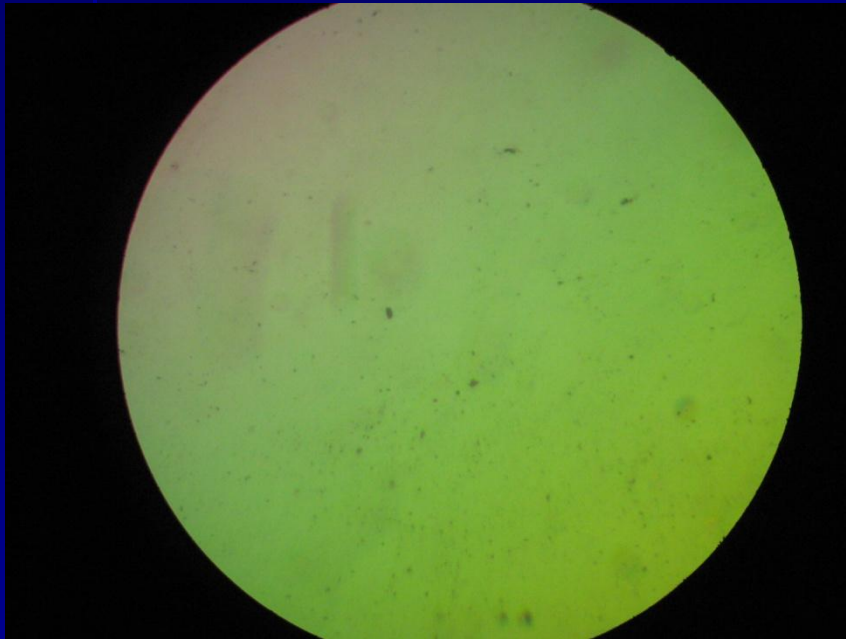
3. От момента погасания столика микроскопа поворачиваем влево (либо вправо) на 45° .

4. Медленно вставляем компенсатор до появления серых цветов интерференции. Если они не появляются столик микроскопа повернуть на 90° вправо и операцию повторить.

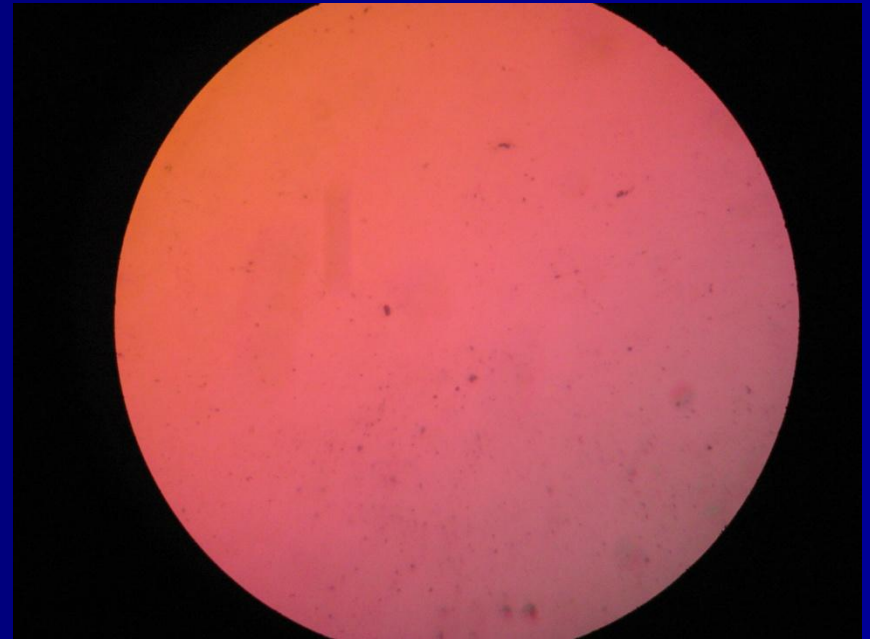


Продолжение операций по определению величины двупреломления

В момент компенсации канадский бальзам приобретает цвета интерференции исследуемого зерна.



Медленно извлекаем кварцевый клин и считаем количество появляющегося в поле зрения красного цвета. Рассчитываем порядок интерференционной окраски $K+1=\Pi$ (K-количество красного; Π -порядок).



Наблюдения в сходящемся свете

В сходящемся свете или методом коноскопии для минералов определяются: осьность (одноосный или двуосный кристалл), оптический знак, угол оптических осей, дисперсия оптических осей, а также проверяется точность ориентировки сечений минералов - параллельно и перпендикулярно к оптической оси или плоскости оптических осей.

Принцип метода и получение коноскопических фигур

При сходящемся свете световые волны имеют вид шаровых поверхностей, а лучи расходятся пучком из одного места. Для получения подобного света в большинстве моделей микроскопов в оптическую систему вводится двояковыпуклая линза - линза Лазо, располагающаяся над поляризатором. В некоторых случаях сходящийся свет получают выведением из системы нижнего конденсора, располагающегося ниже поляризатора.

Пучок сходящегося света, падающий на исследуемый объект в шлифе, имеет форму конуса, а поэтому и метод получил название **коноскопического** или **коноскопа**.

Оптические фигуры, возникающие под микроскопом, соответственно называются **коноскопическими**, а так как их появление связано с явлениями интерференции световых волн, то эти фигуры еще называются и *интерференционными*.

Для установки сходящегося света необходимо провести следующие операции:

- Найти зерно нужного сечения* минерала при объективе 2,5х или 10х (3,5х или 9х) увеличения и установить зерно на центр креста нитей окуляра.

- Поставить объектив 40х или 60х. Перед фокусировкой этих объективов необходимо проверить положение шлифа. Шлиф должен лежать на столике микроскопа обязательно покровным стеклом вверх, т. к. фокусное расстояние этих объективов (40х, 60х) меньше толщины предметного стекла и при попытке сфокусировать их на минерал в шлифе, положенном покровным стеклом вниз, шлиф будет раздавлен, а объектив испорчен.

- Сфокусировать объектив (40х, 60х). Фокусное расстояние этих объективов очень маленькое. Чтобы не раздавить шлиф и не испортить объектив, начинающим целесообразнее вначале подводить объектив к покровному стеклу, глядя сбоку на объектив при опускании его или при подводке столика микроскопа к объективу, потом вращением микрометрического винта тонкой фокусировки поднять тубус или опустить столик микроскопа до четкой видимости зерна.

*либо _1_, либо || оптической оси или биссектрисе

- Центрировать объективы 40х или 60х.
- Проверить точность установки определяемого минерала в центре поля зрения.
- Включить анализатор.
- Включить линзу Лазо.
- Включить линзу Бертрана.

- Повернуть столик микроскопа. Наблюдаем интерференционную или коноскопическую фигуру.

Существует и другой метод получения коноскопической фигуры, так называемый *метод Лазо*. После включения линзы Лазо следует вынуть окуляр и наблюдать фигуру коноскопии. Метод Лазо более эффективен при недостаточной освещенности шлифа и с использованием "дырочной" диафрагмы.

Коноскопическая фигура изотропных сред

Как было сказано выше, поверхность показателей преломления изотропных сред имеет форму шара, и такой же формой обладает индикатриса этих сред, что обуславливает бесконечное множество направлений световых колебаний в таких средах

В сходящемся свете при любом положении кристалла кубической сингонии или аморфного вещества всегда найдутся направления колебаний, совпадающих с плоскостями поляризации поляризатора и анализатора, т.е. в двух взаимно перпендикулярных направлениях, что ведет к появлению полос полного

погасания, соответствующего скрещенности николей, в форме размытого креста. Эта фигура очень похожа на коноскопическую фигуру одноосных минералов с низким двупреломлением, подобных апатиту. Чтобы отличить изотропное вещество от одноосных минералов в сечениях, перпендикулярных к оптической оси, достаточно в систему коноскопа ввести компенсатор. Если это изотропное вещество, то с компенсатором все поле зрения с крестообразной коноскопической фигурой окрасится в малиновый цвет- цвет интерференционной окраски компенсатора, т.к. изотропное вещество не обладает двупреломлением, а поэтому не может интерферировать с двупреломляющим компенсатором. Коноскопическая фигура одноосного кристалла с компенсатором приобретает разные цвета, симметрично расположенные по квадрантам коноскопической фигуры - креста.

Коноскопическая фигура одноосного минерала

Для одноосных минералов характерны два сечения:

1. Разрез, параллельный оптической оси, характеризующийся максимальной интерференционной окраской.
2. Разрез, перпендикулярный к оптической оси, характеризующийся минимальной интерференционной окраской. В этом сечении минерала определяется его ось и оптический знак.

Сечение, перпендикулярное оптической оси.

В сходящемся свете при объективах 40х и 60х возникает характерная коноскопическая фигура в форме темного креста, который не меняет своего положения при вращении кристалла (рис. 19 а).

Если сечение через минерал проходит не точно перпендикулярно к оптической оси, а под некоторым углом, то центр креста не совпадает с центром поля зрения и описывает окружность (рис. 14 б).

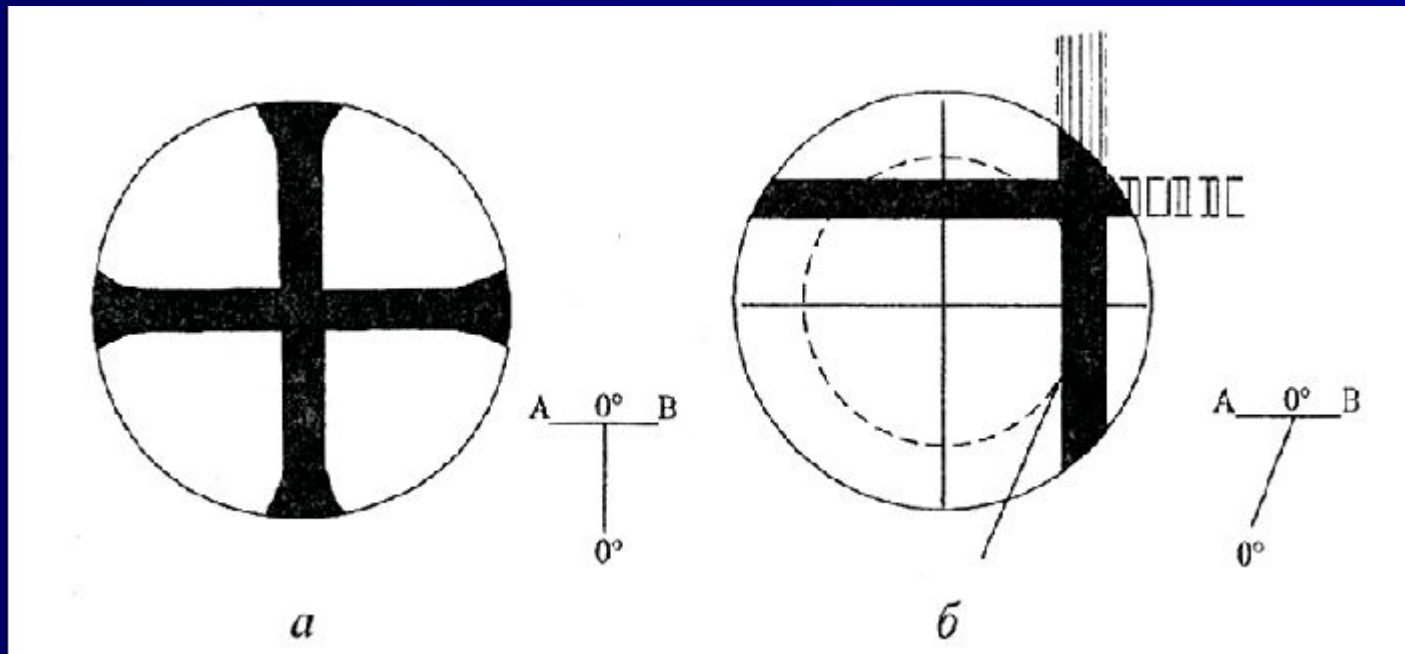


Рис. 19. Коноскопическая фигура одноосного минерала:

а — сечение, перпендикулярное оптической оси; б - косое сечение.

В этом сечении колебания N_e располагаются по радиусам от центра темного креста, т. е. от точки выхода оптической оси, а колебания N_o - перпендикулярно N_e в любой точке.

В точке пересечения ветвей темного креста (в точке выхода оптической оси) $N_e - N_o = 0$. Чем дальше по радиусу от выхода оптической оси, тем больше величина $N_e - N_o$ и тем больше R (разность хода). В результате нарастания R у минералов с большой силой двупреломления вокруг центра креста появляются концентрические цветные интерференционные (изохроматические) кольца, количество которых прямо зависит от силы двупреломления минерала и толщины кристаллической пластинки.

Для определения оптического знака необходимо определить, является ли ось индикатрисы N_e больше или меньше оси N_o . Получив коноскопическую фигуру - темный крест, вводим компенсатор.

Если во II и IV квадрантах креста появятся желтые, красные окраски, т. е. наблюдается понижение интерференционной окраски по отношению к компенсатору,

- то N_e , соответствует наибольшей оси, и оптический знак минерала положительный (рис. 20 а). В I и III квадрантах интерференционные окраски соответственно повысятся и вместо серых (без компенсатора) появятся синие (с компенсатором), т. к. в этих квадрантах совпадают одноименные (по относительным величинам) оси индикатрисы минерала и компенсатора.
- Если во II и IV квадрантах креста при введении компенсатора вместо серых и белых окрасок появятся синие и зеленые окраски, т. е. интерференционная окраска повысится, это означает, что по этому направлению совпали одноименные оси минерала и компенсатора, и N_e минерала соответствует наименьшей оси, а оптический знак, следовательно, отрицательный ($N_e < N_o$) (рис. 20б).
- В случае косого сечения определение оптического знака и осиности допустимо только при условии, что центр темного креста не выходит за пределы поля зрения. Перед введением компенсатора крест нужно установить так, чтобы большая часть поля зрения была занята II-ым или IV-ым квадрантом и далее вести определение, как описано выше.

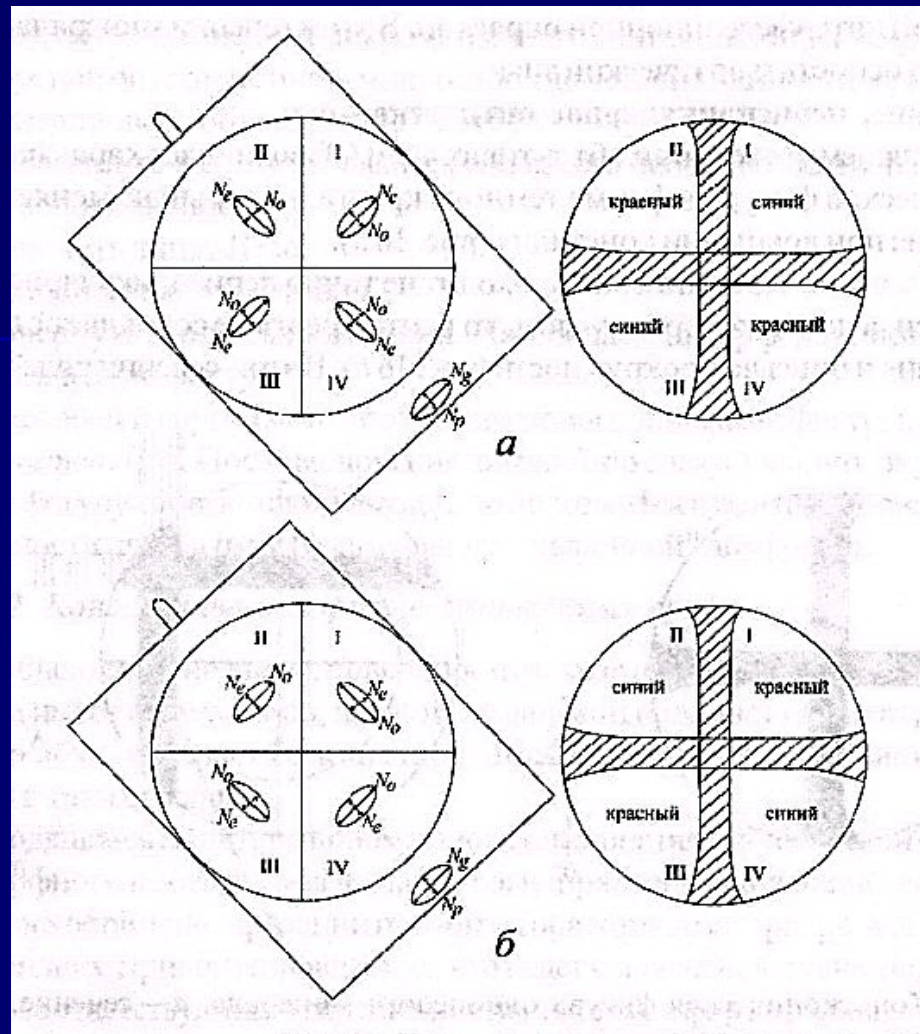
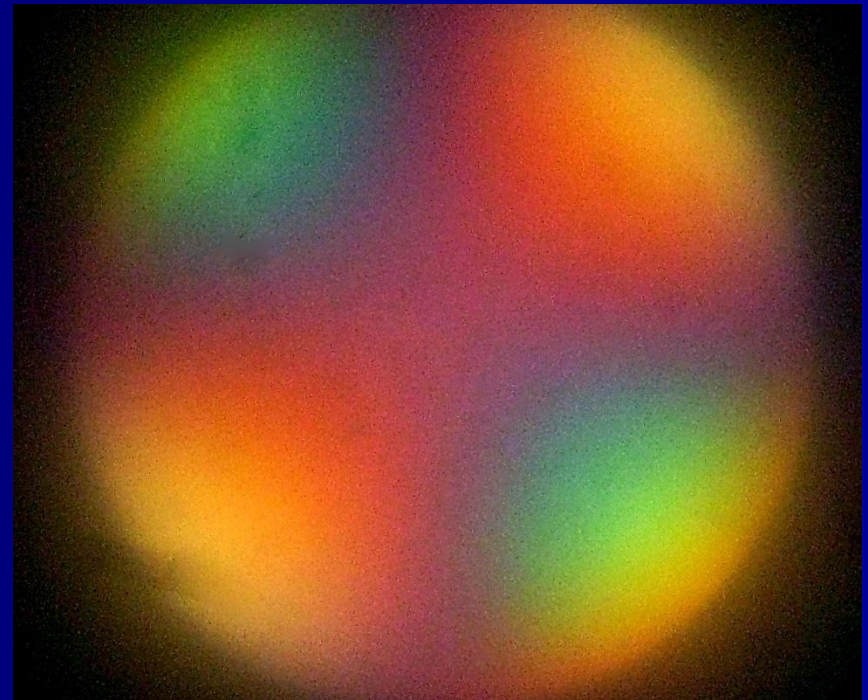
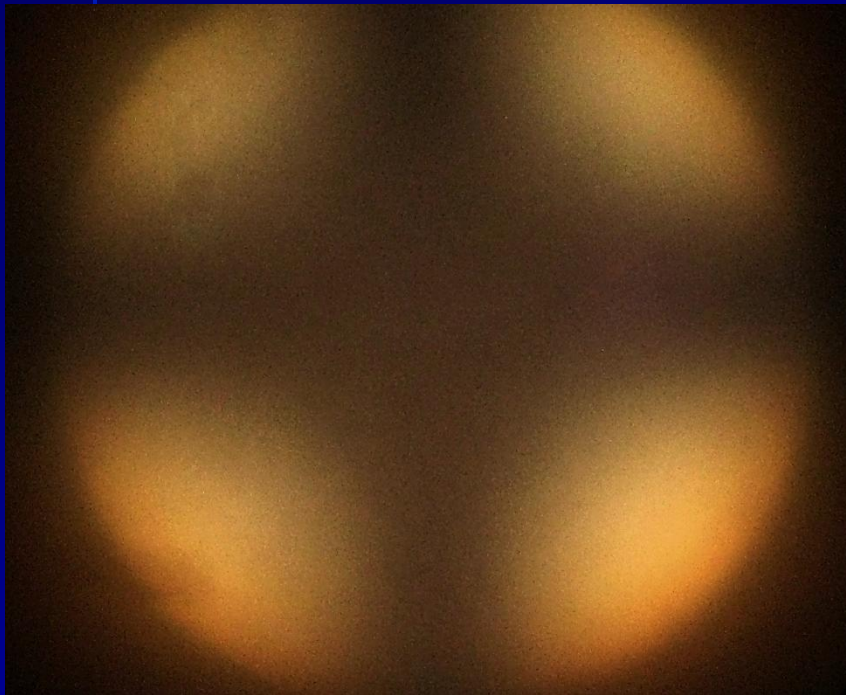


Рис. 20. Ориентировка осей индикатрисы кристалла и компенсатора и распределение окрасок в квадрантах коноскопических фигур оптически положительного (а) и отрицательного (б) одноосных минералов.

Коноскопическая фигура оптически одноосного отрицательного минерала.

Сечение перпендикулярное оптической оси. Выход оптической оси в центре креста т. е. в центре поля зрения и при вращении столика микроскопа крест не смещается.

При введении компенсатора повышение интерференционной окраски происходит во 2 и 4 квадрантах, следовательно $N_e < N_o$, минерал оптически отрицательный.

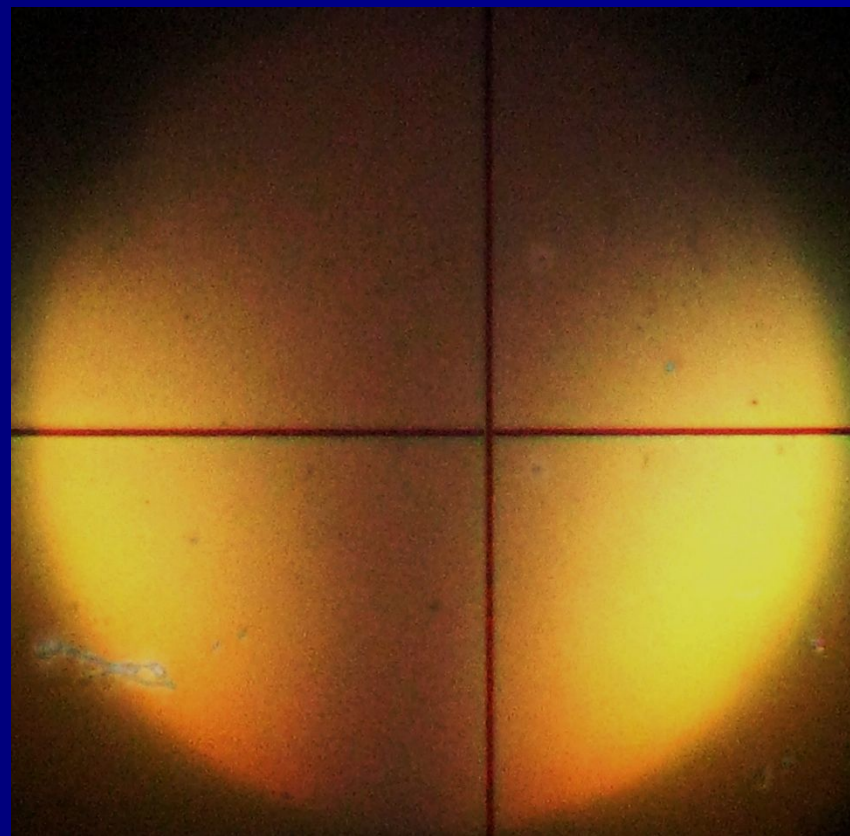


Коноскопическая фигура оптически одноосного отрицательного минерала.

Сечение не перпендикулярно оптической оси.
Центр креста (выход оси) смещён
относительно центра поля зрения.



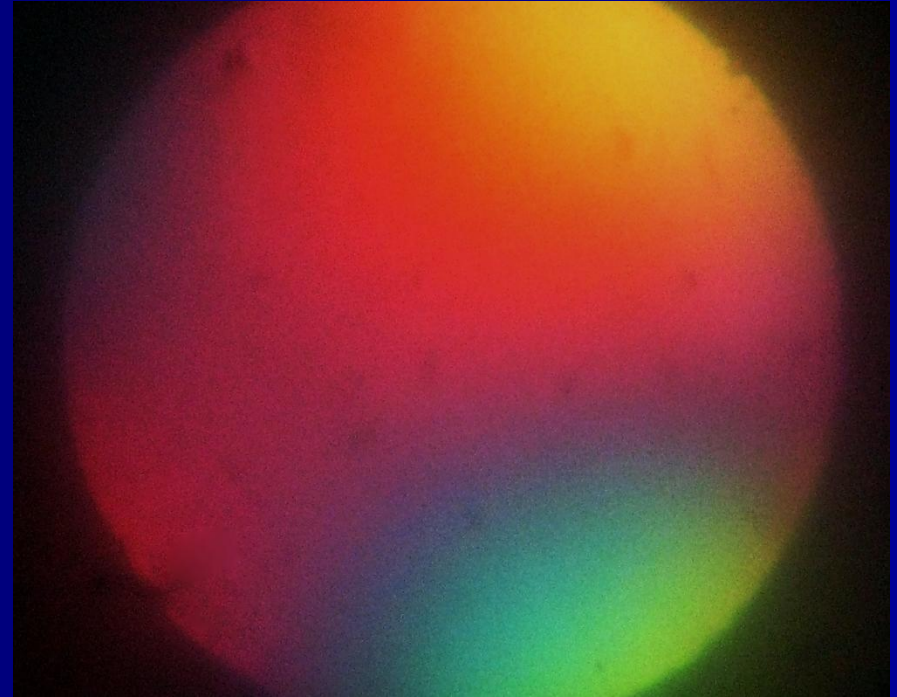
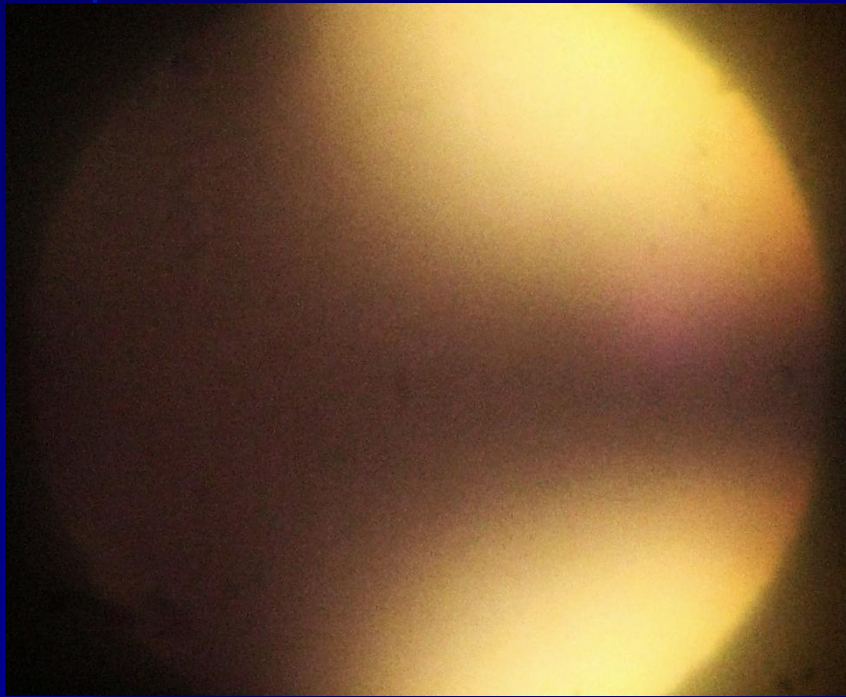
При вращении столика микроскопа центр
креста (выход оси) перемещается, описывая
окружность.



Коноскопическая фигура оптически одноосного отрицательного минерала.

Сечение не перпендикулярно оптической оси. Центр креста (выход оси) смещён относительно центра поля зрения влево. В поле зрения открыты поля 1 и 2 квадрантов.

При введении компенсатора повышение интерференционной окраски наблюдается во 2 квадранте, следовательно $N_e < N_o$, минерал оптически отрицательный.



Сечение, параллельное оптической оси.

В кристалле, срезанном параллельно оптической оси, оптическая ось расположена в плоскости шлифа, и, следовательно, это сечение будет- характеризоваться максимальной интерференционной окраской, а для окрашенных минералов и максимальной резкостью плеохроизма, т. к. в этой плоскости лежат обе оси индикатрисы, отражающие максимальный и минимальный показатели преломления, оси N_e и N_o , дающие максимальное значение величины $N_e - N_o$ с интерференционными окрасками, отвечающими $R = d(N_e - N_o)$.

В сходящемся свете это сечение дает два гиперболовидных темных пятна, которые при вращении кристалла сходятся и расходятся подобно изогирам в сечениях, перпендикулярных тупой или острой биссектрисам при коноскопии двuosных минералов. Чем выше двупреломление минерала, тем четче гиперболовидные пятна, по форме практически не отличимые от изогир сечений, перпендикулярных к биссектрисам двuosных минералов.

Рассматриваемое сечение в сходящемся свете характеризуется также наличием симметричной расцветки поля зрения, при этом вдоль оптической оси от середины к ее концам происходит понижение интерференционной окраски, а по перпендикулярному направлению - повышение, что связано с неодинаковым изменением разности хода по этим направлениям.

Рассматривая ход лучей в кристалле в поперечном разрезе пластинки в шлифе, можно видеть, что разные лучи пучка света, проходящего через кристалл, проходят в нем разные расстояния. Центральный луч (1 на рис. 21 а) пробегает самый короткий путь, но в точке выхода луча 1 наблюдается максимальное двупреломление $N_e - N_o$ и $R = d (N_e - N_o)$. По мере увеличения угла между лучом и нормалью к оптической оси увеличивается путь луча, т. е. величина d , но, т. к. в то же самое время направление луча приближается к параллельности с оптической осью, то $(N_e' - N_o)$ стремится к нулю, ибо вдоль оптической оси отсутствует двупреломление, т. е. $(N_e' - N_o) = 0$. Но если $N_e' - N_o$ стремится к нулю, то и разность хода R в пределе стремится к нулю. Следовательно, интерференционная окраска от луча 1 к лучу X будет понижаться.

Рассмотрим изменение интерференционной окраски по направлению N_o также в поперечном разрезе кристаллической пластинки (рис. 21 б). Оптическая ось располагается перпендикулярно к плоскости рисунка и направлена на нас (от нас). Для луча 1 в точке 1 $R = d (N_e - N_o)$, т. е. будет наблюдаться та же интерференционная окраска, что и в первом случае. Сечение $N_e - N_o$ представляет собой круговое сечение и, следовательно, $N_e - N_o$ в этом сечении - величина постоянная, а путь, проходимый лучами 1, 2, 3... X будет непрерывно возрастать от 1 к X, и разность хода также будет возрастать.

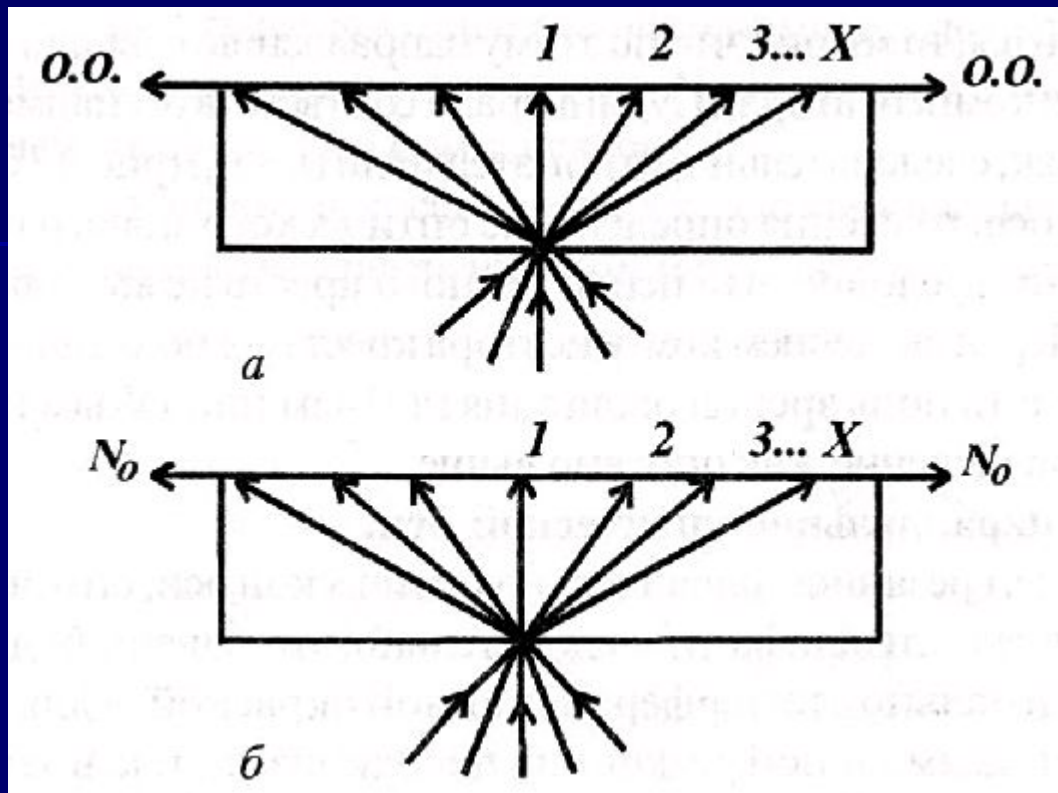


Рис. 21. Изменение интерференционной окраски вдоль оптической оси (а) и вдоль оси N_o (б) в поперечном разрезе кристаллической пластинки.

Коноскопическая фигура двuosного минерала

Для двuosных минералов характерными являются 4 сечения:

1) Сечение, перпендикулярное биссектрисе острого угла.

2) Сечение, перпендикулярное биссектрисе тупого угла.

3) Сечение, перпендикулярное оптической оси, характеризующееся минимальной интерференционной окраской (черной, темно-серой), не изменяющейся при вращении столика микроскопа.

4) Сечение, параллельное плоскости оптических осей, характеризующееся максимальной интерференционной окраской.

Сечение, перпендикулярное острой биссектрисе.

Это сечение в сходящемся свете дает коноскопическую фигуру в виде двух изогир, которые при вращении столика микроскопа сходятся в крест (рис. 22 а) и расходятся на максимальное расстояние при повороте столика на 45° (рис. 22 б). При схождении изогир в крест узкая балка указывает след плоскости оптических осей, а широкая балка креста соответствует направлению оси Nm .

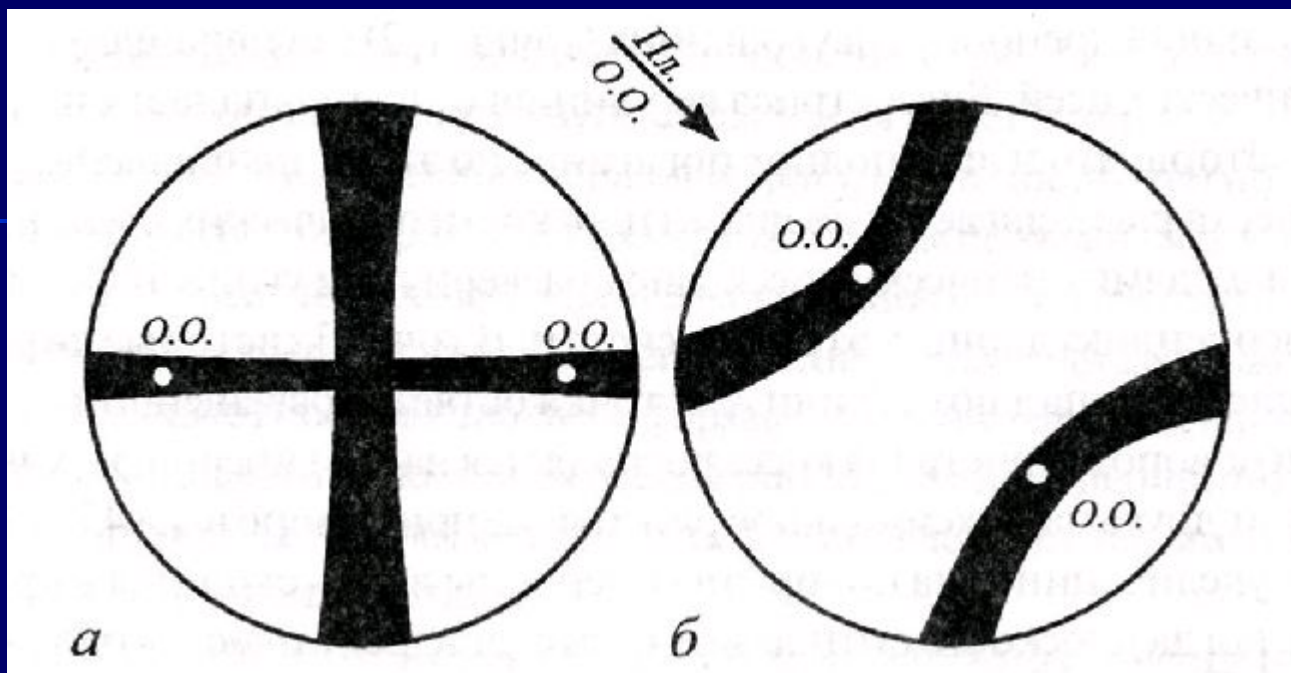


Рис. 22. Общий вид коноскопической фигуры двuosного минерала в сечении, перпендикулярном острой биссектрисе, а-оптические оси располагаются на прямой, параллельной горизонтальной нити окуляра, б - оптические оси располагаются в положении 45° .

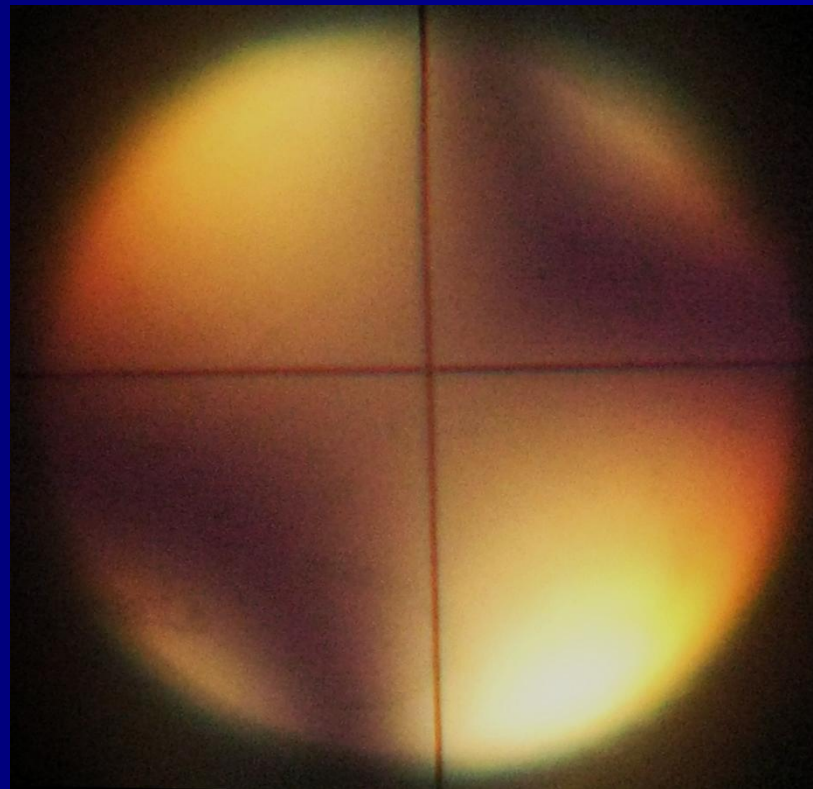
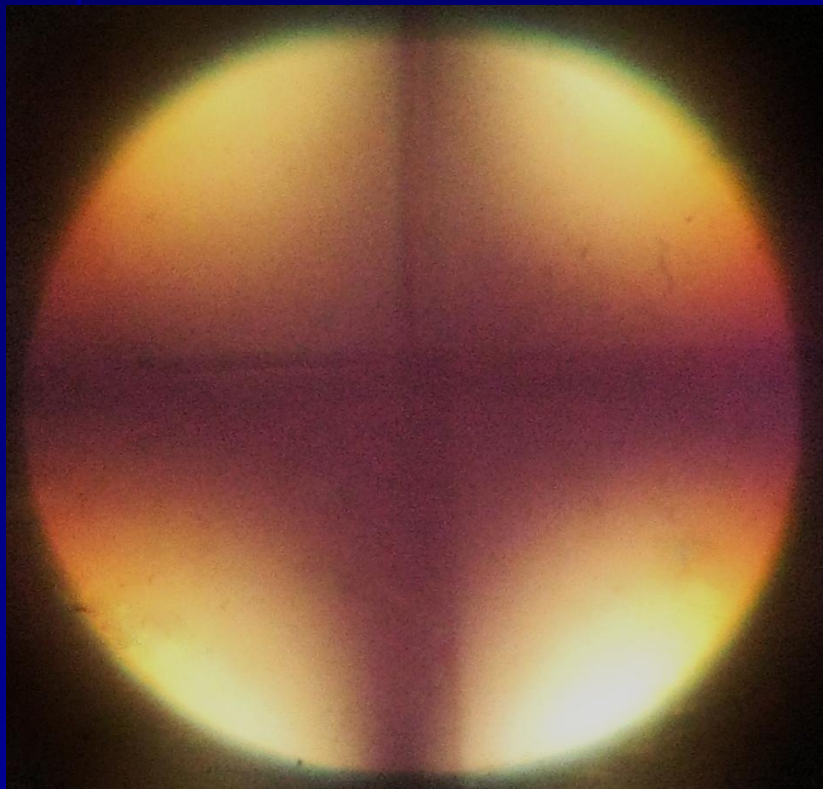
Коноскопическая фигура оптически двуосного минерала (мусковит, $2V=35-50$).

Сечение перпендикулярное острой биссектрисе.

Изогиры располагаются в центре поля зрения.

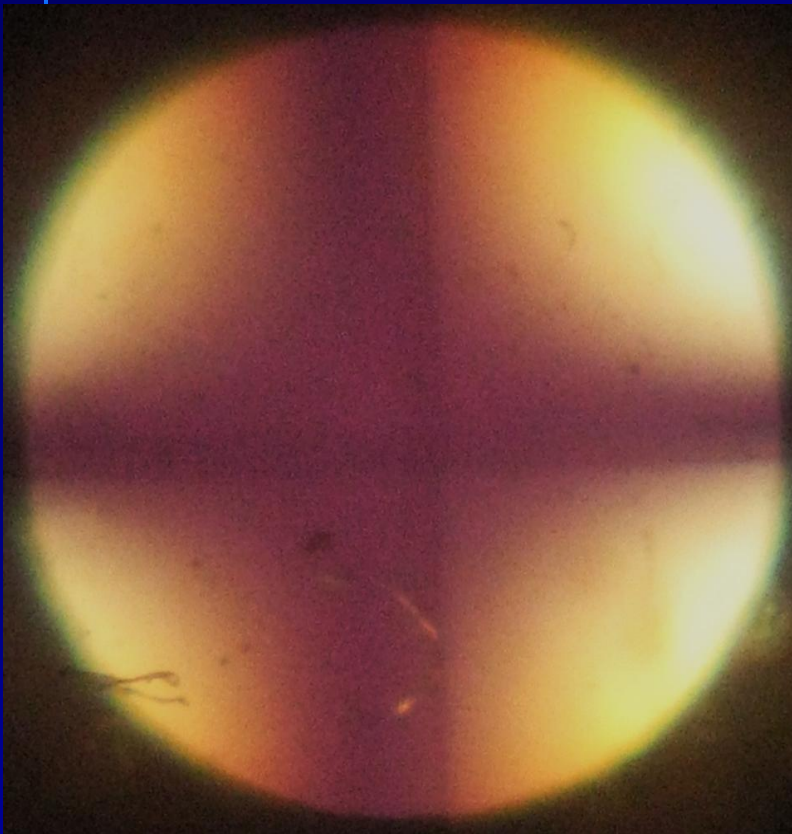
Плоскость оптических осей располагается
вертикально.

Изогиры при повороте столика микроскопа на
 45° вправо разошлись по 1 и 3 квадрантам

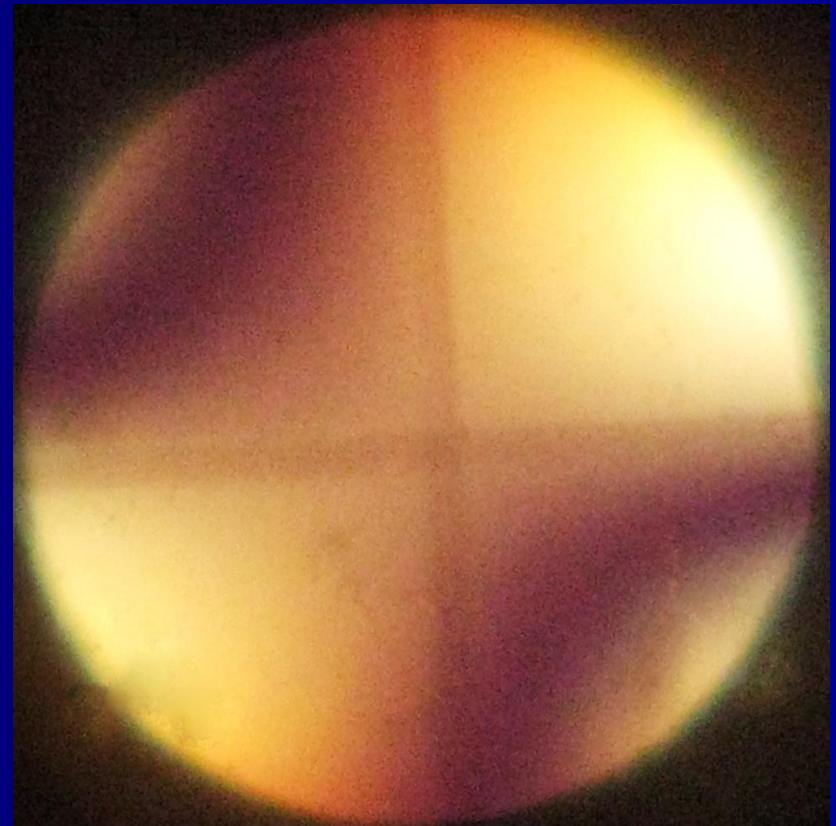


Изменение положения коноскопической фигуры при повороте столика микроскопа.

При повороте столика микроскопа ещё на 45° изогирь вновь сходятся в центре поля зрения.



При повороте столика микроскопа ещё на 45° изогирь вновь расходятся но уже по 2 и 4 квадрантам.



Наблюдаемая коноскопическая фигура в сечении, перпендикулярном к острой биссектрисе, возникает в результате интерференции световых волн при прохождении световых лучей в системе поляризатор - кристалл - анализатор. Направления колебаний электромагнитных волн для любой точки двуосного кристалла определяется правилом Френеля, по которому колебания в каждой точке направлены по биссектрисе угла, составленного прямыми, соединяющими данную точку с выходами оптических осей (рис. 23).

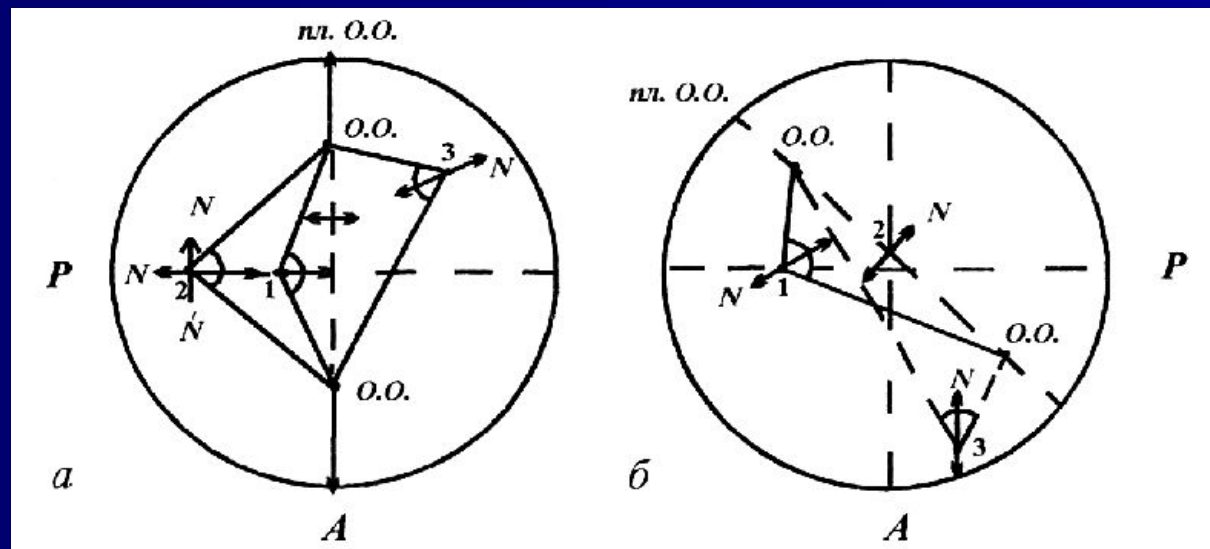


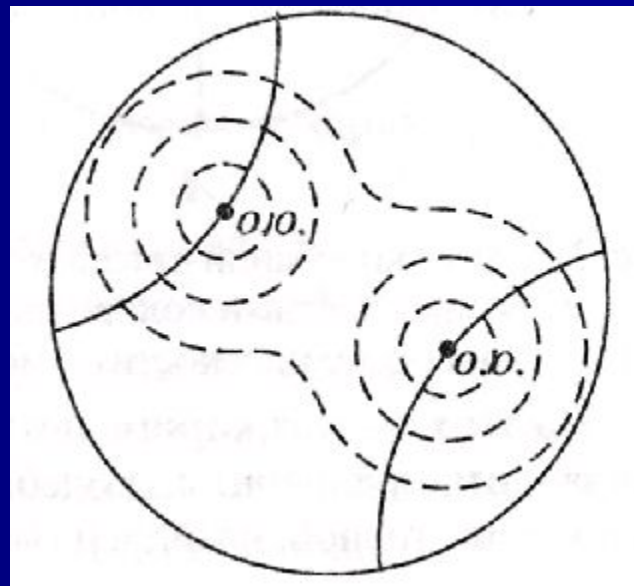
Рис. 23. Схема колебаний в разных точках при совпадении плоскости оптических осей с плоскостями поляризации анализатора (А) и поляризатора (Р) (а) и при повороте плоскости оптических осей на 45° (б).

На этих схемах хорошо видно, что если плоскость оптических осей совпадает с направлениями колебаний пропускаемых поляризатором или анализатором, то любая точка на горизонтальной линии (рис. 23 а) является вершиной равнобедренного треугольника (точки 1,2) с основанием на плоскости оптических осей. Биссектриса вершинного угла совпадает с плоскостью поляризатора, что и дает полное погасание по этому направлению. Вторая ветвь креста располагается по линии плоскости оптических осей, т. к. точки между выходами оптических осей дают развернутый угол в 180° , и все колебания перпендикулярны к этой плоскости. В точке 3 световые колебания в кристалле не совпадают с Р или А, и точка остается освещенной.

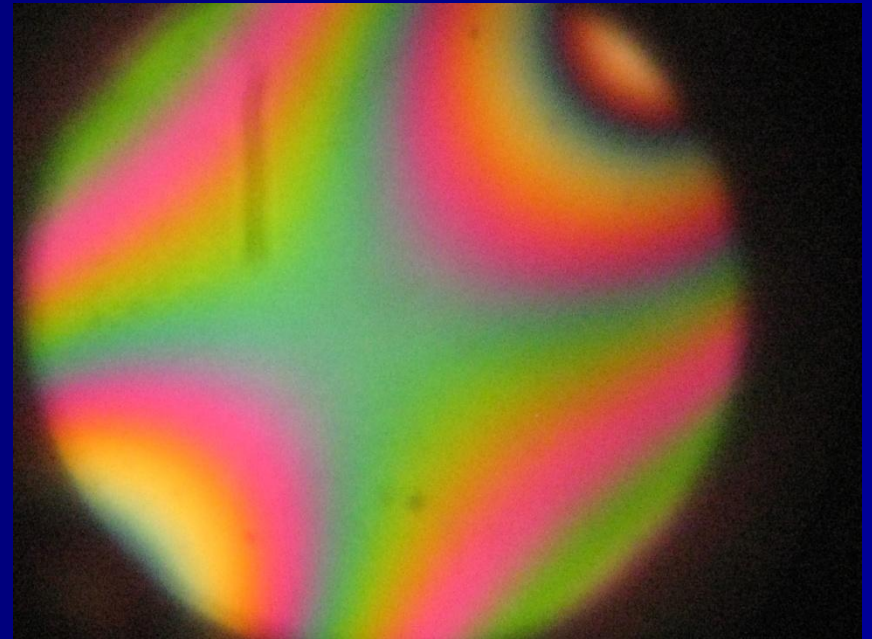
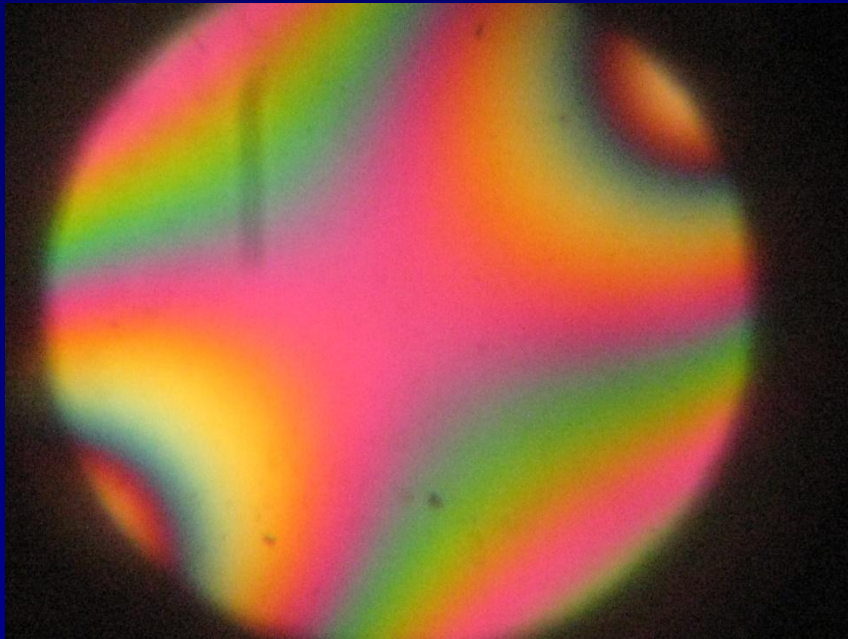
При повороте кристалла крест распадается на две гиперболы, удаляющиеся друг от друга на максимальное расстояние при повороте на 45° . При дальнейшем увеличении угла поворота гиперболы вновь сходятся в крест в тот момент, когда плоскость оптических осей совпадает с плоскостью поляризатора и анализатора. Эти гиперболы

- Чем больше угол оптических осей ($2V$), тем дальше расходятся изогирь. Если при объективах 40х или 60х изогирь при максимальном расхождении останавливаются на краях поля зрения, то это соответствует, приблизительно, $2V=50^\circ$, если расстояние между изогирями равно половине диаметра поля зрения, то это отвечает, примерно, $2V=25^\circ$. На фоне перемещающихся изогирь у минералов, обладающих высоким двупреломлением, появляются цветные фигуры: кольца и восьмеркообразные цветные линии, которые не меняют своей формы, хотя и вращаются вместе с вращением кристалла. Эти цветные фигуры представляют собой изолинии, соединяющие точки с одинаковым двулучепреломлением, они получили название **лемнискаты** (рис.24).

Рис. 24. Сечение индикатрисы, перпендикулярное к острой биссектрисе. Пунктиром показаны лемнискаты.



Лемнискаты мусковита



Возникновение цветных изолиний связано с ростом двупреломления по мере удаления от выходов оптических осей. Если в коноскопической фигуре одноосных минералов это приводит к образованию только концентрических колец вокруг одной оптической оси, то в двуосных минералах встречное нарастание двупреломления ведет к переходу от концентрических колец к восьмеркообразным фигурам подобно изогипсам двувершинного холма на топографических картах. Так как при вращении кристалла расстояние между выходами оптических осей естественно не изменяется, то интерференционная фигура, отображающая распределение точек с одинаковым двупреломлением, сохраняют постоянство своей формы независимо от движения изогир.

Для определения оптического знака минерала нужно развести изогир на максимальное расстояние в направлении прорези для компенсатора (СЗ-ЮВ). Если при введении компенсатора окраска между изогирами повысится, то оптический знак минерала будет положительным, т. к. в горизонтальной плоскости лежит ось N_p , а острой биссектрисой, направленной нам в глаз, является ось N_g (рис. 25 а).

С вогнутой стороны изогир интерференционная окраска понизится (красная, желтая, что ниже малиновой окраски самого компенсатора), т. к. при переходе через выход оптической оси направления колебаний света по N_g и N_p меняются на обратные по сравнению с их ориентировкой между изогирами (см. рис. 26).

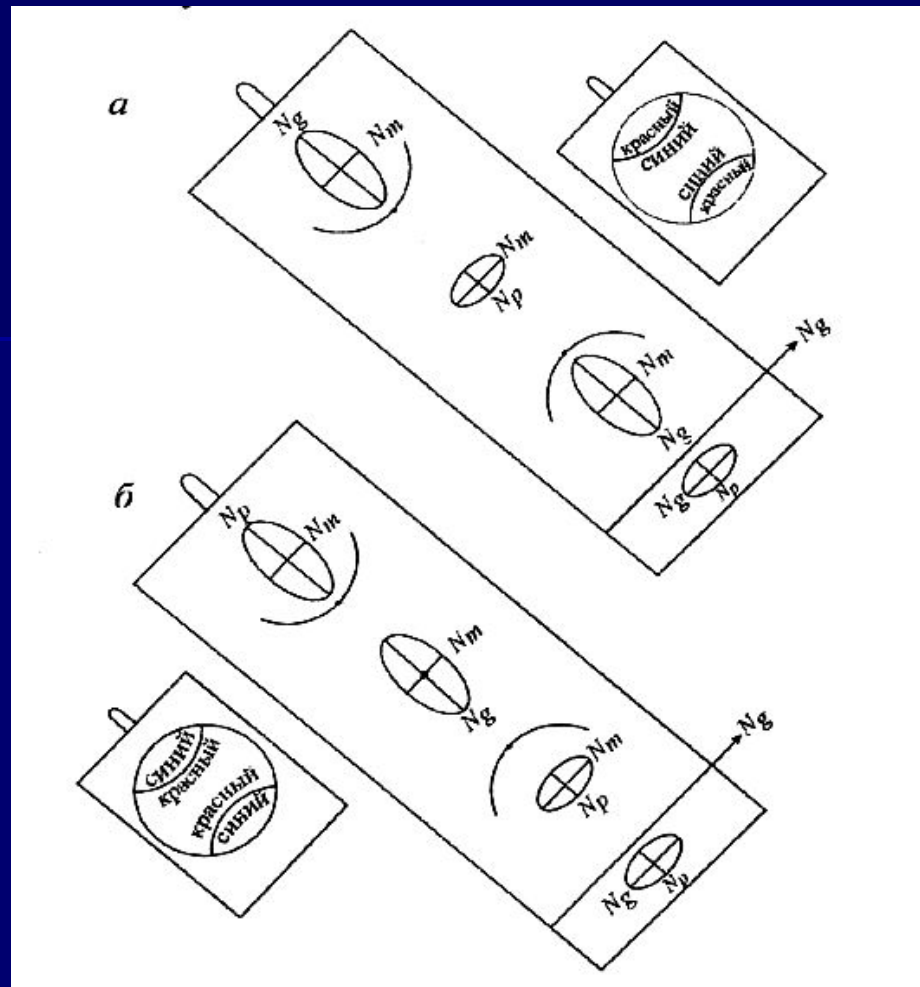


Рис. 25. Определение оптического знака двuosного кристалла, а - минерал оптически положительный; б - минерал оптически отрицательный.

Это естественно, т. к. между оптическими осями в сечении В-В, перпендикулярном к острой биссектрисе в коноскопической фигуре оптически положительного кристалла (рис. 26), нам в глаз направлена ось N_g , а ось N_r является проекцией тупой биссектрисы. В этом же сечении (В-В), справа от оптической оси, в глаз наблюдателю уже направлена ось N_r , а проекция острой биссектрисы N_g' принимает горизонтальное положение.

На рисунке 25 б показаны ориентировка осей индикатрисы и распределение интерференционных окрасок при введенном компенсаторе в случае оптически отрицательного минерала.

На разрезе, перпендикулярном острой биссектрисе, можно определять $2V$ и оптический знак для минералов, у которых величина $2V$ не превышает 60° . При больших значениях $2V$ уже становится почти невозможным отличить сечение, перпендикулярное острой биссектрисе, от сечения, перпендикулярного к тупой биссектрисе, если заведомо не известен оптический знак минерала.

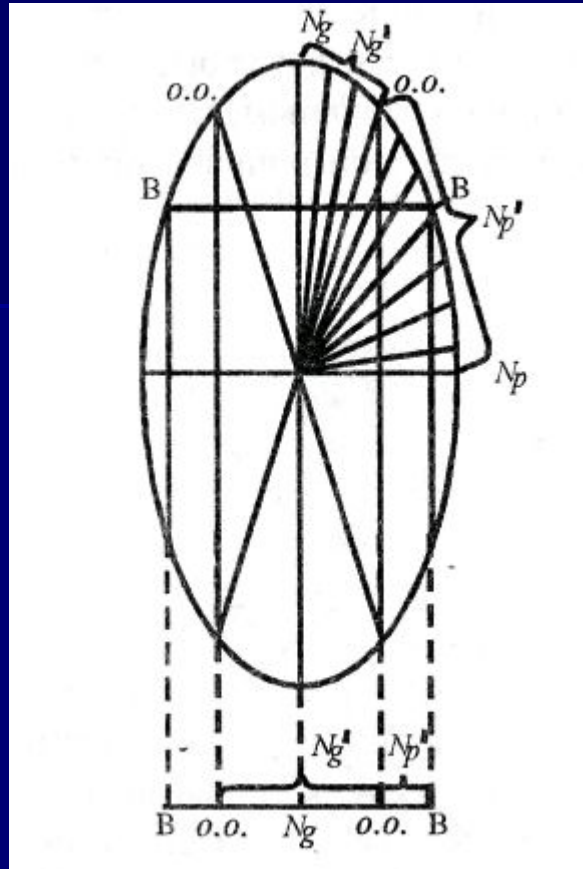
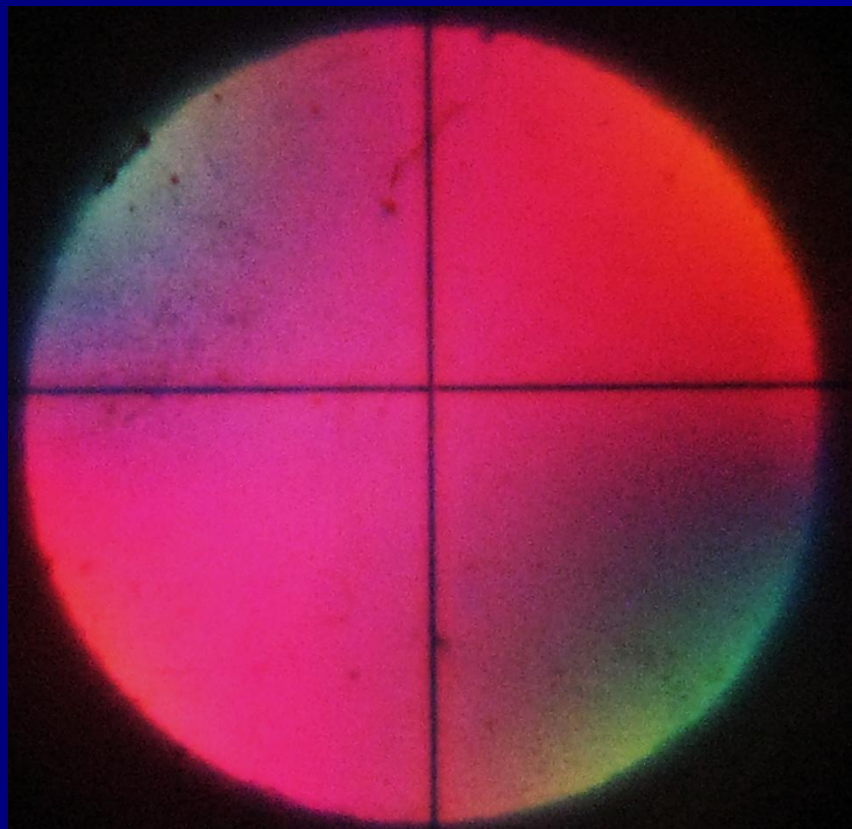
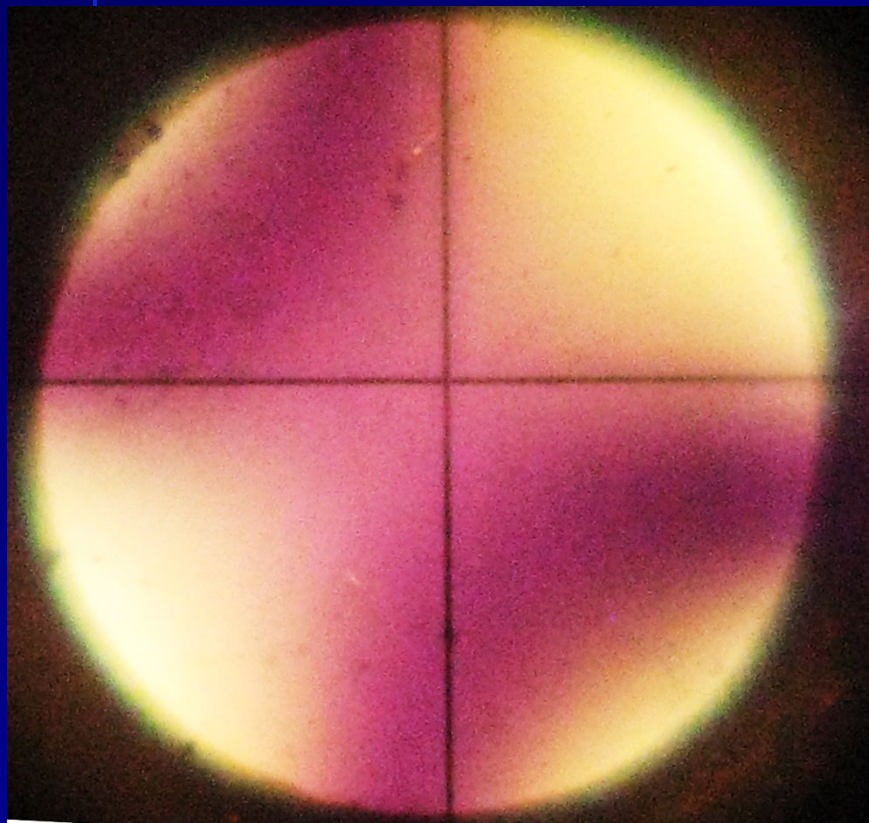


Рис. 26. Схема смены ориентировки осей индикатрисы N_g и N_p при переходе через выход оптической оси от острой биссектрисы к тупой биссектрисе для оптически положительного кристалла. В-В - сечение, перпендикулярное N_g .

Определение оптического знака минерала

Изогиры разводятся в 3 и 4 квадранты, по направлению движения компенсатора.

Вводится компенсатор и наблюдаются цвета интерференции. Повышение их с вогнутой стороны изогир означает, что минерал оптически отрицательный.



Коноскопическая фигура в сечении, перпендикулярном тупой биссектрисе, такая же, как и для острой биссектрисы, но изогирь расходятся на большее расстояние и уходят за пределы поля зрения. Использовать это сечение для наблюдений можно только при уже известном оптическом знаке минерала. Если минерал имеет $2V$ больше 50° (т. е. на разрезе, перпендикулярном острой биссектрисе, при вращении столика микроскопа изогирь уходят за пределы поля зрения), то величину $2V$ и оптический знак нужно определять на разрезе, перпендикулярном оптической оси.

Сечение, перпендикулярное оптической оси.

Это сечение характеризуется отсутствием двупреломления. При скрещенных николях зерна либо черные, либо темно-серые, не изменяющие интерференционной окраски при вращении столика микроскопа. Если минерал окрашен, то в этом сечении он не имеет плеохроизма.

Разрез, перпендикулярный оптической оси, близок к случаю сечения, перпендикулярного острой биссектрисе, а потому расположение осей индикатрисы будет аналогичным (см. рис. 23, 26). Определение оптического знака также аналогично определению в сечении, перпендикулярном острой биссектрисе (рис. 27). Величина угла $2V$ определяется по степени изогнутости изогирь: чем больше изгиб, тем меньше угол $2V$ (рис. 28). Для определения изогнутости изогирь ее нужно установить перпендикулярно или параллельно прорези для компенсатора. Если же изогиря будет поставлена параллельно горизонтальной или вертикальной нити креста окуляра, то, независимо от величины $2V$, изогиря всегда будет представлена прямой балкой, по которой начинающие нередко устанавливают ошибочно угол $2V=90^\circ$.

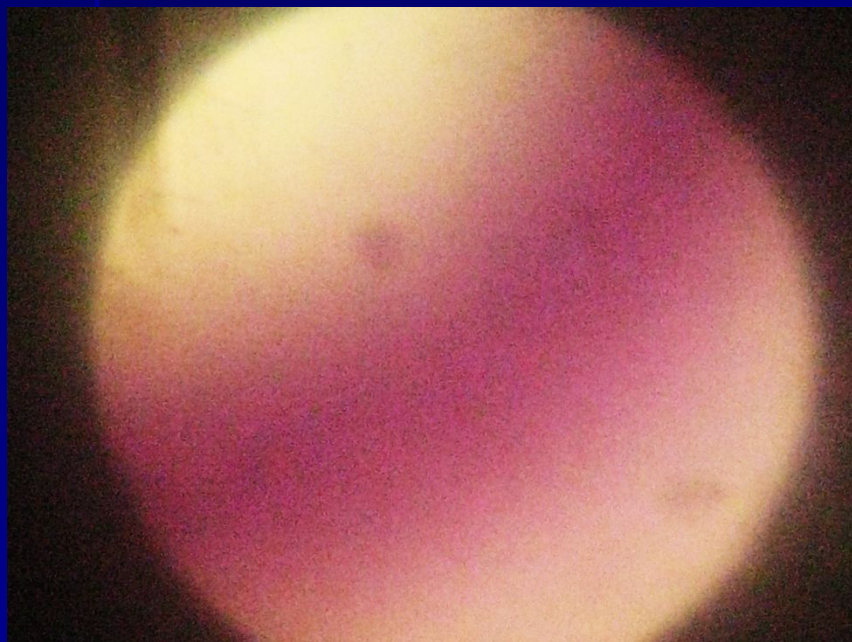
Сечение, параллельное плоскости оптических осей.

Это сечение характеризуется в параллельном свете при скрещенных николях максимальной интерференционной окраской, т. к. в этой плоскости располагаются оси N_g и N_p . В сходящемся свете для этого сечения характерно симметрично окрашенное поле зрения, на фоне которого при вращении столика микроскопа видны два гиперболовидных пятна (иногда довольно отчетливые гиперболы), сходящиеся в центре поля зрения и уходящие за его пределы.

Сечение перпендикулярное оптической оси

В этом сечении наблюдается одна изогиря которая при вращении столика микроскопа последовательно выгибаясь поворачивается около центра поля зрения.

Жёлтые цвета интерференции на вогнутой стороне изогирь и голубые на выпуклой указывают на оптически положительный характер минерала.



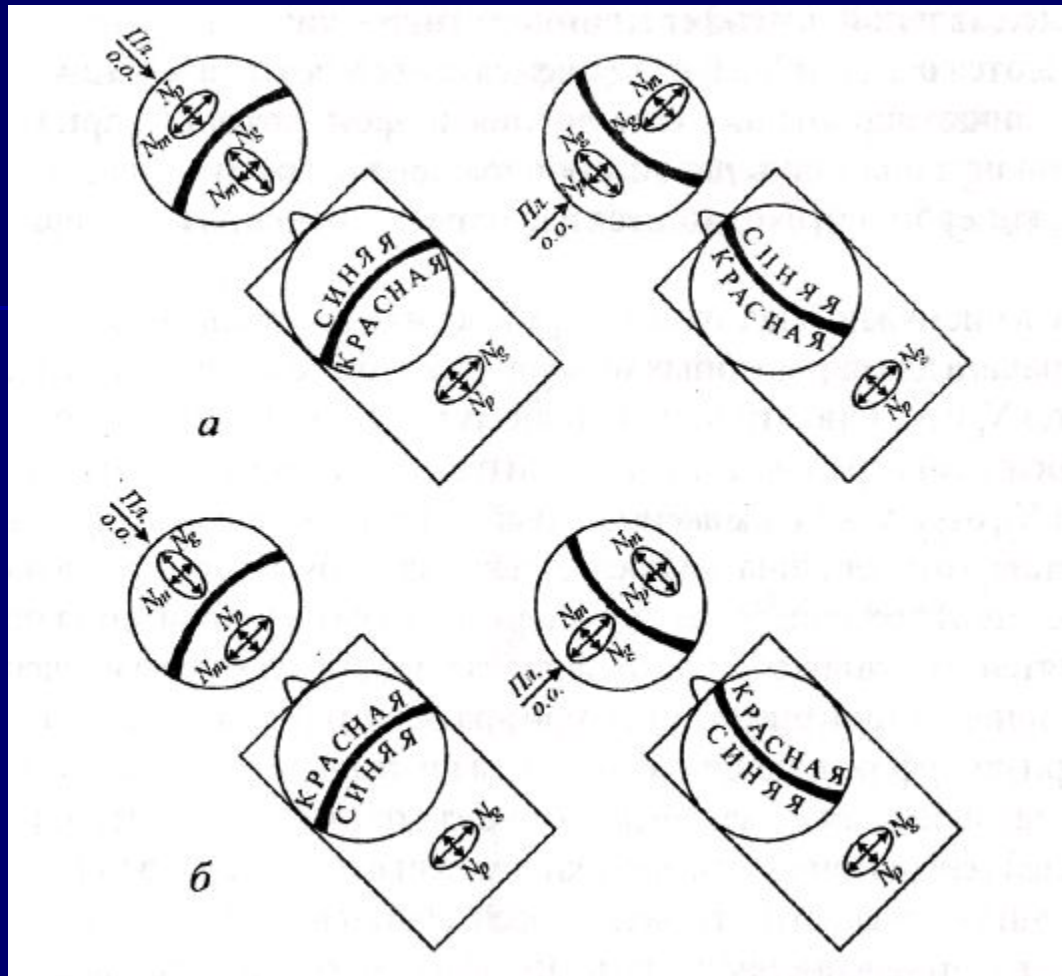


Рис. 27. Определение оптического знака минерала в сечении, перпендикулярном оптической оси, в случаях положительного (а) и отрицательного (б) кристаллов.

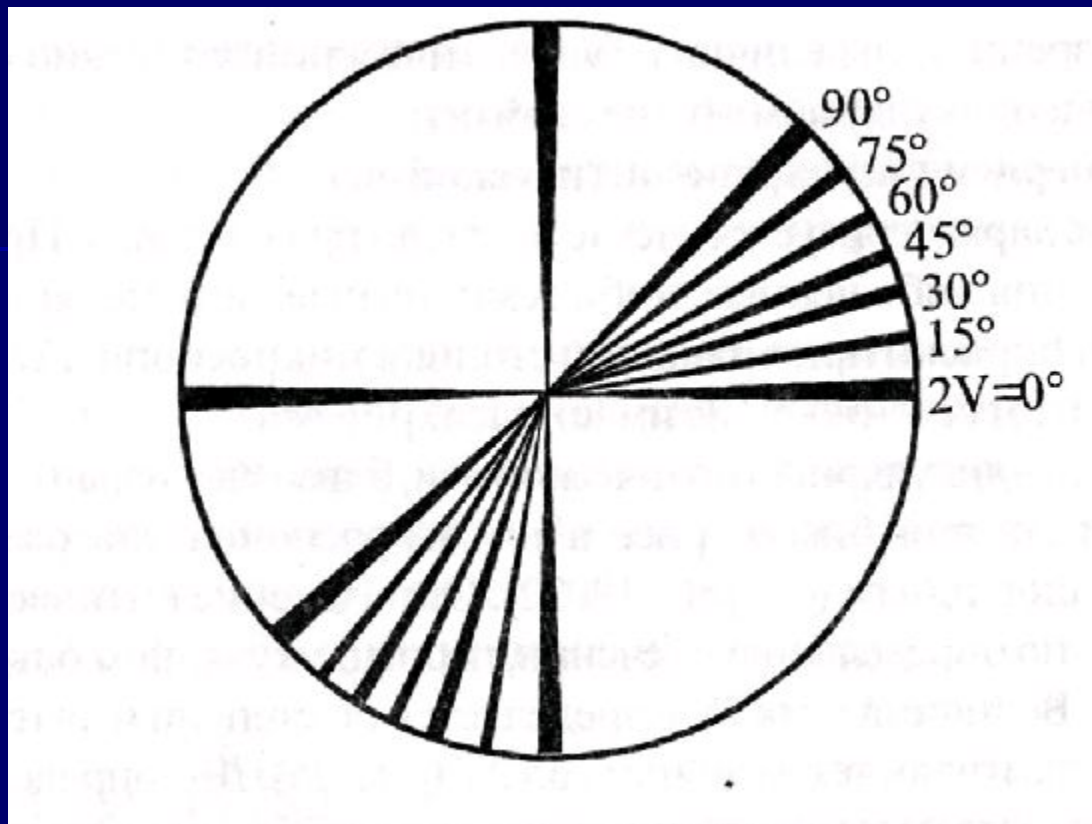


Рис. 28. Определение угла оптических осей $2V$ в сечении, перпендикулярном оптической оси, по кривизне изогирь.

Это сечение нужно для точного определения максимального двупреломления минерала, а для окрашенных минералов в этом сечении определяется плеохроизм по N_g и N_p . Оно относится к одному из трех главных сечений индикатрисы двуосных минералов. Так как в этой плоскости всегда лежат оси индикатрисы N_g и N_p , отражающие максимальный (N_g) и минимальный (N_p) показатели преломления, то и величина двупреломления здесь будет максимальная. В сходящемся свете это сечение будет характеризоваться наличием двух гиперболовидных пятен, сходящихся и расходящихся подобно изогирам в сечении, перпендикулярном острой биссектрисе, при вращении кристалла. Кроме того, это сечение при интерференционных окрасках выше первого порядка, обладает симметрично окрашенным полем зрения в коноскопе (без компенсатора). Чем лучше проявлена симметричность окраски, тем ближе к максимальной параллельности сечение к плоскости оптических осей. Начинаящим исследователям нагляднее всего это явление наблюдать в шлифах у мусковита и оливина.

Если подобная картина наблюдается для найденного кристалла, то это означает, что найденное зерно обладает максимальной интерференционной окраской, а следовательно, и максимальным двупреломлением для данного минерала в данном шлифе.

Определение дисперсии угла оптических осей

Дисперсия угла оптических осей зависит от дисперсии показателей преломления. Некоторые минералы имеют изменяющиеся показатели преломления в зависимости от длины волны монохроматического света. Если при этом изменении показателей преломления изменяется и соотношение показателя преломления N_m с показателями преломления N_g и N_r то возникает дисперсия угла оптических осей: угол оптических осей ($2V$) для света разной длины волны будет различен.

У одних минералов угол $2V$ для красных лучей (длинноволновая часть спектра) больше, чем для фиолетовых лучей (коротковолновая часть спектра), у других минералов - наоборот. Эта дисперсия в коноскопической фигуре проявляется в подкрашивании краев изогриы с вогнутой и выпуклой сторон в синеватые и красноватые оттенки.

Дисперсия оптических осей определяется без компенсатора и никак не влияет на определение оптического знака с помощью компенсатора. Появление цветных оттенков около изогриы объясняется следующим образом. В точке выхода оптической оси для красных лучей красная часть спектра белого света будет погашена, т. к. оптическая ось - это направление, по которому отсутствует двупреломление (в данном случае для красных лучей), а синяя часть спектра в этой точке будет проявлена максимально (рис. 29).

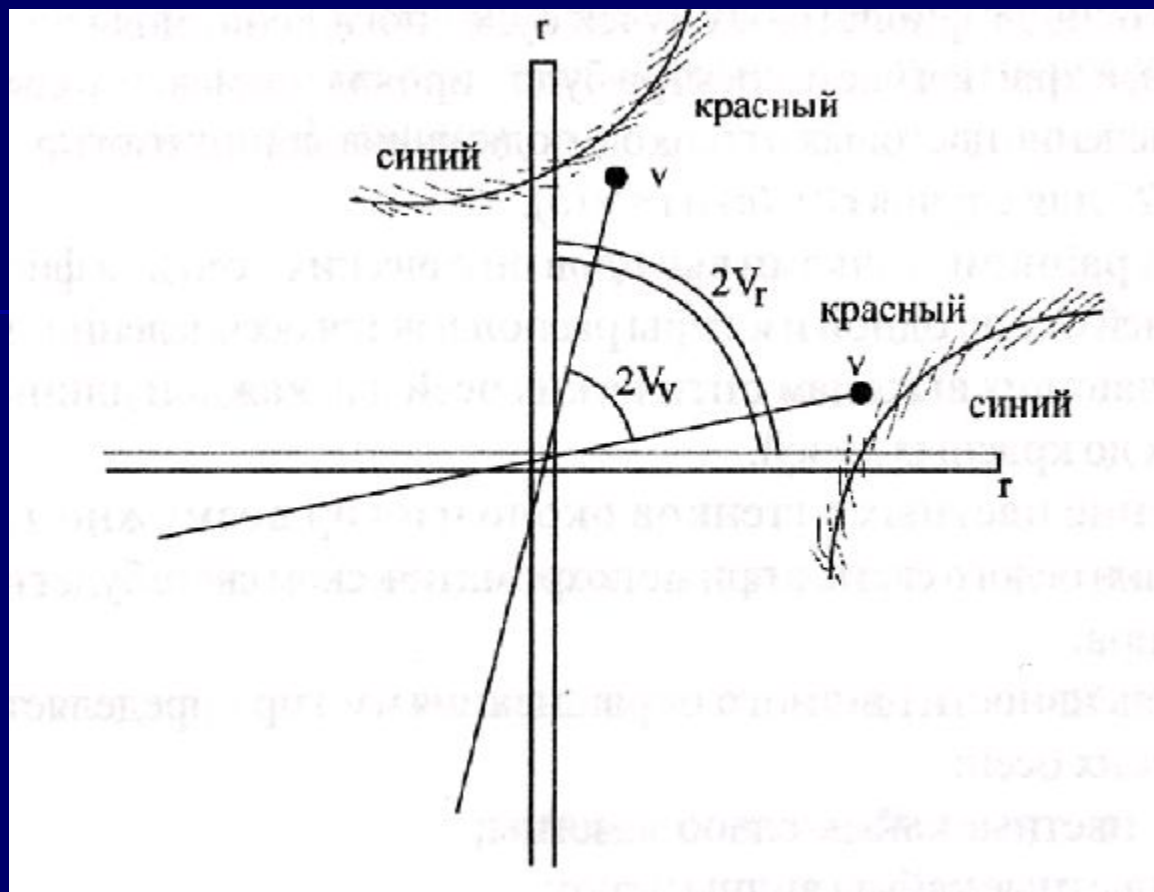


Рис. 29. Соотношение точек выхода оптических осей r и v с цветными оттенкам около изогир для случая $r > v$.

В точке выхода оптической оси для фиолетовых лучей будет погашена синяя часть спектра белого света, а красная часть спектра будет проявлена максимально.

Распределение цветовых оттенков, подкрашивающих изогирь, показано на рисунке 30 для случая $r > v$ (а) и $r < v$ (б).

Между крайними точками выходов оптических осей для фиолетовых и красных лучей около одной изогирь располагается бесчисленное множество точек, отвечающих выходам оптических осей для каждой длины волны от фиолетовых до красных лучей.

Появление цветных оттенков около изогирь возможно только при использовании белого света, а при монохроматическом свете будет видна лишь черная изогирь.

По интенсивности цветного окрашивания изогирь определяется дисперсия оптических осей:

- слабая - цветные каймы слабо заметны;
- ясная - цветные каймы видны четко;
- сильная - каймы четкие и широкие;
- очень сильная - черной изогирь не видно, наблюдается непрерывный переход от красных окрасок к синим;
- чрезвычайно сильная - черной изогирь нет, цвета разных длин волн резко разграничены.

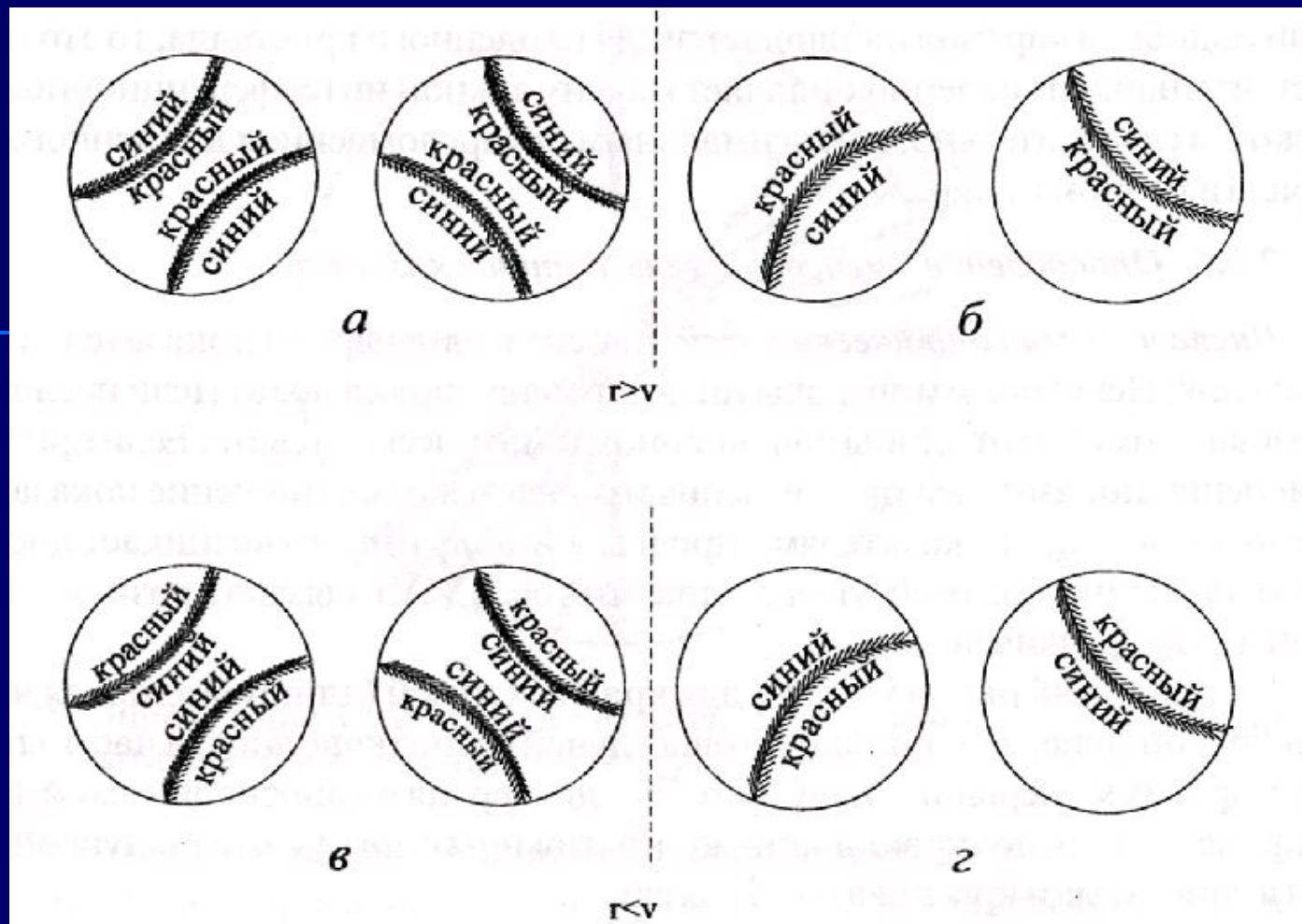


Рис. 30. Распределение оттенков, подкрашивающих изогирь в случаях $r > v$ (а, б) и $r < v$ (в, г) на разрезах, перпендикулярных к острой биссектрисе (а, в) и оптической оси (б, г).

В случае, когда дисперсия у одной оптической оси меньше, чем у другой, такая дисперсия называется *наклонной* (рис. 31). Подобная дисперсия характерна для геденбергита.

У кристаллов триклинной сингонии может наблюдаться несовпадение выходов оптических осей и биссектрис по отношению к кристаллографическим направлениям, что вызывает появление *асимметричной* дисперсии оптических осей, а во всех сечениях кристалла угол погасания для различных цветов, т. е. различных длин волн, различен - это уже *дисперсия биссектрис*, которая проявляется и в минералах моноклинной сингонии. Примером проявления дисперсии биссектрис у моноклинных минералов может служить представитель щелочных амфиболов - арфедсонит.

Рис. 31. Наклонная дисперсия оптических осей.

