

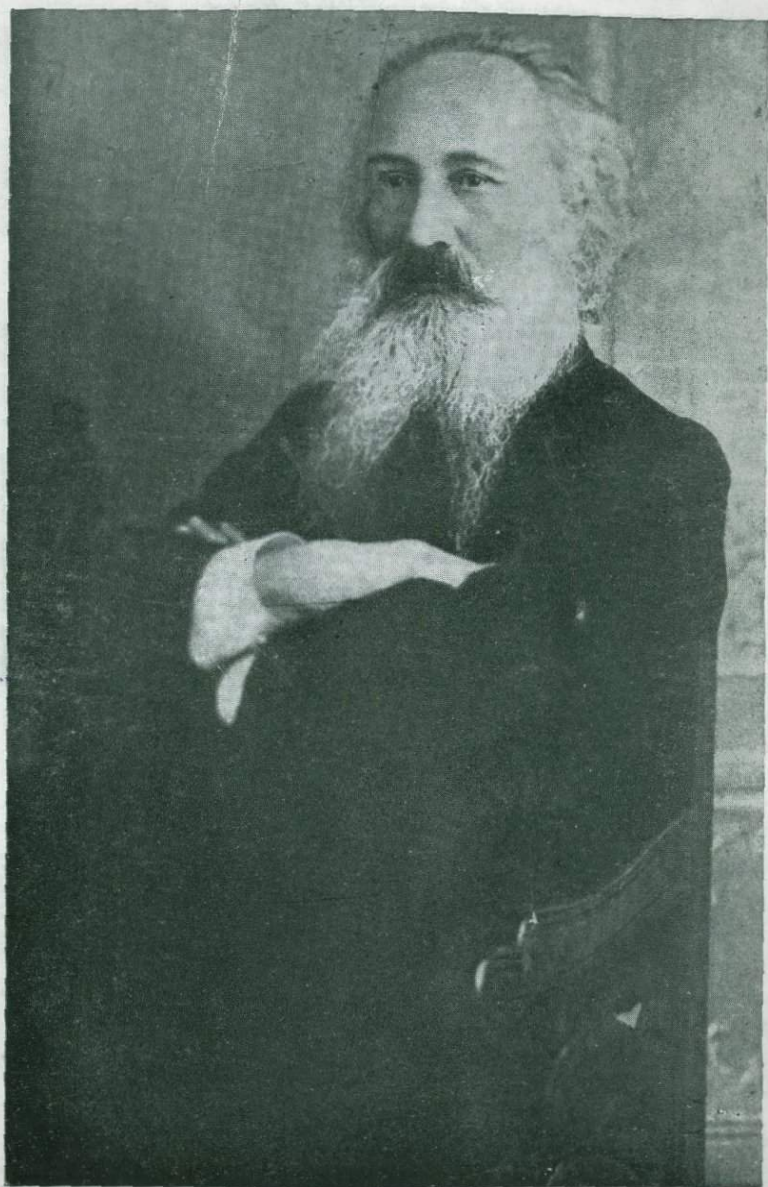
А. К. ПОДНОГИН

ИЗДАНИЕ ПЕРВОЕ  
ПЕЧАТАНО В МОСКВЕ  
В 1900 ГОДУ В С. ФЕДОРОВ

СП. П. П.

ИЗДАНИЕ ПЕРВОЕ





*Академик Евграф Степанович Федоров*

А. К. ПОДНОГИН  
Доц. Уральского Горного института

535.549:550.8(041.1)  
1744

549.12  
553.12

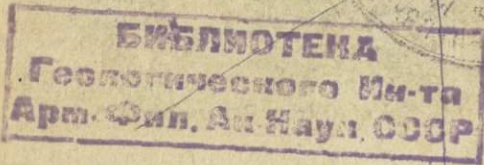
# МИКРОСКОПИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПОРОДООБРАЗУЮЩИХ МИНЕРАЛОВ

По методу Е. С. Федорова

Издание 2-е

Допущено в качестве учебного пособия  
Главным управлением учебными  
заведениями НКТП СССР в 1937 г.

1906  
634



ОНТИ · НКТП · СССР  
ГЛАВНАЯ РЕДАКЦИЯ  
ГЕОЛОГО-РАЗВЕДОЧНОЙ И ГЕОДЕЗИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ  
ЛЕНИНГРАД · 1937 · МОСКВА

Книга горного инженера А. К. ПОДНОГИНА посвящена Федоровскому методу — универсальному методу микроскопического исследования породообразующих минералов.

Книга является учебным пособием для студентов геолого-разведочных вузов и практическим пособием для специалистов-петрографов.

#### ОТ ИЗДАТЕЛЬСТВА

Второе издание книги А. К. Подногина „Микроскопическое исследование породообразующих минералов по методу Федорова“ выходит без каких либо изменений и дополнений текста первого издания. Приложения же дополнены диаграммой угла оптических осей  $2V$  {плагиоклазов (см. табл. 8), заимствованной из работы В. В. Никитина „Новые диаграммы для определения полевых шпатов универсальным методом Федорова“ (издание Рос. минералогического общества и Федоровского ин-та, 1929 г.).

Рецензент проф. *О. М. Аншлес.*  
Технический редактор *Н. В. Гусев.*

Ответственный редактор *И. Ф. Романов.*  
Корректор *В. Острогский.*

Издат. № 389. Сдано в набор 9/VI 1937 г. Подписано к печати 1/VII 1937 г.  
Бум. листов  $3\frac{3}{8}$  + 20 вкл. Учетно-авт. л. 11,34. Формат 62×94. Колич. печ. знаков в 1 бум. л. 114816. Леноблгорлит № 3429. Тираж 3000 экз. Заказ № 2153.

4-я тип. ОНТИ НКТП СССР „Кр. Печатник“. Ленинград, Международный пр., 75а.

## ПРЕДИСЛОВИЕ АВТОРА.

Универсально-оптический метод определения порообразующих минералов и главным образом полевых шпатов, творцом которого является русский ученый, академик Евграф Степанович Федоров, в настоящее время получил широкое распространение среди петрографов и геологов не только в СССР, но и за границей.

Преподавание этого метода введено во многих геолого-разведочных вузах, но к сожалению до сих пор почти совершенно не имеется по нему надлежащих руководств и пособий на русском языке, хотя честь разработки этого метода принадлежит русским ученым.

Исходящая на русском языке капитальная работа, посвященная этому методу, В. В. Никитина, под названием „Универсальный метод Федорова“, выпущенная в литографском издании Ленинградским горным институтом в 1912 г. в весьма ограниченном количестве экземпляров, и работа М. А. Усова „Федоровский или универсально-оптический метод исследования порообразующих минералов, в особенности полевых шпатов“, напечатанная в Известиях Томского технологического института, т. 22, 1911 г., по своему объему являются непосильными для только что приступающих к изучению этого метода и не приспособлены в качестве учебных пособий.

Кроме того указанные работы были выпущены в печать в весьма ограниченном количестве и являются теперь большой редкостью.

В течение ряда лет мне пришлось вести занятия со студентами Геолого-разведочного отделения бывш. Уральского-политехнического института по Федоровскому методу, имея один экземпляр работы В. В. Никитина на группу студентов в 15 человек. Как студентами, так и преподавателем ощущалась огромнейшая потребность в таком пособии, по которому приступающий к изучению этого метода мог бы самостоятельно разобраться в нем и усвоить те основные приемы работы на Универсальном столике Федорова, которыми приходится пользоваться при определении важнейших геометрических и оптических констант порообразующих минералов, в особенности полевых шпатов.

Чтобы облегчить работу студентов, весь курс по Федоровскому методу был разбит на ряд задач, расположенных в систематическом порядке. К каждому новому занятию составлялось систематическое описание в последовательном порядке всех главнейших операций при работе на Универсальном столике, которые необходимо проделать при решении данной задачи. Перед задачей давались небольшие теоретические предпосылки для того, чтобы приступающему к изучению этого метода был понятен смысл проделываемых им отдельных приемов и операций.

Все задачи, собранные в одно целое, и послужили материалом для издания предлагаемого практического руководства для изучения Универсально-оптического метода Федорова.

Первое издание настоящего руководства вышло в 1928 г. в стеклографическом издании студенческого Научно-горно-технического кружка Уральского политехнического института (У. П. И.) в весьма ограниченном количестве экземпляров. Следует сказать, что первое издание (литографированное) вышло из печати без корректуры автора, вследствие чего в него вкрались опечатки и неправильности в исполнении некоторых чертежей.

В Научно-горно-технический кружок У. П. И. и лично к автору поступали многочисленные просьбы со стороны студентов вузов и геологов с производства о высылке настоящего пособия.

Учитывая нужду в этом пособии, мною предлагается настоящее издание, которое в основном почти полностью повторяет первое издание.

В этом издании исправлены замеченные опечатки и неправильности, вкравшиеся при исполнении некоторых чертежей, а некоторые параграфы переработаны вновь.

Кроме того это издание дополнено новыми параграфами, посвященными методике определения на Универсальном столике существенно калиевых полевых шпатов, пироксенов, амфиболов и изложением систематического хода их исследования.

Для определения существенно калиевых полевых шпатов прилагается особо выделенная „Диаграмма геометрических элементов существенно калиевых полевых шпатов, отнесенных к осям оптической индикатриссы“, заимствованная из новейшей диаграммы В. В. Никитина, издание Росс. минералогического общества и Федоровского института „Новые диаграммы для определения полевых шпатов Универсальным методом Федорова“.

При составлении настоящего руководства была использована, по мере возможности, следующая, оказавшаяся под рукою, литература на русском языке: В. В. Никитин „Универсальный метод Е. С. Федорова“, вып. I и II, С. Петербург, 1912. П. П. Сущинский и Г. Л. Пузырев „К методике определения плагиоклазов способом Е. С. Федорова и Фукэ“. Труды Геологического и Минералогического музея Академии наук, т. V, вып. 7. Ленинград, 1926. М. А. Усов „Федоровский или универсально-оптический метод исследования породообразующих минералов, в особенности полевых шпатов“. Изв. Томск. техн. инст., т. 22, 1911. В. Н. Лодочников „Основы микроскопических методов исследования кристаллического вещества“, 1930. На немецком языке: М. Berek „Mikroskopische Mineralbestimmung mit Hilfe der Universal-drehetischmethoden“, Berlin, 1924. К сожалению к настоящему руководству из-за технических трудностей издательства не могут быть приложены некоторые диаграммы; в связи с этим рекомендуется приобрести новейшие диаграммы для определения полевых шпатов В. В. Никитина, издание Росс. минералогического общества и Федоровского института под названием: „Новые диаграммы для определения полевых шпатов Универсальным методом Федорова“.

Вероятно настоящее пособие, являющееся первой попыткой дать практическое руководство для изучения Федоровского универсально-оптического метода исследования породообразующих минералов, обладает недостатками и неясностями, за указания которых буду весьма признателен.

## § 1. ОПИСАНИЕ УСТРОЙСТВА УНИВЕРСАЛЬНОГО СТОЛИКА.

Основание Универсального столика (см. рис. 1) представляет собой плоское металлическое кольцо  $Q$ , на котором имеются диаметрально противоположные две вертикальные стойки, заканчивающиеся цапфами  $CC$ . В цапфы вставляется ось  $II$ , несущая кольцо  $K$ , на котором у одного конца оси расположен нониус. На другом конце имеется вертикальный лимб  $I$ , разделенный на  $360^\circ$ , и рукоятка для вращения кольца вокруг этой оси. На стойке, против вертикального лимба, укреплен нониус  $l$  для отсчета угла поворота и винт  $i$  для зажима оси (его на рисунке не видно, так как он на другой стороне).

Ось вращения автор столика, Е. С. Федоров, назвал осью  $I$ .<sup>1</sup>

Деления на лимбе оси  $I$  нанесены через один градус со счетом против часовой стрелки, если смотреть на лимб со стороны рукоятки.

В кольцо  $K$ , вращающееся вместе с осью  $I$ , вставляется другое кольцо  $M$ , которое может в нем свободно вращаться в своей плоскости. Это кольцо по внешней окружности разделено на  $360^\circ$ . Деления надписаны против часовой стрелки.

Кольцо несет на себе две цапфы  $HH$ , расположенные диаметрально против делений  $0-180^\circ$  кольца  $M$ , на одной из которых имеется зажим  $h$ . На том же кольце  $M$  против делений  $90-270^\circ$  привинчиваются на шарнирах две дуги, которые во время работ по мере надобности приподнимаются, и тогда они лежат в плоскости, перпендикулярной к плоскости кольца  $M$ , проходящей через деления  $90-270^\circ$  кольца  $M$ .

На дугах с одной стороны нанесены деления через один градус от  $0$  до  $60^\circ$ . Ось вращения кольца  $M$  названа осью  $M$ ,<sup>2</sup> она должна быть перпендикулярна к оси  $I$ . Для того чтобы кольцо  $M$  не могло вращаться,

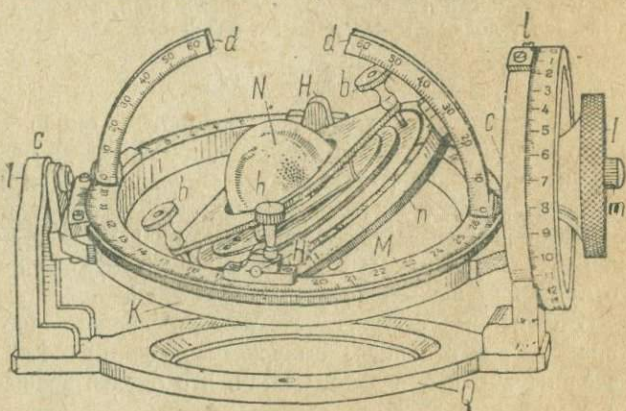


Рис. 1.

<sup>1</sup> Immobilachse — неподвижная ось.

<sup>2</sup> Mobilachse — подвижная ось.

когда это не нужно, имеется зажим  $m$ , который помещается в центре рукоятки оси  $I$ .

В имеющиеся на этом кольце цапфы  $hh$  вставляется ось, названная осью  $H$ ,<sup>1</sup> несущая на себе кольцо  $n$ , на внутренней окружности которого нанесены через один градус деления, надписанные по часовой стрелке от 0 до 360°, причем деления его 0 и 180 совпадают с концами оси  $H$ , а 0° кольца  $n$  всегда совпадает с делением 180° кольца  $M$ . Таким образом кольцо  $n$  вращается около оси  $H$  и может быть остановлено в любом положении, если закрепить ось  $H$  при помощи имеющегося на одной из цапф этой оси зажима  $h$ .

Угол наклона кольца  $n$  около оси  $H$  отсчитывается по дугам  $dd$ , прикрепленным шарнирно к кольцу  $M$ , которые для отсчета приподнимаются на время работы; при этом плоскость их всегда перпендикулярна оси  $H$ .

В большинстве старых моделей столика, однако еще имеющих в употреблении, такие дужки отсутствуют. В этих случаях отсчет по оси  $H$  следует производить следующим образом. Закрепив зажим  $h$  и опустив зажим  $m$ , поворачиваем кольцо вокруг оси  $M$  до того, как ось  $H$  станет параллельна оси  $I$ . Вынимаем объектив и включаем линзу Бертрана. Наклоняем столик около оси  $I$  до тех пор, пока край кольца  $n$  будет виден в трубу и совместится с горизонтальной нитью окуляра. В этом случае общий угол наклона вокруг  $I$  и  $H$  равен 90°. Берем отсчет по лимбу  $I$ . Искомый отсчет по  $H$  получим из равенства  $H = 90^\circ - I$ .

Если вместо нуля на лимбе  $I$  равно не 0, а  $a$  градусов (см. ниже), то суммарный отсчет должен быть не 90°, а  $90^\circ + a$ ,

$$H = (90^\circ + a) - I$$

Очевидно, если кольцо  $n$  поворотом около оси  $H$  будет наклонено влево от наблюдателя, то отсчет придется взять по правой дуге и наоборот.

Внутри кольца  $n$  вставляется стеклянный диск с металлической оправой, который может вращаться свободно около нормали к своей плоскости.

Эту ось называют осью  $N$  (Normalachse), так как она всегда будет нормальна к плоскости диска  $n$ , а следовательно и к плоскости шлифа, который помещается на стеклянный диск.

В некоторых столиках стеклянный диск прочно связан с металлической оправой, а в столиках, выпускаемых фирмой Leitz, он вставляется перед началом работы отдельно, но так, что оправа вращается около оси  $N$  вместе со стеклянным диском.

Необходимым условием при конструкции столика является следующее: чтобы ось  $I$  и ось  $H$  лежали в плоскости стеклянного диска и все три оси  $H$ ,  $I$  и  $M$  пересекались в одной точке — центре стеклянного диска.

На середину стеклянного диска, при помощи капельника, спускается капля глицерина, на которую осторожно накладывается шлиф, покровным стеклом вверх.<sup>2</sup> Это делается таким образом: шлиф ставят на ребро, чтобы оно касалось края капли, и осторожно опускают его в сторону капли. При таком наклеивании шлифа легче всего избежать появления пузырьков воздуха в глицерине, которые будут мешать работе. Если при наклейке шлифа оказались пузырьки воздуха, то, добавив глицерина, следует наклеить шлиф снова.

Положив шлиф и убедившись в отсутствии пузырьков воздуха в слое глицерина, спускают каплю глицерина на нижнюю часть верхнего сегмента,

<sup>1</sup> Hilfachse — вспомогательная ось.

<sup>2</sup> В новых конструкциях столиков, выпускаемых фирмой Leitz.

осторожно накладывают его на шлиф и привинчивают сегмент при помощи имеющихся винтов  $b$  к металлической оправе стеклянного диска. Шлиф прижимается сегментом к столику настолько, чтобы при наклонении столика он не скользил под сферой.

Не следует применять больших усилий привинчивая сферу, так как можно легко раздавить шлиф или, еще хуже, стеклянный диск столика.

При помощи указанных винтов верхней сферы производится вращение препарата около оси  $N$ . Прикрепив верхнюю сферу и освободив винт  $i$ , поворачиваем препарат около оси  $I$  на  $180^\circ$ , спускаем каплю глицерина на нижнюю сторону стеклянного диска и приклеиваем нижнюю сферу, поворачивая ее за имеющиеся держалки так, чтобы пружины плотно прижимали сферу к стеклянному диску.

При наклейке шлифа и сфер с глицерином нужно быть очень осторожным. Не брать избыток глицерина и тщательно следить за тем, чтобы глицерин не попал на металлические, особенно трущиеся части. Попадая в пазы, где вытереть его невозможно без разборки столика, он с течением времени, хотя и медленно, действует на металл, разъедает его и может испортить столик. Особенно в опасном положении в этом отношении находится оправка стеклянного диска, вращающаяся около оси  $N$ , ибо она ближе всего расположена к шлифу, а следовательно и к глицерину.

Таким образом шлиф, при помощи Универсального столика, имеет вращение около четырех осей:

- 1) вокруг оси  $N$  — всегда нормальной к плоскости шлифа и перпендикулярной к оси  $H$ ;
- 2) вокруг оси  $H$  — всегда лежащей в плоскости шлифа и перпендикулярной к осям  $M$  и  $N$ ;
- 3) около оси  $M$  — всегда перпендикулярной к осям  $I$  и  $H$ ;
- 4) около оси  $I$  — всегда перпендикулярной к оси  $M$  и оптической оси микроскопа.

Кроме того весь столик может вращаться около оси  $A$  предметного столика микроскопа, совпадающей с оптической осью микроскопа при центрированном столике.

Все эти оси вращения должны проходить через одну точку — центр стеклянного диска.

Как видно из устройства столика, при совмещении плоскости стеклянного диска  $n$  с плоскостью кольца  $M$  ось  $N$  должна совпадать с осью  $M$ , а ось  $H$  относительно оси  $I$  может занимать какие угодно положения в плоскости кольца  $M$ , и оси  $H$  и  $I$  могут быть совмещены. Вращениями вокруг разных осей мы можем дать исследуемому зерну произвольное положение в пространстве, поэтому метод определения констант минералов при помощи Универсального столика автором его Е. С. Федоровым назван *теодолитным* методом.

## § 2. ПРОВЕРКА СТОЛИКА И УСТАНОВКА ЕГО

### В ОСНОВНОЕ ПОЛОЖЕНИЕ.

Прежде чем приступить к работе на Универсальном столике, необходимо его проверить и установить в основное положение; для этого сначала необходимо:

А) проверить микроскоп, на столике которого привинчивается Универсальный столик (рис. 2), и затем

Б) проверить самый столик Ф<sup>1</sup> и его установку.

## А. Проверка микроскопа.

Проверка микроскопа будет заключаться в следующем:

1) Прежде всего нужно посмотреть, вынув окуляр, отчетливо ли видны нити окулярного креста. Для этого, смотря в окуляр на светлый предмет, например на лист белой бумаги или на небо, передвигаем верхнюю линзу окуляра так, чтобы изображение нитей было видно отчетливо.

2) Установив нити на ясность, необходимо проверить их взаимную перпендикулярность, для чего помещаем на столик микроскопа стекло, на котором алмазом проведена прямая линия. Вставив объектив,<sup>2</sup> наводим на фокус, чтобы черта была видна ясно; перемещением предмета по столику совмещаем черту с одной из нитей окуляра и делаем на столике отсчет. Поворачивая столик на 90°, смотрим — совпадает ли черта (или параллельна, если столик не центрирован) с другой нитью окуляра или нет. Если совпадает (или параллельна), то нити перпендикулярны. В противном случае нужно отдать мастеру исправить их (самому же окуляра не разбирать).

3) Выполнив предыдущие проверки, необходимо убедиться, совпадает ли ось вращения предметного столика с оптической осью микроскопа, т. е. центрирован столик или нет.

Для этого помещаем на столик микроскопа шлиф, замечаем какую-нибудь точку в шлифе и движением шлифа по столику совмещаем ее с пересечением нитей. Вращая столик, смотрим, если точка с пересечения

нитей не сходит, то столик центрирован, в противном случае точка при полном обороте опишет окружность, вернувшись снова в пересечение нитей. Центр этой окружности и будет ось вращения столика (рис. 3).

Рис. 2.

<sup>1</sup> Ф — сокращенно, вместо „Федорова“.

<sup>2</sup> При работе с Федоровским столиком можно пользоваться только объективами: № 0, № 1 и № 2 и специальным объективом 3 Н.

Вращаем столик еще раз, замечаем крайнее положение точки от точки пересечения нитей креста и перемещаем ее к пересечению нитей, при помощи двух винтов, имеющих у объектива, на половину расстояния. Теперь центр окружности будет совпадать с оптической осью микроскопа. Поместив снова, движением шлифа, намеченную точку в пересечение нитей, вращаем столик. Если при этом точка остается на месте, столик центрирован, в противном случае повторяем операцию.

4) Теперь нужно определить направление колебаний лучей в николях (анализаторе и поляризаторе) и установить их так, чтобы направления колебаний лучей в поляризаторе были параллельны вертикальной, а в анализаторе — горизонтальной нитям окуляра (можно и наоборот).

В большинстве современных микроскопов (фирмы Leitz) плоскость колебания лучей в поляризаторе (в нижнем николе) совмещают с вертикальной нитью креста, а анализатора — с горизонтальной (николи скрещены). Это делается при помощи турмалина или биотита. На предметное стекло кладут пластинку турмалина, вырезанную из кристалла параллельно оптической оси (оси симметрии  $L^3$ ), или, что то же, параллельно грани тригональной или дитригональной призмы и совмещают ее длинное ребро с горизонтальной нитью. Вращаем поляризатор (анализатор, конечно, должен быть выключен) до максимального потемнения (наиболее густой окраски) пластинки. В этом случае плоскость колебания лучей, выходящих из поляризатора, перпендикулярна к длинному ребру пластинки турмалина, т. е. к его оптической оси, и следовательно параллельна вертикальной нити креста.

В новых моделях микроскопа Leitz, марки SM, специально приспособленных для работы со столиком Ф, николи обычно расположены так, что по выходе из поляризатора колебания в поляризованном луче совершаются нормально к плоскости симметрии микроскопа, следовательно в этом случае интенсивная окраска турмалина будет наблюдаться при совпадении длинного размера пластинки с вертикальной нитью. Так как пластинка турмалина не всегда имеется под рукой, указанная проверка положения поляризатора легко совершается при помощи биотита в сечениях с ясно видимой спайностью, минерала, весьма распространенного в горных породах. При указанном направлении колебаний поляризованного луча наиболее густая окраска будет наблюдаться при штрихах спайности биотита, параллельных горизонтальной нити, т. е. перпендикулярных плоскости симметрии микроскопа.

Однако нужно иметь в виду, что в некоторых редких случаях, а именно в щелочных породах и лампрофирах, биотит не годится для установки николей, так как максимальное потемнение иногда происходит под некоторым углом к спайности.<sup>1</sup>

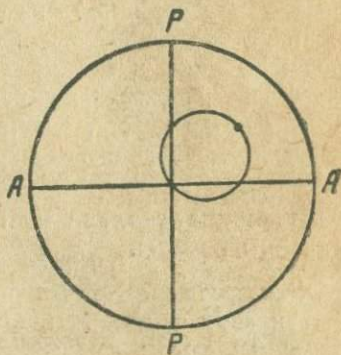


Рис. 3.

<sup>1</sup> Есть и другие простые способы проверки положения плоскости колебаний в николях. Подробности см. учебник В. Н. Лодочникова. Основы микроскопических методов исследования кристаллического вещества, гл. VIII. 1930 г.

Таким образом плоскость колебания лучей, выходящих из поляризатора, совмещена с вертикальной нитью окулярного креста, т. е. плоскость колебания поляризатора совпадает с плоскостью симметрии микроскопа. Каждому работающему с микроскопом всегда нужно знать и помнить, в какой плоскости происходят колебания лучей, выходящих из поляризатора. В особенности это необходимо при исследовании плеохроизма минералов. При скрещенных николях направление колебаний лучей в анализаторе должно совпадать с горизонтальной нитью креста. Это делается просто: когда колебания лучей в поляризаторе уже установлены параллельно вертикальной нити, следует включить анализатор. Если при этом поле зрения микроскопа черное, то анализатор и поляризатор скрещены. В противном случае анализатор следует вынуть из оправы и повернуть его до нужного положения. В микроскопах новейших конструкций анализатор поворачивается при помощи рычажка, и вынимать его из оправы никогда не следует.

Теперь плоскости колебания лучей в анализаторе и поляризаторе параллельны нитям креста, т. е. николи скрещены. Этим можно ограничиться в проверке микроскопа. Теперь остается проверить Универсальный столик.

## **Б. Проверка столика и его установка в основное положение перед началом работы.**

Универсальный столик помещается на столик микроскопа и привинчивается к нему винтами. Положение Универсального столика будем называть *основным*, когда:

- 1) Оси  $N$  и  $M$  — совпадают с оптической осью микроскопа (т. е. столик центрирован), плоскости стеклянного диска и кольца  $M$  — перпендикулярны к оптической оси микроскопа, а индекс металлической оправы стеклянного диска совмещен с нулем лимба кольца  $n$  и обращен к наблюдателю.
- 2) Ось  $I$  столика перпендикулярна к плоскости симметрии микроскопа и следовательно параллельна или перпендикулярна к плоскости колебаний лучей в поляризаторе, в зависимости от расположения последнего.
- 3) Ось  $H$  столика перпендикулярна к оси  $I$ .

### **Центрировка универсального столика.**

Прикрепив столик  $\Phi$  к столику микроскопа и наклеив шлиф, совмещаем плоскость стеклянного диска с плоскостью кольца  $M$ , а нуль лимба оси  $I$  — с нулем нониуса и закрепляем зажимы  $h$  и  $i$ . Перемещением зеркальца, вращением его и движением конденсора (осветителя) добиваемся максимального и равномерного освещения поля зрения при объективе, наведенном на фокус (анализатор должен быть выключен). Освободив винты верхнего сегмента, передвиганием шлифа помещаем какую-нибудь маленькую, но ясную точку в пересечение нитей и прижимаем шлиф, действуя винтами сегмента. Закрепив винт  $a$ , при любом положении оси  $I$ , вращаем препарат около оси  $N$  и замечаем при этом, остается точка на месте или сходит с пересечения нитей. Если она описывает окружность, то столик не центрирован.

Для центрировки поворачиваем шлиф около оси  $N$  столика до положения наибольшего удаления намеченной точки от центра нитей. Освобождаем немного винты, прикрепляющие столик  $\Phi$  к предметному столику микроскопа, перемещаем точку к центру нитей на половину расстояния и завинчиваем винты. Снова вращаем препарат около оси  $N$  столика и замечаем: если намеченная точка движется по окружности, центром которой

является пересечение нитей, то столик центрирован. Если нет, то добиваемся этого новым перемещением столика по столику микроскопа.

Центрировки столика при вращении около оси  $M$  не требуется. Совпадение центров колец  $M$  и  $n$  выполняется при конструкции столика; если это условие не выполнено, то одновременной центрировки колец  $n$  и  $M$  очевидно добиться этим путем невозможно, да и вообще осью  $M$  при работе пользуются очень редко. Когда столик центрирован, переходим к установке оси  $I$  столика в основное положение.

#### Установка оси $I$ столика в основное положение.

Вынимаем объектив из тубуса микроскопа, освобождаем винт  $i$  и вращаем столик около оси  $I$  до тех пор, пока плоскость кольца  $M$  примет положение, приблизительно параллельное оптической оси микроскопа. Включаем линзу Бертрана (объектива нет) и, действуя кремальеркой, наводим на фокус так, чтобы ребро диска  $M$  было ясно видно в поле зрения микроскопа. Освобождаем винт  $i$  и вращением около  $I$  приводим ребро к пересечению нитей. Зажав винт  $i$ , освобождаем винт  $a$  и вращением столика микроскопа около оси  $A$  добиваемся, чтобы ребро было параллельно или совпадало с горизонтальной нитью окуляра. При этом для удобства работы устанавливаем ось  $I$  так, чтобы лимб оси  $I$  был справа от наблюдателя. В этом положении закрепляем винт  $a$ . Ось  $I$  приведена в основное положение. Необходимо запомнить отсчет по нониусу столика микроскопа при основном положении оси  $I$  и устанавливать столик микроскопа в будущем на этот отсчет, когда требуется ось  $I$  привести в основное положение. Освободив винт  $i$ , совмещаем нуль лимба оси  $I$  с нулем нониуса и закрепляем винт  $i$ . Освобождаем зажим  $h$  и наклоняем диск около  $H$  до вертикального положения. Закрепляем  $h$ . Наводим фокус на ребро диска  $n$ . Освобождаем винт  $m$ , вращаем кольцо  $M$  и смотрим в микроскоп, добиваясь, чтобы ребро диска  $n$  было параллельно вертикальной нити креста, или, наклоняя еще около  $H$ , совмещаем ребро диска  $n$  с вертикальной нитью креста. Установив ось  $H$  в перпендикулярное к оси  $I$  положение, нужно убедиться, в ту ли сторону мы повернули кольцо  $M$ . Положение оси  $H$  будет правильно в том случае, когда дуги для отсчетов углов наклона около  $H$  обращены делениями к наблюдателю для большего удобства отсчетов. При таком положении кольца  $M$  нуль диска  $n$  обращен к наблюдателю. Закрепив в этом положении винт  $m$ , берем отсчет по нониусу на лимбе кольца  $M$ . Его следует запомнить. Он будет нужен каждый раз, когда потребуются вновь привести ось  $H$  к основному положению, если она будет из него выведена при решении некоторых задач.

#### Определение места нуля лимба оси $I$ столика.

Освобождаем винт  $i$ , поворачиваем столик около оси  $I$  в какую-нибудь сторону до положения, чтобы центр конца оси  $H$  совместился с точкой пересечения креста нитей, и берем отсчет. Пусть отсчет будет  $\alpha$ . Поворачиваем столик около оси  $I$  в другую сторону до совмещения центра другого конца оси  $H$  с пересечением нитей и берем отсчет по лимбу оси  $I$ . Пусть этот отсчет  $\beta$ . Место нуля будет:  $M_0 = \frac{\alpha + \beta}{2} = 180^\circ$ . Если при этом окажется, что нуль лимба оси  $I$  не совпадает с нулем нониуса на  $0,5^\circ$  и больше, то в отсчеты, взятые по лимбу, необходимо вводить соответствующую поправку.

Пример. Пусть  $\alpha = 92^\circ$ ,  $\beta = 272^\circ$ , место нуля будет  $M_0 = \frac{92^\circ + 272^\circ}{2} + 180^\circ = 362^\circ$ ;  $362^\circ - 360^\circ = 2^\circ$ , т. е. место нуля на лимбе оси  $I$  будет второе деление лимба.

### § 3. О РОЛИ СФЕРИЧЕСКИХ СТЕКЛЯННЫХ СЕГМЕНТОВ СТОЛИКА И ПОПРАВКАХ В УГЛАХ НА РАЗНОСТЬ МЕЖДУ ПОКАЗАТЕЛЯМИ ПРЕЛОМЛЕНИЙ СЕГМЕНТОВ И ИССЛЕДУЕМОГО МИНЕРАЛА.

Как уже говорилось выше, необходимую и существенную часть Федоровского столика составляют два стеклянные шаровые сегмента, включенные в металлическую оправу. Один из них (нижний) при помощи капельки глицерина приклеивается и прижимается двумя пружинами к нижней поверхности стеклянного диска, имеющегося в середине кольца  $n$ . В таком положении он удерживается во время работы. На верхнюю поверхность стеклянного диска помещается капля глицерина и кладется препарат покровным стеклом вверх.<sup>1</sup> На шлиф помещается еще капля глицерина, и затем накладывается второй (верхний) стеклянный шаровой сегмент и привинчивается, при помощи имеющихся в его металлической оправе винтов  $aa$ , к металлическому кольцу  $p$ .

Сегменты устроены таким образом, чтобы они, сложенные вместе с заключенными между ними стеклянным диском столика, шлифом и тремя прослоями глицерина, составляли правильную сферу, в экваториальной плоскости которой должна находиться пластинка шлифа. Так как стеклянный диск прилагается к столику и имеет рассчитанную и вполне определенную толщину, то для соблюдения вышеуказанного условия толщина шлифа вместе с предметным и покровным стеклами должна быть вполне определенной и, как мы увидим ниже, не должна превышать 1,5 мм. Толщина предметного стекла обычно значительно больше покровного стекла, поэтому для соблюдения условия, чтобы пластинка шлифа была расположена в экваториальной плоскости сферы, будет не безразлично, как положить шлиф — покровным стеклом вверх или вниз, что конечно предусматривается при изготовлении сегментов.

При работе с Федоровским столиком фирмы Leitz шлиф необходимо помещать на стеклянный диск столика покровным стеклом вверх.<sup>2</sup> Так как стекла сегментов, диска столика и шлифа обладают приблизительно одинаковым показателем преломления (в пределах  $n = 1,52—1,55$ ), и приблизительно такие же показатели преломления у глицерина и канадского бальзама, в слое которого заключена пластинка шлифа, и если при этом в центре сегмента находится зерно минерала с показателем преломления около 1,5 и выполнены условия толщины препарата, то полученная таким образом система будет представлять собою достаточно однородную сферу.

<sup>1</sup> В других столиках шлиф кладется покровным стеклом вниз.

<sup>2</sup> В новых моделях столики Ф фирмы Leitz для более точной установки шлифа в экваториальной плоскости, которая должна проходить через центр пересечения всех осей, имеется возможность менять положение стеклянного диска при помощи его винтовой оправы. Несовпадение шлифа и пересечения осей легко обнаруживается, в виде расстройств фокусировки при вращении системы вокруг оси  $I$ . При совпадении не должно наблюдаться ни малейшего смещения центрированного зерна, в противном случае заметно как бы колебательное движение.

Лучи, проходящие через такую систему, при любом положении препарата практически не будут испытывать отклонения от первоначального направления, так как луч при любом повороте системы падает нормально или почти нормально к шаровой поверхности разграничения двух сред. Получение такой системы имеет очень важное значение, ибо от нее зависят точность и быстрота работы. Поэтому фирмами изготавливаются наборы сегментов с различными показателями преломления, близкими к показателям преломлений главнейших породообразующих минералов.

Если бы сегментов не было, то лучи, входящие в шлиф, не преломлялись бы только тогда, когда они были бы нормальны к плоскости шлифа. При наклонении препарата около любой оси столика наблюдалось бы явление светопреломления лучей и углы, замеренные на столике, соответствующие углам между какими-то двумя направлениями в кристалле, были бы больше (видимые углы) и не соответствовали бы истинным углам в кристалле. Все это искажало бы результаты. При одном нижнем сегменте при

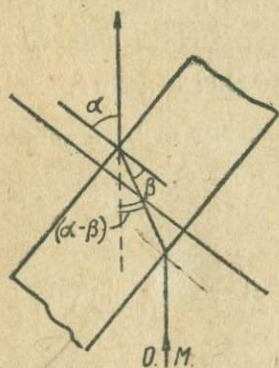


Рис. 4.

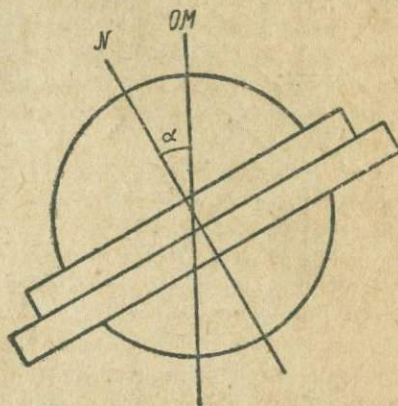


Рис. 5.

некотором предельном угле падения лучей на границу между шлифом и воздухом лучи могли бы совершенно не выйти из шлифа в воздух, претерпев явление полного внутреннего отражения. Легко убедиться, что если мы будем наклонять шлиф без верхнего сегмента, или при наклеивке шлифа и сегментов попадет воздух, уже при очень незначительных наклонах поле зрения будет темнеть, в то время как при хорошо наклеенных сегментах можно производить наблюдения при углах наклона до  $60-65^\circ$ . Из всего сказанного и прилагаемых ниже рисунков будут понятны роль и назначение сегментов в Федоровском столике.

На рис. 4 показан ход лучей через пластинку в случае наклонения ее на столике без сегментов.  $\alpha$  — видимый угол между лучом и нормалью к пластинке, соответствующий истинному углу  $\beta$  между ними в кристалле. Искажение в угле будет равно  $(\alpha - \beta)$ .

На рис. 5 показан ход лучей через пластинку, заключенную между сегментами, с показателем преломления, равным показателю преломления минерала, при правильной сферической системе.

Выше указывалось, что шаровые сегменты, сложенные вместе с стеклянным диском столика и шлифом, только тогда дают правильную сферу, когда толщина шлифа вместе с покровным, предметным стеклами, с пла-

стинкою шлифа и прослоями канадского бальзама будет вполне определенная величина около 1 мм.

В микроскопической практике часто шлифы имеют суммарную толщину 1,5 и даже 2 мм. Рассмотрим в простейшем случае ход лучей через однородную систему в случае применения толстого предметного стекла, вследствие чего правильность сферы будет нарушена.

На рис. 6 показан ход лучей в такой системе.

Пусть шлиф взят толще, чем полагается, на величину  $\epsilon$ , тогда центр верхней полусферы сместится от центра нижней полусферы на величину  $\epsilon$ .

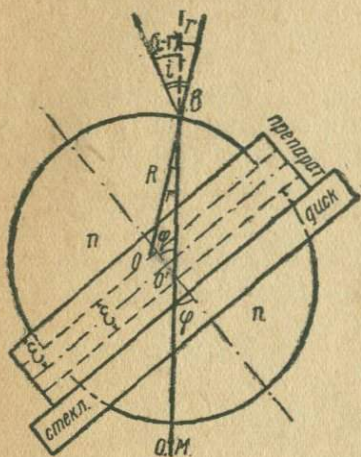


Рис. 6.

Луч  $OM$ , вступающий в препарат под углом  $\varphi$  к нормали пластинки, при выходе из верхнего сегмента в воздух уклонится от своего первоначального направления на угол  $(i-r)$ , который легко вычислить из следующих уравнений.

$$n = \frac{\sin i}{\sin r},$$
 где  $n$  — показатель преломления сегментов. Отсюда имеем:

$$1. \sin i = n \sin r.$$

Из треугольника  $OO'B$  имеем:

$$\frac{R}{\sin \varphi} = \frac{\epsilon}{\sin r},$$

откуда:

$$2. \sin r = \frac{\epsilon}{R} \sin \varphi,$$

где  $R$  — сферический радиус сегментов.

Ниже в табличке приведены величины  $(i-r)$ , вычисленные для  $\epsilon = 0,5$  мм и  $\epsilon = 1$  мм при различных  $R$  — в зависимости от угла наклона препарата  $\varphi$ .

Из таблицы видно, что уклонение лучей от первоначального направления  $(i-r)$  (ошибка в углах) тем меньше, чем больше сферический радиус сегментов  $R$  и чем меньше  $\epsilon$ , т. е. чем меньше толщина препарата вместе с стеклами отличается от нормальной. Таким образом необходимо при исследовании, чтобы толщина шлифа вместе с стеклами не превышала 1,5 мм.

Обычно толщина покровных стекол бывает от 0,1 до 0,15 мм, толщина пластинки шлифа от 0,025 до 0,03 мм, и если принять толщину слоя канадского бальзама с каждой стороны пластинки минерала 0,1 мм, то на предметное стекло приходится  $x = 1,5 - (0,15 + 0,03 + 0,2) = 1,5 - 0,38 = 1,12$  мм, т. е. толщина предметного стекла должна быть приблизительно от 1 до 1,2 мм.

Теперь рассмотрим правильную сферическую систему неоднородную, когда показатель преломления исследуемого минерала сильно отличается от

Сферический радиус сегментов	$\varphi$	$\epsilon = 0,5$ мм	$\epsilon = 1$ мм
$R = 5$ мм	30°	1°35'	3°10'
	45°	2°14'	4°31'
	60°	2°45'	5°35'
$R = 10$ мм	30°	0°47'	1°35'
	45°	1°07'	2°14'
	60°	1°22'	2°45'

показателя преломления стеклянных сферических сегментов. В этом случае отклонение в лучах от своего первоначального направления определится из формулы светопреломления:

$$\frac{n_c}{n_M} = \frac{\sin \alpha_M}{\sin \alpha_c},$$

откуда имеем:

$$\sin \alpha_M = \frac{n_c}{n_M} \sin \alpha_c, \tag{1}$$

где  $\alpha_c$  — угол в стекле сегментов,  
 $n_c$  — показатель преломления сегментов,  
 $\alpha_M$  — угол в минерале,  
 $n_M$  — показатель преломления минерала.

Из формулы следует: если показатель преломления сегментов  $n_c$  будет меньше показателя преломления минерала  $n_M$ , то угол в сегментах, который мы обычно и получаем из разности отсчетов на столике (так наз. видимый угол в минерале), будет больше действительного угла  $\alpha_M$  (так наз. истинного угла в минерале).

И когда  $n_M < n_c$ , то  $\alpha_M > \alpha_c$ , т. е. наоборот.

Таким образом при показателе преломления сегментов, сильно отличающемся от показателя преломления минерала, в измеренные углы при вращении препарата около осей столика  $I$  и  $H$  следует вводить соответствующие поправки, т. е. должно вычислять угол  $\alpha_M$  по измеренному  $\alpha_c$ , зная показатель преломления сегментов  $n_c$  и минерала  $n_M$  по вышеприведенной формуле (1).

Угол  $\alpha_M$  по данным  $\alpha_c$ ,  $n_c$  и  $n_M$  легко находится графически, при помощи круговой диаграммы Федорова, представленной таблицей 1. Способ [ее построения и пользования ею уясняется из прилагаемого рис. 7, на котором внешняя окружность проведена радиусом, принятым равным 1, а концентрическая внутренняя окружность — радиусом, равным  $\frac{n_c}{n_M}$ .

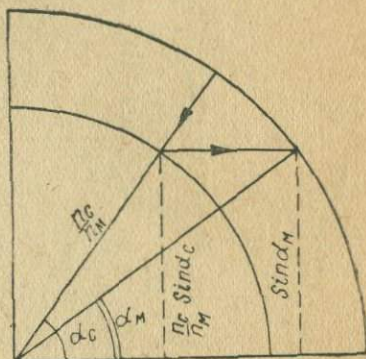


Рис. 7.

На круговой диаграмме Федорова (см. табл. 1) вместо одной внутренней окружности нанесен целый ряд их, причем для удобства радиусы их обозначены не через  $\frac{n_c}{n_M}$ , но через обратную величину  $\frac{n_M}{n_c}$ . Пользование этой диаграммой уясняется из следующего примера: пусть  $\alpha_c = 60^\circ$  (угол, полученный при наклонении препарата около оси  $I$  или  $H$  столика) и  $n_M : n_c = 1,75 : 1,52 = 1,15$ . От  $60^\circ$  внешней окружности передвигаемся по радиусу до окружности радиуса 1,15 и отсюда поворачиваем направо по горизонту опять до внешней окружности, где читаем  $\alpha_M = 49^\circ$ . Когда  $n_M < n_c$ , то применяется обратный прием.

От угла  $\alpha_c$  внешней окружности по горизонтали перемещаемся влево до окружности радиуса  $\frac{n_c}{n_M}$ , а отсюда по радиусу вновь до внешней окружности, где и читаем  $\alpha_M$ .

Деления  $n_m : n_c$  можно не производить. В том же примере можно поступить так: от  $60^\circ$  внешней окружности передвигаемся по радиусу до окружности  $n_m = 1,75$ , отсюда по горизонтали доходим вправо до окружности  $n_c = 1,52$  и затем снова по радиусу выходим на внешнюю окружность, где получаем искомый угол  $49^\circ$ .

#### § 4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРЕЛОМЛЕНИЯ МИНЕРАЛОВ ПО МЕТОДУ В. В. НИКИТИНА.

Для того чтобы ввести поправки в измеряемые углы на разность между показателями преломления стекла сегментов и исследуемого минерала, должен быть известен показатель преломления минерала.

Показатель преломления минерала  $n_m$  может быть определен при помощи Универсального столика по методу, предложенному В. В. Никитиным, сравнительно легко, но этот метод является недостаточно точным. Он позволяет определить показатель преломления минерала в точности до 2—3 единиц второго знака после запятой.

Метод основан на наблюдении оптического явления полного внутреннего отражения в трещинках исследуемого минерала.

Пусть мы имеем пластинку минерала, показатель преломления которого  $n_m$ , с трещинкой, заполненной какой-нибудь другой средой, например канадским бальзамом, с показателем преломления  $n$ . Показатель преломления сегментов обозначим через  $n_c$ . Предположим, что  $n_m > n$  и что  $n_m > n_c$ , что

чаще всего встречается в микроскопической практике. При основном положении столика вращаем препарат около оси  $N$  и совмещаем наблюдаемую в минерале трещинку с горизонтальной нитью окулярного креста, т. е. устанавливаем ее параллельно оси  $I$  столика. Ось перпендикулярна к плоскости (рис. 8) и выходит к точке  $Q$ . Трещинка при нормальном положении препарата будет казаться широкою с размытыми границами вследствие того, что верхний и нижний края трещины лежат не в одной плоскости и не могут быть одновременно приведены в фокус микроскопа.

Если повернуть препарат около оси  $I$  столика и установить так, чтобы стенки трещинки стали параллельны оптической оси микроскопа, то трещинка в этот момент будет узкою и резкою. Очевидно угол поворота препарата при этом будет  $\varrho$ . Поворачиваем препарат около оси  $I$  в обратную сторону. Вследствие явления внутреннего отражения лучей на границе минерала и трещинки, последняя будет казаться темной. Это будет продолжаться только до тех пор, пока угол  $\gamma$  не примет предельного значения, при котором угол преломления в среде  $\delta = 90^\circ$ .

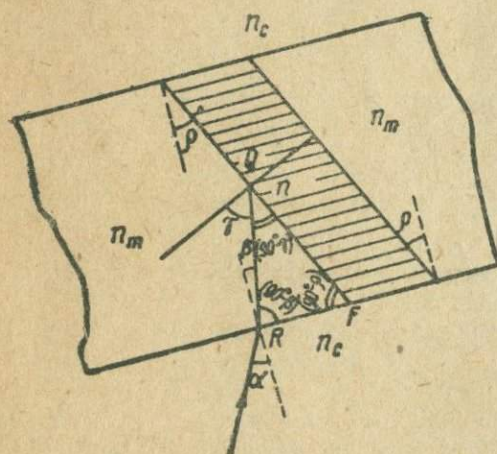


Рис. 8.

Пусть предельному углу  $\gamma$  отвечает угол  $\alpha$ , под которым падают лучи на пластинку минерала. Зная величины  $\alpha$ ,  $\varrho$ ,  $n$  и  $n_M$ , легко найти  $n_M$  — показатель преломления минерала. Из рис. 8 видно, что:

$$n = n_M \sin \gamma.$$

В треугольнике  $RQF$   $\angle R = (90^\circ - \beta)$ ;  $\angle Q = (90^\circ - \gamma)$ ;  $\angle F = (90^\circ - \varrho)$

$$\angle R + \angle Q + \angle F = 270^\circ - (\beta + \gamma + \varrho) = 180^\circ$$

$$\gamma = 90^\circ - (\beta + \varrho).$$

Так как  $\beta$  и  $\varrho$  находятся в различных сторонах от перпендикуляра к шлифу, то придадим им обратные знаки, т. е. напишем:

$$\gamma = 90^\circ - (\beta - \varrho).$$

$$\sin \gamma = \sin [90^\circ - (\beta - \varrho)] = \cos (\beta - \varrho) = \cos \beta \cos \varrho + \sin \beta \sin \varrho,$$

но

$$\sin \beta = \frac{n_c}{n_M} \sin \alpha$$

$$\cos \beta = \sqrt{1 - \sin^2 \beta}$$

и следовательно:

$$\sin \gamma = \sqrt{1 - \frac{n_c^2}{n_M^2} \sin^2 \alpha} \cdot \cos \varrho + \frac{n}{n_M} \sin \alpha \sin \varrho.$$

Подставляем вместо  $\sin \gamma$  его значение  $\frac{n}{n_M}$ , из уравнения 1 получим

$$n = \sqrt{n_M^2 - n_c^2 \sin^2 \alpha} \cdot \cos \varrho + n_c \sin \alpha \sin \varrho$$

Напишем так:

$$\sqrt{n_M^2 - n_c^2 \sin^2 \alpha} \cdot \cos \varrho = n - n_c \sin \alpha \sin \varrho.$$

Возведем в квадрат:

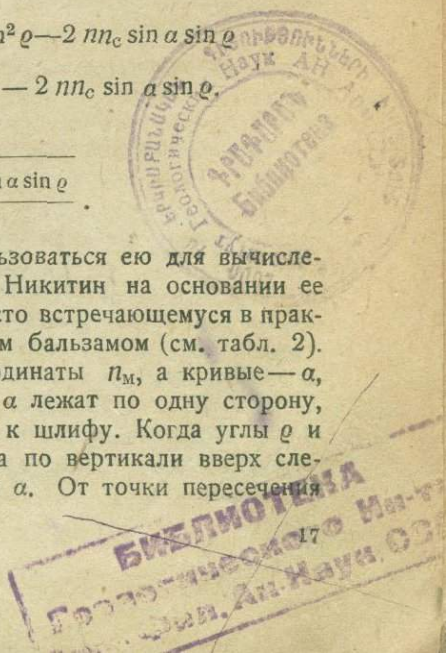
$$(n_M^2 - n_c^2 \sin^2 \alpha) \cos^2 \varrho = n^2 + n_c^2 \sin^2 \alpha \sin^2 \varrho - 2 n n_c \sin \alpha \sin \varrho$$

$$\bullet \quad n_M^2 \cos^2 \varrho = n^2 + n_c^2 \sin^2 \alpha (\sin^2 \varrho + \cos^2 \varrho) - 2 n n_c \sin \alpha \sin \varrho.$$

Окончательно:

$$n_M = \frac{\sqrt{n^2 + n_c^2 \sin^2 \alpha - 2 n n_c \sin \alpha \sin \varrho}}{\cos \varrho}.$$

Формула эта слишком громоздка, чтобы пользоваться ею для вычисления показателя преломления минерала. Поэтому Никитин на основании ее построил диаграмму применительно к наиболее часто встречающемуся в практике случаю, когда трещина заполнена канадским бальзамом (см. табл. 2). На этой диаграмме абсциссы обозначают  $\varrho$ , ординаты  $n_M$ , а кривые —  $\alpha$ ,  $+\alpha$  соответствуют случаям:  $+\alpha$  — когда углы  $\alpha$  лежат по одну сторону,  $\alpha$  —  $\alpha$  по разные стороны с углом  $\varrho$  от нормали к шлифу. Когда углы  $\varrho$  и  $\alpha$  найдены, откладываем  $\varrho$  по абсциссе и отсюда по вертикали вверх следуем до кривой, отвечающей полученному углу  $\alpha$ . От точки пересечения



вертикали и кривой  $\alpha$  направляемся по горизонтали влево к оси ординат и читаем  $n_M$  — показатель преломления минерала.

Примеры: 1.  $\varrho = 20^\circ$   $\alpha = 30^\circ$   $n_M = 1,56$ .

2.  $\varrho = 10^\circ$   $\alpha = 45^\circ$   $n_M = 2,05$ .

При выводе формулы и при пользовании диаграммой не учитывалось то обстоятельство, что мы измеряем собственно не  $\varrho$  угол в минерале, а  $\varrho'$  в стекле сегментов, причем:

$$\sin \varrho = \frac{n_c}{n_M} \sin \varrho'.$$

Если  $n_M$  не слишком отличается от  $n_c$ , то получающейся при этом погрешностью можно пренебречь. Если же  $n_M$  сильно расходится с  $n_c$ , то погрешность должна быть учтена, что делается следующим образом: по данному  $\varrho'$  и полученному вначале  $n'_M$  находим  $\varrho_1$  из формулы

$$\sin \varrho_1 = \frac{n_c}{n'_M} \sin \varrho'.$$

Находим таким образом  $\varrho_1$ , более близкий к действительному  $\varrho$ , и по нему находим новое значение  $n''_M$ . В случае надобности операция повторяется. Насколько это необходимо в случае больших  $n_M$ , видно из следующего примера Никитина.

Измерялся показатель преломления  $n_M$  перовскита, в действительности равный 2,34.

Первое измерение:  $\varrho' = 47^\circ$ ,  $\bar{\alpha} = 29^\circ$ .

Этим величина отвечает  $n'_M = 3,15$ ; вводим его в формулу

$$\sin \varrho_1 = \sin \varrho' \frac{n_c}{n'}$$

и находим таким образом  $\varrho_1 = 22^\circ,5$ , а по нему и  $\bar{\alpha} = 29^\circ$ , новое значение  $n''_M = 2,11$ . Продолжая операцию последовательного нахождения  $\varrho$  и новых  $n_M$ , получаем следующие строки:

	1	2	3	4	5	6
$\varrho$ . . . . .	$47^\circ$	$22^\circ,5$	$32^\circ$	$27^\circ,5$	$30^\circ$	$29^\circ$
$n_M$	3,15	2,11	2,39	2,25	2,33	2,30

Второе измерение:  $\varrho = 45^\circ,5$   $\bar{\alpha} = 35,5$ .

	1	2	3	4	5	6
$\varrho$ . . . . .	$45^\circ,5$	$20^\circ$	$30^\circ,5$	$26^\circ,5$	$28^\circ$	$28^\circ,5$
$n_M$	3,20	2,15	2,45	2,33	2,38	2,58

Слабая сторона метода Никитина заключается в малой точности установки угла  $\alpha$ . При повороте пластинки на этот угол  $\alpha$ , просветление пластинки наступает не сразу, но очень постепенно, очевидно вследствие того, что стенка трещины не представляет собою совершенной плоскости.

Для получения более удовлетворительных результатов рекомендуется: 1) пользоваться по возможности параллельным светом, для чего следует вынуть николю и осветительную линзу, направляя свет в трубу микроскопа от плоской стороны зеркальца микроскопа; 2) брать для подсчета  $\alpha$  не

максимальное освещение трещинки, но промежуточное между первыми его проблесками и полным его наступлением.

Степень точности определения показателей преломления по способу В. В. Никитина в лучшем случае 2—3 единицы второго знака, т. е. для определения минерала по показателю преломления не достаточна.

В обычной практике микроскопии описанный метод, вследствие малой точности, применяется редко, так как при некотором навыке почти тех же результатов можно добиться пользуясь полоской Бекке и наблюдением над степенью „шагреновости“ поверхности исследуемого минерала. Описанный метод В. В. Никитина полезен главным образом в целях уяснения тех кристаллооптических процессов, которые происходят при прохождении света через неоднородную среду.

Разработка метода точного определения показателей преломления в шлифах дело будущих исследователей.

## § 5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ АНИЗОТРОПНОСТИ МИНЕРАЛА.

После проверки микроскопа и Универсального столика приводим последний в *основное положение* и приступаем к исследованию намеченного минерала.

Для этого освободим зажимы верхней сферы, прижимающие шлиф к столику, и осторожно, смотря в микроскоп и передвигая шлиф при помощи палочки (спички), приводим намеченное зерно к кресту нитей.

Прежде всего необходимо решить вопрос: является ли намеченное для исследования зерно оптически изотропным или анизотропным, для чего необходимо проделать следующий ряд манипуляций.<sup>1</sup>

„По приведении к центру исследуемого зерна, при выведенном анализаторе, поворотом зеркала достигаем яркого освещения препарата. Опускаем винт *i* и наклонами столика на угол до  $60^\circ$  около оси *I* убеждаемся, что свет неизменно сохраняется, т. е., что мы не оставили где-нибудь неосвещенным слоя воздуха, который при наклоне вызвал бы полное внутреннее отражение, влекущее за собой внезапное наступление темноты.

Затем вводим анализатор (никили скрещены) и поворачиваем столик около оси *A* на большие углы (больше  $90^\circ$ ) в ту или другую сторону.

При этом возможны два случая:

I. Поле попеременно (через  $90^\circ$ ) то освещается, то затемняется — минерал *анизотропен*.

II. Поле становится темным, и в состоянии его не заметно никаких изменений при вращении столика около оси *A*. Опускаем винт *i*, наклоняем столик около оси *I* в какую-нибудь сторону на угол около  $45^\circ$ , закрепляем *i* и вращаем столик около оси *A*.

Здесь возможны два случая:

1) Поле попеременно освещается и темнеет — минерал *анизотропен*. Плоскость шлифа перпендикулярна к оптической оси минерала.

2) Поле остается неизменно темным. Опускаем винт *i* и наклоняем столик в другую сторону на тот же угол около  $45^\circ$ . Закрепляем *i* и вращаем столик около *A* на большие углы.

В последнем случае возможны два варианта:

<sup>1</sup> В. В. Никитин. Универсальный метод Е. С. Федорова, вып. I и II. 1911—1912, стр. 78—79.

а) Поле попеременно освещается и темнеет. Минерал *анизотропен*. Двуосен. Сечение зерна плоскостью препарата и то, которое мы получили при втором испытании на изотропность, перпендикулярны к оптическим осям.

б) Поле остается темным. Минерал *изотропен*“.

## § 6. РАЗЛИЧИЕ ОДНООСНОГО МИНЕРАЛА ОТ ДВУОСНОГО.

Из курса кристаллооптики известно, что разрез минерала будет *анизотропным*, когда в сечении эллипсоида оптической индикатриссы плоскостью разреза получается эллипс. При вращении такого препарата на  $360^\circ$  в плоскости, перпендикулярной к оптической оси микроскопа, мы будем наблюдать четыре раза появление темноты через  $90^\circ$  (николи скрещены), именно когда оси эллипса сечения будут совпадать с направлениями колебаний в николях. Пусть мы имеем в шлифе зерно с таким анизотропным разрезом, что одна из осей симметрии эллипсоида лежит в плоскости разреза. Если мы теперь повернем препарат около оси  $N$  столика (столлик в основном положении) до темноты, то оси эллипса будут совпадать одна с осью  $I$ , а другая с осью  $H$  столика. Пусть одна из них — ось симметрии эллипсоида — совпадает, при данном положении темноты, с осью  $I$  столика. При вращении препарата около оси  $I$  мы будем получать различные сечения эллипсоида плоскостью, перпендикулярной к оптической оси микроскопа. Все эти сечения будут эллипсы, оси которых будут лежать всегда в плоскостях колебаний лучей в николях. [Могут при некотором положении быть и круги, если с осью  $I$  столика будет совмещена ось  $Nm$  трехосного эллипсоида (в двухосных минералах)<sup>1</sup> или одна из осей симметрии второго порядка эллипсоида вращения (в одноосных минералах) — случай совпадения оптической оси минерала с осью микроскопа.]

Очевидно при таких сечениях эллипсоида зерно будет оставаться темным, т. е., иначе говоря, темнота, полученная *вращением* препарата *около* оси  $N$ , при *вращении* столика *около* оси  $I$  будет *сохраняться*.

Таким образом темнота при вращении *около* оси  $I$  будет *сохраняться* *всегда*, *когда* *одна* *из* *осей* *симметрии* *эллипсоида* *вращения* *или* *трехосного* *эллипсоида* *будет* *совмещена* *с* *осью*  $I$  *сталика* (при основном его положении), или, что то же самое, *когда* *одна* *из* *плоскостей* *симметрии* *эллипсоида* *будет* *лежать* *в* *плоскости* *симметрии* *микроскопа*, т. е. в плоскости колебания лучей в поляризаторе.

Если мы имеем разрез эллипсоида одноосного минерала, т. е. эллипсоида вращения, произвольной плоскостью, не проходящей через ось вращения, то в плоскости разреза всегда будет лежать по крайней мере одна из осей симметрии второго порядка эллипсоида вращения.

Совмещая эту ось симметрии с осью  $I$ , мы получим темноту, сохраняющуюся при вращении *около* оси  $I$ . Другая темнота сохраняться не будет.

В общем случае мы в одноосном минерале всегда будем иметь одну темноту, сохраняющуюся при вращении препарата *около* оси  $I$ .

При произвольном разрезе зерна двуосного минерала, т. е. в *общем* *случае* сечения трехосного эллипсоида, когда ни одна из осей симметрии эллипсоида не лежит в плоскости разреза шлифа, вращением столика *около*

<sup>1</sup> Оси трехосного эллипсоида оптической индикатриссы обозначаются:  $Ng(\gamma)$  — наибольшая ось,  $Nm(\beta)$  — средняя и  $Np(\alpha)$  — наименьшая.

оси  $N$  (при основном положении столика) мы получим два положения темноты, из которых ни одна темнота не будет сохраняться, так как одним вращением оси  $N$  мы не можем совместить ось симметрии эллипсоида с осью  $I$ , ибо ни одна из них не лежит в плоскости шлифа.

Итак для общего случая сечения двуосного минерала ни одна темнота при вращении около оси  $I$  (не наклоняя вокруг оси  $N$ ) сохраняться не будет.

Допустим теперь, что в плоскости шлифа лежит одна из осей симметрии эллипсоида двуосного минерала (1-й частный случай). Вращая препарат около оси  $N$  (при основном положении столика) и совмещая ось симметрии эллипсоида с осью  $I$ , мы получим темноту, сохраняющуюся при вращении около оси  $I$ . Другая темнота, отличающаяся от положения предыдущей на  $90^\circ$ , очевидно сохраняться не будет, так как в плоскости шлифа лежит только одна ось симметрии.

Итак мы имеем первый частный случай сечения двуосного минерала, когда одна темнота при вращении около оси  $I$  сохраняется, а другая нет, который является общим случаем для одноосного минерала.

Здесь различие между одноосным и двуосным минералами пропадает. В этом случае для решения вопроса об осности минерала, при помощи возможных вращений около осей  $A$ ,  $M$ ,  $H$  и  $N$ , мы должны получить такое положение эллипсоида двуосного минерала, чтобы сечение эллипсоида плоскостью, перпендикулярной к оптической оси микроскопа, отвечало общему случаю сечения двуосного минерала, т. е. чтобы ни одна из осей симметрии эллипсоида не лежала в этой плоскости, или, иначе говоря, приводим эллипсоид к такому положению, когда ни одна темнота не сохраняется (см. ниже случай п. III, § 7).

Одноосный минерал (т. е. эллипсоид вращения) мы не можем привести никакими вращениями к случаю, чтобы ни одна темнота не сохранялась; у одноосного минерала в самом общем случае всегда одна темнота сохраняется, другая нет.

Исследуем теперь второй частный случай анизотропного сечения одноосного и двуосного минерала, когда сечение минерала совпадает с одной из плоскостей симметрии эллипсоида, т. е. когда в сечении лежат две оси симметрии эллипсоида (для одноосного: одна — второго порядка, другая — ось вращения).

Совмещая вращением препарата около оси  $N$  (при основном положении столика) сначала одну ось симметрии эллипсоида с осью  $I$ , а затем поворотом около  $N$  на  $90^\circ$  — другую, мы получим две темноты, из которых обе будут сохраняться при вращении около оси  $I$ . Здесь мы имеем второй случай, где различие между одноосным и двуосным минералами пропадает.

В этом случае вопрос об осности решается легко для двуосного минерала в том случае, когда в плоскости разреза лежит  $Nm$  — средняя ось эллипсоида, и мы можем наблюдать „выход“ оптических осей, когда ось  $Nm$  будет совмещена с осью  $I$  столика.

Для этого следует поставить сначала одну темноту, повернуть препарат около оси  $A$  на  $45^\circ$  и, вращая препарат около оси  $I$  в ту или другую сторону, наблюдать: если при этом появляется две темноты, разделенные светлым промежутком, то с осью  $I$  совмещена ось  $Nm$  эллипсоида, и кристалл двуосен.

Наблюдаемые два потемнения соответствуют положениям эллипсоида, сечения которого плоскостью, перпендикулярной к оптической оси микро-

скопа — круги, следовательно плоскость оптических осей перпендикулярна к плоскости разреза, а совмещенная с осью  $I$  столика ось эллипсоида есть ось  $Nm$ . Разрез минерала следовательно проходит по одной из плоскостей симметрии эллипсоида, но только не по плоскости оптических осей. Конечно такому исследованию надо подвергнуть обе сохраняющиеся темноты. Если же при таком исследовании, т. е. при повороте около оси  $A$  на  $45^\circ$ , а затем вращением около оси  $I$  ни в одном случае темноты не наступит, и нет заметного изменения цветов, то минерал двуосен, и разрез минерала следовательно проходит по плоскости оптических осей.

В этом случае, т. е. когда обе темноты сохраняются, в одноосном минерале при тех же манипуляциях появления темноты мы не получим, а заметим только незначительное понижение интерференционных цветов, при больших наклонах около оси  $I$  в ту или другую сторону при совмещении с осью  $I$  столика оси симметрии второго порядка эллипсоида вращения.

Итак, в случае разреза двуосного минерала по плоскости оптических осей и разреза по главному сечению минерала одноосного резкое различие между минералом одноосным и двуосным пропадает. Чтобы решить вопрос об осности минерала в этом случае, нам необходимо вращениями около осей  $A$ ,  $M$ ,  $H$  и  $N$  привести положение эллипсоида к общему случаю, при котором, как мы видели выше, для двуосного минерала ни одна темнота не сохраняется, а для одноосного одна темнота всегда сохраняется, а другая исчезает при вращении препарата около оси  $I$ .

Теперь остается рассмотреть случай различения одноосного минерала от двуосного, когда сечения одного и другого изотропны, т. е. когда мы имеем разрез эллипсоида по кругу, иначе говоря, когда разрезы перпендикулярны к оптическим осям минералов. В этом случае, как мы знаем, при вращении столика около оси  $A$  или  $N$  (при основном положении столика) темнота должна оставаться, так как вращение препарата происходит в плоскости кругового сечения эллипсоида.

Пусть у нас минерал двуосен, и оптическая ось его совмещена с осью  $N$  (при основном положении столика). Очевидно в плоскости разреза эллипсоида лежит только одна ось симметрии второго порядка, а именно ось  $Nm$ , и пусть она не совпадает с осью  $I$ . В этом случае темнота будет нарушаться при вращении около оси  $I$ .

Для этого случая при одноосном минерале темнота при вращении около оси  $I$  будет всегда сохраняться, так как разрез эллипсоида плоскостью шлифа представляет круг, а в круговом сечении эллипсоида вращения лежит бесконечное число осей второго порядка, и одна из них всегда будет непременно совпадать с осью  $I$  при повороте его в плоскости кругового сечения. При этом же сечении двуосного минерала, но когда ось  $Nm$  совмещена с осью  $I$  (при основном положении столика), темнота при вращении около оси  $I$  будет тоже сохраняться.

Итак мы имеем третий случай, когда различие между одноосным и двуосным минералом исчезает.

Здесь вопрос решается очень легко.

Если мы повернем эллипсоид вращения около его оси вращения или, в данном случае, около оси  $N$  столика на любой угол, то положение его ничуть не изменится, так как с осью  $I$  будет совпадать опять ось второго порядка, которых в плоскости шлифа имеется бесконечное число, и следовательно темнота будет вновь сохраняться при вращении препарата около оси  $I$ .

Но если мы выведем ось  $Nm$  эллипсоида двусосного минерала из совмещения ее с осью  $I$  поворотом около оси  $N$  на некоторый угол, лучше всего на  $45-90^\circ$ , то ни одна из осей симметрии эллипсоида уже не сможет быть в совмещении с осью  $I$ , так как в круговом сечении эллипсоида двусосного минерала лежит только одна ось симметрии  $Nm$ , которую мы только что вывели из совмещения с осью  $I$ , поэтому теперь темнота при вращении около оси  $I$  заметно нарушится. Это возможно только для двусосного минерала.

После всего изложенного здесь будет понятна сущность систематического хода анализа при различении одноосного минерала от двусосного, описанного ниже в § 7.

## § 7. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОСТИ МИНЕРАЛА.

Убедившись, что исследуемый минерал оптически анизотропен, следует решить: одноосен он или двусосен.

Для этого, приведя столик в основное положение, вращаем препарат около оси  $A$  или  $N$  и наблюдаем (при скрещенных николях), просветляется зерно или остается темным.

А. Зерно просветляется — сечение зерна *анизотропно*, т. е. сечение эллипсоида оптической индикатриссы плоскостью шлифа — эллипс.

В. Зерно остается темным — сечение зерна *изотропно*, т. е. сечение эллипсоида индикатриссы плоскостью шлифа — круг (разрез перпендикулярен к оптической оси).

Определение осности может идти по двум путям, когда:

А. Сечение анизотропно — один путь.

В. Сечение изотропно — другой путь.

### А. Сечение анизотропно.<sup>1</sup>

Устанавливаем ось  $I$  в основное положение; Закрепляем винт  $a$ . Поворотом около оси  $I$  совмещаем нуль нониуса с нулем лимба оси  $I$ . Закрепляем винт  $i$ . Плоскость внутреннего диска столика  $n$  совмещаем с плоскостью кольца  $M$  и закрепляем винт  $h$  (при  $H \perp I$ ). Закрепляем винт  $m$  (столик приведен в основное положение). За выдающиеся головки верхнего сегмента двумя руками поворачиваем препарат в его собственной плоскости, т. е. вращаем его около оси  $N$  до положения наибольшего затемнения зерна, и записываем отсчет по лимбу оси  $N$  (положение первой темноты). Опускаем винт  $i$  и наклоняем столик около оси  $I$  в ту и другую сторону на углы до  $50-60^\circ$ , следя за тем, сохраняется ли полученная темнота или нарушается<sup>2</sup> (это первая темнота).

Совмещаем снова нуль нониуса с нулем лимба оси  $I$ . Закрепляем винт  $i$  и поворачиваем около оси  $N$  за винты сегментов до второго положения темноты, т. е. на  $90^\circ$  в ту или другую сторону относительно положения первой темноты, и записываем отсчет по лимбу оси  $N$  (положение второй темноты).<sup>3</sup> Снова опускаем винт  $i$ , наклоняя около  $I$  на такие же углы,

<sup>1</sup> В. В. Никитин. Универсальный метод Е. С. Федорова, вып. I и II, изд. 1911—1912 г., стр. 84—85.

<sup>2</sup> Рекомендуется, наблюдая темноту при вращении около оси  $I$ , верхний сегмент прикрывать левой рукой, защищая его от бокового света.

<sup>3</sup> Разница между отсчетами по лимбу  $N$  для первой и второй темноты должна быть  $90^\circ$ .

следим, сохраняется ли полученная темнота, или зерно временами освещается (это вторая темнота).

Здесь возможны три случая:

I. Ни одна темнота не сохраняется — минерал *двуосен*.

II. Одна темнота сохраняется, другая пропадает.

Исследуем первую, т. е. ту, которая сохраняется, для этого ставим индекс внутреннего столика на отсчет по лимбу кольца  $n$ , при котором темнота сохранялась (если записывались отсчеты положения темноты). Опускаем винт  $a$  и поворотом около  $A$  в ту или другую сторону устанавливаем ось  $I$  под углом в  $45^\circ$  к основному положению. Опускаем винт  $i$  и наклоняем столик около  $I$  на углы до  $50$ — $60^\circ$  в каждую сторону, наблюдая за изменением интерференционных цветов. При повороте столика около оси  $A$  на  $45^\circ$  исследуемое зерно ярко освещается. При вращении вокруг оси  $I$  в характере изменения интерференционных цветов может быть три случая:

✓ 1) зерно остается освещенным при всех положениях; ни наступления темноты в некоторых положениях, ни значительного понижения цветов и потемнения при крайних наклонах (до  $60^\circ$ ) не наблюдается — минерал *двуосен*. С осью  $I$  совмещена или ось  $Ng$  или  $Np$ , но не  $Nm$ ;

✓ 2) при наклонении столика наблюдаем два положения темноты, разделенных промежутком нового освещения зерна — минерал *двуосен*. С осью  $I$  совмещена ось  $Nm$ ;

✓ 3) при наклонении столика наблюдается темнота (в одном положении), или по крайней мере при крайних наклонах столика (до  $60^\circ$ ) наблюдается понижение цветов до серого цвета.

Опускаем винт  $m$  и поворотом кольца  $M$  ставим ось  $H$  в основное положение.

Ось  $I$  также в основном положении. Закрепляем винт  $m$ . Поворотом препарата около оси  $N$  приводим его к тому положению темноты, когда она *сохраняется*. Отпускаем винт  $i$  и, наклоняя около оси  $I$ , убеждаемся, что это действительно имеет место. Опускаем винт  $h$  и наклоняем около  $H$  в ту или другую сторону на угол от  $40$  до  $50^\circ$ . Закрепляем  $h$ . Опускаем винт  $m$  и поворотом всего кольца  $M$  приводим шлиф к одной темноте, затем к другой, наблюдая каждую при наклонении около оси  $I$ , сохраняется она или нарушается.

При этом возможны следующие два варианта:

а) Ни одна темнота не сохраняется — минерал *двуосен*.

б) Одна темнота сохраняется — минерал *одноосен*.

Последний прием (наклонение около оси  $H$  и т. д.) можно применить и непосредственно после того как убедимся, что одна темнота сохраняется, а другая нарушается, не прибегая к повороту столика около оси  $A$  на угол  $45^\circ$ .

— III. Обе темноты сохраняются.

Опускаем винт  $m$  и поворотом столика около оси  $M$  ставим ось  $H$  под углом  $45^\circ$  к оси  $I$ . Закрепляем  $m$ , поворотом около  $N$  приводим исследуемое зерно к темноте. Опускаем винт  $h$  и наклоняем препарат около оси  $H$  на угол от  $40$  до  $50^\circ$ . Закрепляем  $h$ .

Дальше поступаем так же, как в заключении операции 2, т. е. поворотом около  $M$  достигаем одной и другой темноты<sup>1</sup> и испытываем при наклонении около  $I$  в обе стороны, сохраняется ли она или нарушается:

- 1) ни одна темнота не сохраняется — минерал *двуосен*,
- 2) одна темнота сохраняется — минерал *одноосен*.

## В. Сечение изотропно.

Ставим ось  $I$  в основное положение и наклоняем около  $I$  в ту или другую сторону на углы до  $50^\circ$ , следя за тем, сохраняется ли темнота или нарушается.

Здесь мы наблюдаем следующие два случая:

I. Темнота заметно нарушается — минерал *двуосен*.

II. Темнота сохраняется, или нарушение ее очень незначительно.

Поворачиваем препарат около  $N$  из положения первого наблюдения на  $45-90^\circ$ :

1. Темнота заметно нарушается — минерал *двуосен*.

2. Темнота сохраняется или нарушается едва заметно — минерал *одноосен*.

## § 8. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ГЛАВНЫХ СЕЧЕНИЙ ТРЕХОСНОГО ЭЛЛИПСОИДА И ОСЕЙ СИММЕТРИИ.

Из предыдущего изложения мы знаем, что темнота, полученная вращением препарата около оси  $N$  (при основном положении столика), сохраняется при вращении около оси  $I$  тогда, когда одна из осей симметрии эллипсоида совмещена с осью  $I$  столика, или, что то же, когда плоскость симметрии эллипсоида перпендикулярна к этой оси, т. е. лежит в плоскости симметрии микроскопа, совпадающей с плоскостью колебания лучей в поляризаторе.<sup>2</sup>

Итак, если мы найдем темноту, сохраняющуюся при вращении препарата около оси  $I$ , то мы тем самым найдем плоскость главного сечения эллипсоида, которая будет перпендикулярна к оси  $I$ .

Плоскость симметрии трехосного эллипсоида может быть найдена при самом общем случае сечения эллипсоида, т. е. когда в плоскости разреза не лежит ни одна ось симметрии эллипсоида, поочередным вращением препарата около оси  $N$  столика до затухания зерна и наклонением препарата около оси  $H$ , добиваясь таким образом получения сохраняющейся темноты при вращении вокруг оси  $I$ . Тогда ось симметрии эллипсоида будет совмещена с осью  $I$  столика.

Очевидно главное сечение может быть найдено только одним вращением препарата около оси  $N$  столика при основном его положении только в том случае, когда главное сечение перпендикулярно к плоскости шлифа, и может быть найдено даже без вращения около  $N$  и наклонения около  $H$ , если случайно главное сечение уже совмещено с плоскостью колебания лучей в поляризаторе.

<sup>1</sup> Рекомендуется после испытания одной темноты замечать отсчет по индексу — на лимбе  $N$ , т. е. положение этой темноты, и, переходя к другой, помнить, что положение второй темноты должно отличаться от предыдущей на  $90^\circ$ , а не на  $180^\circ$  — во избежание того, чтобы не принять одну и ту же темноту за две различные, иначе определение будет ошибочным.

<sup>2</sup> См. стр. 9—10.

Таким образом для отыскания главного сечения эллипсоида оптической индикатриссы необходимо проделать следующий ряд манипуляций.

Столик привести в основное положение. Исследуемое зерно — на пересечении нитей окуляра. Николи должны быть скрещены, все зажимы зажаты.

1) Смотрим на исследуемое зерно; если оно уже темное, освобождаем винт  $i$  и вращаем препарат около оси  $I$ , наблюдая, *сохраняется* темнота или *исчезает*. Темнота *сохраняется* — плоскость главного сечения *найдена*.

2) Если зерно при основном положении столика светлое, поворачиваем препарат около оси  $N$  до максимальной темноты, освобождаем винт  $i$  и, вращая препарат около оси  $I$  в обе стороны, наблюдаем, *сохраняется* полученная темнота или *заметно исчезает*.

(\*) Темнота *сохраняется* — плоскость *найдена*,

(+) темнота *не сохраняется*.

Поворачиваем препарат около оси  $I$  в ту или иную сторону до просветления, закрепляем зажим  $i$ , освобождаем зажим  $h$  и наклоняем диск  $n$  столика около оси  $H$  то в ту, то в другую сторону до появления темноты. Если темнота наступает при наклонении препарата около  $H$  в обе стороны, то лучше остановиться на той, которая получается при меньшем наклонении около оси  $H$  (в этом случае увеличивается точность в определении положения главного сечения). Закрепляем винт  $h$ , вращаем препарат около оси  $I$ , замечая, *сохраняется* полученная темнота или нет.

Темнота *сохраняется* — плоскость *найдена*.

Темнота *не сохраняется*.

Вращая ось  $I$  до появления большого просветления зерна, закрепляем винт  $i$  и вращаем препарат осторожно на небольшие углы около оси  $N$  то в ту, то в другую сторону до появления максимального затемнения. Освобождаем зажим  $i$  и вращаем ось  $I$ , наблюдая, *сохраняется* полученная темнота или нет.

Темнота *сохраняется* — плоскость *найдена*.

Темнота *не сохраняется*.

Повторяем операцию с пункта, отмеченного значком (+) (поворачиваем препарат около оси  $I$  и т. д.), пока не получим темноты сохраняющейся при вращении около оси  $I$  столика.

Весь порядок описанных выше манипуляций осями столика, которые мы выполняем при отыскании плоскостей симметрии эллипсоида, можно схематически изобразить помещенной рядом табличкой.

Стрелками и цифрами указан последовательный порядок действия осями столика. В столбике третьем по вертикали (в

Прием	№	Установка на темноту осями	Исследов. темноты осью
1-й полный прием	1	$N \rightarrow$	
	2		$\leftarrow I$
	3	$H \leftarrow$	
	4		$\leftarrow I$
2-й полный прием	1	$N \rightarrow$	
	2		$\leftarrow I$
	3	$H \leftarrow$	
	4		$\leftarrow I$

и т. д.

нечетных строках) указан последовательный порядок действия осями, которыми каждый раз устанавливаем зерно на темноту, а в промежутке между операциями (в четных строках) исследуем темноту вращением около оси  $I$  столика, сохраняется ли полученная темнота. Если не сохраняется, то останавливаем вращение на просветлении зерна и переходим к работе следующей осью и т. д., пока не получим сохраняющейся темноты. Операции, как видно из таблички, повторяются.

Четыре первые строчки представляют собою один полный прием.

В некоторых случаях таким приемом сохраняющейся темноты получить нельзя и нужно пробовать добиваться ее одновременным поворотом вокруг осей  $N$  и  $H$ . Для этого случая точного рецепта дать нельзя, но навык легко приобретается на практике.

Для получения большей точности в определении плоскости симметрии рекомендуется лучше вращать препарат на большие углы около оси  $N$ , но не наклонять препарат на очень большие углы около оси  $H$ , так как чувствительность в определении погасания при вращении около оси  $N$  больше, чем при вращении около оси  $H$ .

Когда плоскость главного сечения найдена, нужно убедиться, не является ли найденная плоскость плоскостью *оптических осей*.

Для этого, осмотрев тщательно, хорошо ли зажаты винты  $m$ ,  $h$ ,  $i$ , освобождаем винт  $a$  и поворачиваем столик около оси  $A$  на  $45^\circ$  против движения (или по движению) часовой стрелки, так что ось  $I$  будет выведена из основного положения на  $45^\circ$ , а найденная плоскость будет занимать диагональное положение по отношению к нитям окулярного креста (т. е. к направлениям колебаний лучей в николях). Зерно станет светлым, если случайно оптическая ось минерала не совпала с оптической осью микроскопа.

Закрепляем зажим  $a$ , освобождаем винт  $i$ , вращаем препарат около оси  $I$  в обе стороны и наблюдаем. Если зерно было светлое, то замечаем, не наступает ли появление темноты при некотором положении оси  $I$ . Если темнота наступает, то, установив на максимум, закрепляем зажим  $i$ , освобождаем винт  $a$  и вращаем столик около оси  $A$ . Темнота сохраняется при вращении хорошо. Имеем „выход“ оптической оси, которая в достаточной степени точно совмещена с оптической осью микроскопа. Темнота немного исчезает — оптическая ось минерала не точно совмещена с оптической осью микроскопа, и отсчет по лимбу  $I$  был бы неправильным. Поворачиваем препарат около осей  $H$  и  $N$  на очень небольшие углы, добиваясь темноты, хорошо сохраняющейся при вращении около оси  $A$  столика микроскопа.

Нужно однако иметь в виду, что благодаря добавочным явлениям (конической рефракции и дисперсии оптических осей) в том случае, когда с осью  $I$  совмещена  $Nm$ , темнота сохраняется гораздо хуже, чем для  $Ng$  или  $Np$ . Когда оптическая ось минерала совмещена с осью микроскопа, темнота часто получается очень несовершенной. Нужно добиваться наибольшего возможного в данном случае сохранения темноты (для примера рекомендуем испытать оливин).

Устанавливаем ось  $I$  снова под углом  $45^\circ$  к основному положению и закрепляем зажим  $a$ . Освобождая затем зажим  $i$ , поворачиваем препарат около оси  $I$  в другую сторону и точно таким же образом убеждаемся, нет ли выхода другой оси (если минерал конечно двусосен: определение осности должно предшествовать настоящей задаче).

Если имеется одна или обе оптические оси в данном главном сечении, найденная плоскость есть плоскость оптических осей, и с осью  $I$  совмещена следовательно ось  $Nm$  эллипсоида оптической индикатриссы.

Если при диагональном положении найденной плоскости главного сечения по отношению к кресту нитей при вращении препарата около оси  $I$  темнота не наступает, и не наблюдается значительного понижения интерференционных цветов, то найденная плоскость одна из двух: или перпендикулярна к  $Ng$  или  $Np$ , а с осью  $I$  совмещены соответственно или  $Np$ , или  $Ng$ .

Составляем табличку, записываем координаты найденной (1-й) плоскости главного сечения и координаты оптических осей, если они имеются в данной плоскости.

Пусть 1-е главное сечение найдено вращением препарата около оси  $N$  и наклоением около оси  $H$  влево от наблюдателя.

Берем отсчет при помощи индекса, имеющегося на внутреннем диске столика по лимбу кольца  $N$ . Пусть этот отсчет  $30^\circ$ . Записываем его в столбик 1 против буквы  $N = 30^\circ$  (см. приложение 1).

Угол наклоения препарата около оси  $H$  отсчитываем при помощи указателя по правой дуге, пусть этот отсчет  $= 20^\circ$ . В столбике 1 против буквы  $H$  пишем  $- 20^\circ R$ . Буква  $R$  обозначает, что отсчет взят по правой дуге (Rechts — правый), если бы отсчет был взят по левой дуге, то с цифрой отсчета следовало бы поставить букву  $L$  (Links — левый).

Допустим, что в этом найденном главном сечении лежала оптическая ось, которая вращением столика на  $45^\circ$  около оси  $A$  и поворотом препарата около оси  $I$  была совмещена с оптической осью микроскопа. При этом положении оси  $I$  против нуля нониуса остановилось деление лимба оси  $= 330^\circ$ . Записываем этот отсчет в столбик 1 против буквы  $I = 330^\circ$ . Первая плоскость главного сечения найдена, и координаты ее записаны.

Ищем вторую плоскость главного сечения. Для этого, не трогая оси  $N$ , приводим столик снова в основное положение, а затем поворачиваем препарат около оси  $N$  в ту или иную сторону *приблизительно* на  $90^\circ$ <sup>1</sup> до положения второй темноты, т. е. ставим индекс внутреннего диска столика в нашем примере, либо на отсчет *приблизительно* около  $120^\circ$ , или на отсчет около  $300^\circ$ . Освобождаем винт  $i$ , вращаем препарат около оси  $I$ , наблюдая, сохраняется ли полученная темнота или исчезает. В дальнейшем отыскивание второй плоскости симметрии эллипсоида ведется тем же методом, который был только что описан выше [см. место (\*) стр. 26].

Когда второе главное сечение найдено, исследуем, не является ли найденное главное сечение плоскостью оптических осей. Очевидно, если первое главное сечение было плоскостью оптических осей, то во втором найденном главном сечении оптических осей не обнаружим; это будет контролем при работе, что плоскость оптических осей найдена правильно.

Пусть координаты второго главного сечения таковы:

$$N = 295^\circ; H = 13^\circ R.$$

Третьего главного сечения нам находить не требуется, так как оно может быть определено графически на стереографической сетке.

<sup>1</sup> Если отсчет будет разниться на  $180^\circ$ , то мы нашли ту же плоскость, которая только что была найдена.

## § 9. НАНЕСЕНИЕ НАЙДЕННЫХ ГЛАВНЫХ СЕЧЕНИЙ И ОСЕЙ СИММЕТРИИ НА СЕТКУ ВУЛЬФА.

В предыдущем параграфе мы определили сферические координаты двух плоскостей симметрии эллипсоида ( $N$  и  $H$ ). Теперь по этим координатам следует нанести на стереографическую сетку найденные плоскости симметрии эллипсоида, т. е. построить их граммастереографические проекции, приняв за плоскость проекции плоскость шлифа.

Нанеся плоскости симметрии эллипсоида на сетку, мы определим ту пространственную ориентировку его в исследуемом зерне, которую он имел при основном положении столика.

Возьмем сетку Вульфа, положим ее на стол перед собою рядом с микроскопом так, чтобы вертикальный диаметр сетки, соединяющий полюса сетки, был параллелен плоскости симметрии микроскопа. Приподнимем мысленно сетку до совмещения с плоскостью кольца  $n$  столика при основном его положении. При таком положении сетки ее основной круг проекции будет совмещен с плоскостью шлифа. Когда столик в основном положении, ось  $I$  будет совпадать с горизонтальным, ось  $H$  — с вертикальным диаметром сетки, а оптическая ось микроскопа и ось  $N$  столика — с центром проекции сетки.

На основном круге проекции сетки напомним деления в таком же порядке, как они идут на лимбе диска  $n$ , т. е. по часовой стрелке от  $0^\circ$  до  $360^\circ$ , причем 0 (нуль) лимба  $N$  и сетки обращены к сидящему за микроскопом наблюдателю<sup>1</sup> (при основном положении столика). Нуль лимба оси  $I$ , при совмещении его с нулем нониуса, на сетке будет в центре проекции. Меридианы по полной окружности широтами сетки разбиваются на отрезки. Перенумеруем их в том же порядке и последовательности, как градусы лимба оси  $I$ . Тогда отрезки с номерами от 0 до  $90^\circ$  будут расположены от горизонтального диаметра сетки к южному ее полюсу, от  $90^\circ$  до  $270^\circ$  в нижней части сферы и от  $270^\circ$  до  $360^\circ$  от северного полюса до горизонтального диаметра сетки. По основному кругу проекции будем откладывать отсчеты по диску  $N$  столика, по меридианам сетки от ее горизонтального диаметра к южному полюсу углы наклоения около оси  $I$ , отсчитывая при помощи широт сетки (малых кругов). Углы наклоения препарата около оси  $H$ , отсчитанные по *правой дуге*, всегда будем откладывать по горизонтальному диаметру сетки *вправо* от центра сетки к основному кругу проекции, производя отсчеты при помощи меридианов. Углы наклоения препарата около оси  $N$ , отсчитанные по *левой дуге*, будут откладываться на сетке по горизонтальному диаметру *влево* от центра сетки к основному кругу проекции, при помощи тех же меридианов.

Итак, *угол поворота препарата около оси  $N$  будет откладываться на сетке по основному кругу проекции; угол наклоения препарата около оси  $H$  — по горизонтальному диаметру сетки от центра к периферии, а угол наклоения препарата около оси  $I$  — по меридианам, отсчитывая широты от центра сетки к ее южному полюсу.*

Теперь нанесем на сетку главное сечение эллипсоида по координатам, записанным выше в табличку (см. приложение 1).

Возьмем воскровку и положим ее на сетку. Отметим на ней острым карандашом центр сетки знаком  $\dagger$  (точку пересечения горизонтального и

<sup>1</sup> Могут быть обращены и в противоположную сторону, что совершенно безразлично.

вертикального диаметров сетки). Против нуля, принятого нами в южном полюсе сетки, поставим индекс.

Это положение восковки на сетке будет соответствовать начальному положению исследуемого зерна перед началом работы, т. е. при основном положении шлифа (зерна).

Нанесем сначала первую плоскость. Смотрим нашу запись: отсчет  $N = 30^\circ$ . Не смещая центра, помеченного на бумаге, с центра сетки, поворачиваем восковку так, чтобы индекс на ней стал на указанный отсчет, т. е. в нашем примере на  $30^\circ$  основного круга проекции сетки. Смотрим в записи: отсчет по оси  $H = 20^\circ R$ . Отсчитываем от центра сетки по горизонтальному диаметру сетки *вправо* 20-й меридиан, отмечаем его точкой и, убедившись, что индекс восковки не сместился с нужного отсчета, т. е. с  $30^\circ$ , проводим 20-й меридиан, лежащий по правую сторону вертикального диаметра сетки, от верхнего полюса до нижнего. Не смещая восковки, находим сейчас же полюс построенной дуги большого круга, отсчитывая по горизонтальному диаметру  $90^\circ$  влево от проведенной дуги большого круга, и ставим точку, обведя ее кружком.

Проведенная дуга большого круга есть граммастереографическая проекция первой плоскости главного сечения эллипсоида, а отмеченный полюс дуги есть гномостереографическая проекция того же найденного главного сечения эллипсоида или стереографическая проекция оси симметрии эллипсоида, перпендикулярной к плоскости найденного главного сечения.

В нашем примере была найдена проекция оси  $Nm$ .

Итак, первая найденная плоскость симметрии эллипсоида и перпендикулярная к ней ось  $Nm$  нанесены на сетку. Мы знаем, что в найденной плоскости должна лежать оптическая ось, остается нанести ее на сетку.

В записанной нами табличке отсчет по оси  $I$ , отвечающий совмещению оптической оси минерала с оптической осью микроскопа —  $330^\circ$ . Отсчитываем от северного полюса сетки шестидесятую широту к центру сетки ( $270^\circ + 60^\circ = 330^\circ$ ), находим точку пересечения этой широты с только что проведенной дугой большого круга и отмечаем ее кружком  $\odot$ . Оптическая ось  $A$  на сетку нанесена.

Наносим точно таким же способом вторую плоскость главного сечения эллипсоида.

Так как плоскости симметрии эллипсоида (так наз. главные сечения) взаимно перпендикулярны, то вторая плоскость должна пройти всегда через полюс первой нанесенной плоскости или по крайней мере вблизи от него, в пределах ошибки наблюдения.<sup>1</sup> Это обстоятельство может служить проверкой, правильно ли найдена и нанесена плоскость.

Лучше в этом случае наносить на сетку раньше ту плоскость, которая получена с меньшим наклоном оси  $H$ , т. е. ту, которая была наиболее чувствительной при установке на темноту, при наклонении препарата около оси  $H$ .

Нанеся вторую плоскость, находим ее полюс и отмечаем его положение на сетке кружком. Он должен лежать в идеальном случае в первой плоскости или по крайней мере вблизи от нее. Это будет проекция второй оси симметрии эллипсоида, перпендикулярной ко второму главному сечению (либо  $Ng$ , либо  $Np$ ).

<sup>1</sup> В большинстве случаев чувствительность определения не превосходит  $2^\circ$  для наклонов около оси  $H$  и  $2^\circ$  для углов поворота около оси  $N$ . В. В. Никитин. Универсальный метод Федорова, изд. 1911—1912 г. вып. I и II, стр. 115.

Положение третьей оси симметрии определяется пересечением найденных плоскостей симметрии, а ее проекция есть точка пересечения стереографических проекций двух первых плоскостей, т. е. точка пересечения начерченных двух дуг больших кругов сетки. Положение третьего главного сечения найдем графически, для чего строим экватор точки пересечения дуг. С этой целью вращаем восковку около центра сетки, чтобы точка пересечения дуг оказалась на горизонтальном диаметре сетки. Отсчитываем от нее к центру сетки по горизонтальному диаметру  $90^\circ$  и через эту точку проводим проходящий через нее меридиан от полюса до полюса. Он должен пройти в идеальном случае через обе другие оси симметрии эллипсоида, что может быть в том случае, когда наблюдавшиеся углы равны действительным, т. е. если показатель преломления сегментов равен показателю преломления исследуемого зерна.

Таким образом плоскости симметрии эллипсоида нанесены на сетку; в проекции это — дуги больших кругов сетки, а точки их пересечения — проекции осей симметрии эллипсоида. Если в одной из этих плоскостей нами были найдены оптические оси или одна из них, то ось симметрии эллипсоида, перпендикулярная этой плоскости, будет ось  $Nm$  эллипсоида. Таким образом одна ось эллипсоида уже определена.

Остается только определить, которая из оставшихся двух осей  $Ng$  и которая  $Np$ , и выявить тип эллипсоида.

Если мы теперь повернем восковку на сетке около центра в основное положение, т. е. индекс, отмеченный на сетке, совместим с нулем сетки, а столик микроскопа приведем тоже в основное положение, или, что то же, приведем исследуемое зерно к положению, которое оно имело перед началом работы, то на сетке будет фиксировано расположение эллипсоида в пространстве, отвечающее положению его в исследуемом зерне.

Если мы теперь хотим дать определенное положение зерну, а следовательно и эллипсоиду, то, глядя на сетку, мы можем сказать, какие для этого нужно будет выполнить повороты, и если позволит это сделать техника устройства столика, то, выполнив их, мы получим желаемую ориентировку эллипсоида по отношению к оптической оси микроскопа.

## § 10. ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАИМЕНОВАНИЯ ОСЕЙ СИММЕТРИИ ЭЛЛИПСОИДА ОПТИЧЕСКОЙ ИНДИКАТРИССЫ И ИЗМЕРЕНИЕ УГЛА ОПТИЧЕСКИХ ОСЕЙ.

Когда положение плоскостей и осей симметрии зафиксировано на стереографической сетке, остается только определить наименование осей, т. е. которая из них является  $Ng$ ,  $Np$  и  $Nm$  ( $Ng$  — большая ось,  $Np$  — малая ось,  $Nm$  — средняя ось), и выявить тип эллипсоида.

Средняя ось эллипсоида  $Nm$  определяется легко на том основании, что она всегда перпендикулярна к плоскости оптических осей. Полюс плоскости оптических осей и является проекцией средней оси эллипсоида  $Nm$ .

Таким образом одна ось  $Nm$  определена всегда, даже в том случае, когда плоскость оптических осей недоступна наблюдателю. Положение последней мы находим графическим построением непосредственно на сетке, о чем уже говорилось в предыдущей задаче.

Итак остается следовательно определить, которая из двух неизвестных оставшихся осей будет  $Np$  и которая  $Ng$ .

Для решения поставленного вопроса проделаем следующий ряд манипуляций (см. приложение 1).

Совмещаем центр восковки, отмеченный на ней крестиком, с центром сетки и смотрим, которая из трех осей  $Nm$ ,  $Nx$  и  $Ny$  расположена ближе к центру сетки.

В нашем примере таковой является  $Ny$ . Вращением восковки около центра совмещаем с меридианом сетки одну из двух плоскостей, проходящих через данную ось  $Ny$ . В нашем примере совмещаем с меридианом сетки плоскость 1-ю и читаем ее координаты:  $N = 30^\circ$ ,  $H = 20^\circ R$ , которые были найдены ранее и записаны нами в табличку в столбик 1-й.<sup>1</sup>

Совмещаем эту плоскость симметрии эллипсоида минерала с плоскостью симметрии микроскопа, т. е. плоскостью колебаний лучей в поляризаторе, для чего повернем препарат около оси  $N$  столика (при основном его положении), поставим индекс внутреннего диска  $n$  на отсчет по лимбу оси  $N = 30^\circ$ . Освободив винт  $h$ , наклоняем препарат около оси  $H$  влево, остановившись на отсчете по правой дуге  $20^\circ$ , и закрепляем винт  $h$ . Плоскость симметрии 1-я совмещена с плоскостью колебаний лучей в поляризаторе.

Совмещаем ось симметрии эллипсоида  $Ny$  с оптической осью микроскопа, для чего смотрим на сетку (при совмещении первой плоскости с меридианом сетки) и видим, что препарат нужно повернуть около оси  $I$  от себя на  $14^\circ$  от основного положения лимба оси  $I$ , т. е.

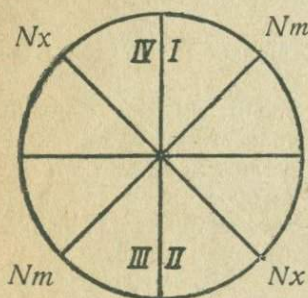


Рис. 9.



Рис. 10.

совместим 14-е деление лимба оси  $I$  с нулем нониуса, так как через данную точку проходит четырнадцатый меридиан сетки (см. предыдущую задачу — нанесение положения оптической оси на сетку).

Освобождаем винт  $i$ , поворачиваем препарат около оси  $I$ , совмещая 14-е деление лимба  $I$  с нулем нониуса. Итак ось симметрии эллипсоида  $Ny$  совмещена с оптической осью микроскопа, а в плоскости, перпендикулярной к оптической оси микроскопа, лежат оси эллипсоида  $Nm$  и искомая  $Nx$ , причем в нашем примере с осью  $I$  столика совмещена ось  $Nm$ , а ось  $Nx$ , перпендикулярная к  $Nm$ , лежит в плоскости симметрии микроскопа.

Освобождаем винт  $a$  и поворачиваем весь столик около оси  $A$  микроскопа против вращения часовой стрелки на  $45^\circ$ . При таком положении столика искомая ось  $Nx$  лежит в плоскости, перпендикулярной к оптической оси микроскопа по диагонали квадрантов II и IV, а ось  $Nm$  — по диагоналям квадрантов I и III, на которые разбивается поле зрения микроскопа нитями окулярного креста (рис. 9).

Берем гипсовую пластинку (см. рис. 10), на которой указаны стрелками оси оптической индикатриссы (эллипсоида показатели преломления), лежа-

<sup>1</sup> Координаты ее могут быть прочитаны и такие:  $N = 210^\circ$ ,  $H = 20^\circ L$ , если повернем нашу плоскость на  $180^\circ$  относительно первого положения, координаты которого записаны в столбик 1-й.

щие в плоскости пластинки. Стрелкою, расположенной параллельно длинному ребру пластинки, обозначенной буквою  $\alpha$ , показано направление оси „наибольшей упругости“ гипса или *наименьшей* оси  $Np$  — эллипсоида оптической индикатриссы (наименьший показатель преломления), а стрелкой, перпендикулярной к ней, обозначенную буквою  $\epsilon$ , направление оси „наименьшей упругости“ гипса или *наибольшей* оси  $Ng$  эллипсоида оптической индикатриссы (наибольший показатель преломления).<sup>1</sup>

Толщина гипсовой пластинки выбрана такой, что она при скрещенных николях, при диагональном положении осей эллипса по отношению к кресту нитей, бывает окрашена в красный цвет 1-го порядка, обусловленный разностью хода лучей

$$\Gamma = d(Ng - Np) = 530 - 575 \text{ мк.}$$

Пластинка вставляется всегда в прорез тубуса микроскопа, расположенный выше объектива так, что оси эллипса занимают диагональное положение по отношению к кресту нитей (к главным сечениям николей).

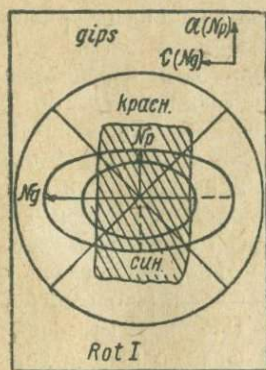


Рис. 11.

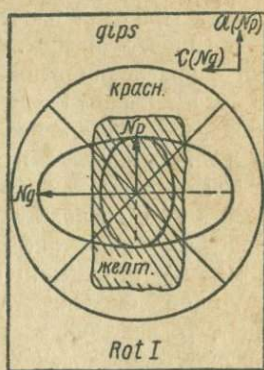


Рис. 12.

Если мы теперь вставим пластинку в указанный прорез, то оси эллипса в исследуемом зерне и в гипсовой пластинке совместятся по направлению, а если при этом совпадут и по наименованию, то наложение эллипсов будет согласное, т. е. с большою осью эллипса в гипсовой пластинке будет совпадать и большая ось эллипса в зерне, а меньшая с меньшей (рис. 11). В этом случае у гипсовой пластинки будем наблюдать повышение интерференционной окраски в том месте, где гипсовая пластинка накрывает исследуемое зерно, и зерно будет окрашено в цвета кварцевого клина выше красного 1-го порядка: либо в фиолетовый цвет, либо в синий, либо в зелёный и т. д. цвета.

Если же наложение осей эллипсов в гипсовой пластинке и в зерне будет несогласное по своей величине, т. е. большая ось эллипса в исследуемом зерне будет совпадать с меньшей осью эллипса гипсовой пластинки (рис. 12), то у гипсовой пластинки в том месте, где она покрывает зерно,

<sup>1</sup> Иногда оси упругости в гипсовой пластинке оказываются расположенными обратно указанному, поэтому перед работой гипсовую пластинку следует проверить, что коноскопически очень легко делается при помощи зерна в шлифе кварца, минерала одноосного, положительного и легко распознаваемого.

Прим. ред.

замечаем понижение интерференционной окраски, и зерно окрасится либо в желтый, белый или стально-серый цвет, т. е. в цвета кварцевого клина ниже красного 1-го порядка.

Это имеет место только для зерен с не очень высокими цветами интерференции. Если разность хода в исследуемом зерне больше чем вдвое превышает разность хода лучей в гипсовой пластинке, то при таком положении осей эллипсов интерференционная окраска части минерала, покрытой пластинкой, будет выше красного 1-го порядка. Это становится понятным, если принять во внимание, что суммарная разность хода, при взаимно перпендикулярном положении осей эллипсов пластинки и зерна минерала, получается путем вычитания из большей разности хода (в данном случае минерала) меньшей (в данном случае гипсовой пластинки). В этом случае определение наименования осей эллипса сечения зерна с помощью гипсовой пластинки становится затруднительным, и прибегают к другим приборам (см. ниже).

Пусть в нашем примере (см. сетку) при наложении гипсовой пластинки зерно окрасилось в синий цвет, т. е. наблюдаем повышение интерференционной окраски гипсовой пластинки, следовательно наложение осей эллипсов в зерне и гипсе согласное.

В гипсе в направлении движения пластинки, т. е. параллельно длинной стороне ее оправы, расположена меньшая ось эллипса  $Np$ , а в перпендикулярном положении  $Ng$ . А так как в направлении движения пластинки в исследуемом зерне лежит  $Nx$  и наложение осей согласное, то ось  $Nx$  будет меньше чем  $Nm$  (так же как в гипсе). Ось, меньшая средней оси эллипсоида, есть ось  $Np$ , следовательно  $Nx = Np$ ,  $Ny = Ng$ , и совмещенная с оптической осью микроскопа ось эллипсоида будет  $Ng$ .

Если бы мы при наложении гипсовой пластинки наблюдали понижение интерференционной окраски, т. е. зерно было бы окрашено, скажем, в желтый цвет, то наложение осей эллипсов в зерне и гипсовой пластинке будет несогласное, и следовательно совпадающая по направлению с осью эллипса гипсовой пластинки  $Np$  ось  $Nx$  исследуемого зерна будет большая, а  $Nm$  меньшая ось эллипса сечения зерна, т. е. ось  $Nx$  больше средней оси, а отсюда следует, что  $Nx = Ng$ , а  $Ny = Np$ .

Допустим, что с оптической осью микроскопа была совмещена  $Nm$ , что конечно может встретиться, тогда в плоскости, перпендикулярной к оптической оси микроскопа, лежали бы оси  $Nx$  и  $Ny$ . Совместив  $Ny$  с  $I$  и затем повернув на  $45^\circ$  по предыдущему, вводим гипсовую пластинку и наблюдаем повышение или понижение цвета.

Рассуждения при определении наименования осей в этом случае конечно остаются те же, и при согласном наложении эллипса гипсовой пластинки с эллипсом в исследуемом зерне мы имеем  $Ny > Nx$ ; следовательно  $Nx = Np$ , а  $Ny = Ng$ . Наименования осей эллипсоида оптической индекстриссы определены.

Так как не всегда можно сразу заметить, имеем ли мы дело с повышением или понижением цвета, весьма рекомендуется проверять себя поворотом столика на  $45^\circ$  по часовой стрелке от начального положения. Если в первом случае имеем понижение, при новом положении должны иметь повышение и наоборот. Если этого не наблюдается, то в определении понижения и повышения цвета допущена ошибка.

При больших разностях хода лучей, возникающих в пластинках исследуемого минерала, при определении наименования осей эллипсоида помощью

гипсовой пластинки часто затруднительно установить, соответствует ли наблюдаемое изменение цвета зерна понижению или повышению интерференционной окраски гипсовой пластинки.

В этом случае удобнее пользоваться или кварцевым клином, или вращающимся компенсатором Берекы, на которых стрелками указываются их главные оптические направления.

Вообще рекомендуется, а в особенности неопытным и приступающим только к работе, после определения наименования осей эллипсоида при помощи гипсовой пластинки проверять себя, определяя их вторично при помощи компенсатора Берекы или кварцевого клина.

У компенсатора на его оправе стрелкою, обозначенной буквою  $H_1 = \epsilon$ , показано направление большой оси  $Ng$ , а стрелкою с буквою  $H_2 = \alpha$  — направление меньшей оси  $Np$  эллипса кристаллической пластинки компенсатора.

При том же положении препарата и столика, при котором мы вставляем гипсовую пластинку в прорез тубуса, вместо гипсовой пластинки вставляем компенсатор, предварительно совместив тридцатое<sup>1</sup> деление барабана компенсатора с нулем нониуса, и вращаем его в любую сторону.

Обратимся опять к нашему первому примеру. Пусть с осью  $Nx$  эллипсоида исследуемого зерна совпадает ось  $Ng$ , а с осью  $Nm$  — ось  $Np$  эллипса кристаллической пластинки компенсатора (рис. 13). Вращаем компенсатор и наблюдаем: если при этом интерференционная окраска исследуемого зерна будет понижаться, то разность хода лучей в пластинке может быть компенсирована, и тогда зерно погасится, т. е. станет темным при некотором положении компенсатора.

В этом случае наложение осей эллипсов исследуемого зерна и пластинки компенсатора будет *несогласное*, т. е. одноименные по величине оси эллипса исследуемой пластинки и эллипса пластинки компенсатора будут перекрещены, или, иначе говоря, расположены друг к другу под углом  $90^\circ$ . Следовательно ось  $Nx < Nm$ , а это значит, что  $Nx = Np$  и  $Ny = Ng$ .

Если при вращении компенсатора будем наблюдать повышение интерференционной окраски зерна, то положение осей эллипсов исследуемой пластинки и пластинки компенсатора будет *согласное*, т. е. одноименные по величине оси эллипсов будут соответственно параллельны.

В этом случае в нашем примере  $Nx$  будет больше  $Nm$ , следовательно  $Nx = Ng$ ;  $Ny = Np$ .

Когда в одной из плоскостей симметрии эллипсоида мы наблюдаем оптические оси, которые были нанесены на сетку, то легко решается вопрос о знаке минерала, если известно наименование осей эллипсоида.

<sup>1</sup> При вынимании компенсатора из тубуса необходимо тоже не забыть предварительно установить 30-е деление барабана на нуль нониуса, иначе можно сломать компенсатор.

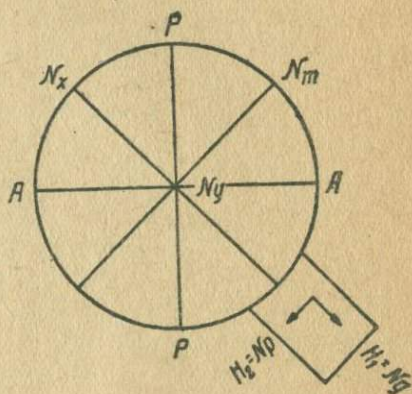


Рис. 13.

Прим. ред.

Следует здесь заметить, что оптические оси должны быть расположены симметрично относительно осей  $Ng$  и  $Np$ ; на этом основании мы можем найти положение второй оси, если наблюдали в плоскости только одну ось, а вторая не была доступна наблюдению. Для этого стоит только на сетке построить относительно любой оси  $Ng$  или  $Np$  симметричную точку, лежащую в плоскости оптических осей.

Когда наименование осей известно, и окажется, что острою биссектрисою угла оптических осей является ось  $Ng$ , то минерал оптически *положителен* (+), т. е. когда угол, образуемый оптической осью минерала с осью  $Ng$ , будет меньше  $45^\circ$ .

Если же острою биссектрисою окажется ось  $Np$ , то минерал оптически *отрицателен* (-), что иногда принято выражать коротко *Chm* (-).

Так в нашем случае  $V=44^\circ$ , а  $2V=+88^\circ$ . Острою биссектрисою угла оптических осей  $2V=88^\circ$  является ось  $Ng$ , оптический характер минерала следовательно положительный, т. е. *Chm* (+).

Итак наш минерал двуосен и положителен.

$$2V = +88^\circ.$$

Этим тип эллипсоида оптической индикатриссы вполне определен и получена одна из важнейших констант минерала — угол оптических осей.

Нужно однако иметь в виду, что угол оптических осей по одной оси определяется очень неточно. Погрешность установки на столике  $\Phi$  здесь удваивается, и прибавляются еще погрешности нанесения на сетку. Ошибка может достигать  $8^\circ$  и больше. Для измерения  $2V$  минералов надо всегда стараться найти такое зерно, в котором обе оптические оси совместимы с осью микроскопа, т. е. доступны наблюдению, и только в крайнем случае определять  $2V$  по одной оси. Не надо жалеть времени на испытание целого ряда зерен, что при некотором навыке делается довольно быстро. Нахождение нужного зерна облегчается, если принимать во внимание индивидуальные свойства исследуемого минерала. Нанесения на сетку при этом не требуется, и  $2V$  получается непосредственно из разности отсчетов по лимбу оси  $I$  для двух оптических осей.

Для определения знака минерала нужно, совместив  $Nm$  с осью  $I$  и повернув столик на  $45^\circ$  (это делается уже для нахождения оптических осей), закрепить зажим  $i$ , поставив лимб на отсчет, средний между отсчетами для оптических осей, и вдвинуть гипсовую пластинку. В этом случае с осью микроскопа совпадает биссектриса угла оптических осей, а вторая биссектриса лежит в плоскости шлифа и нормальна к оси  $I$ . Если при этом наблюдается повышение окраски зерна (например окраска в синий цвет), то следовательно ось  $Nm$  является большей из осей, лежащих в плоскости, нормальной к оси микроскопа, и другая ось в той же плоскости будет  $Np$ , а с осью микроскопа будет совмещена  $Ng$ . Если при вдвигании гипсовой пластинки наблюдается понижение интерференционной окраски зерна (например желтый цвет), то с осью микроскопа совпадает  $Np$ . Когда измеренный угол оптических осей меньше  $90^\circ$ , то в первом случае имеем знак +, а во втором знак —. Если измеренный угол  $2V$  больше  $90^\circ$ , то значит с осью микроскопа была совмещена тупая биссектриса. В этом случае нужно брать дополнение до  $180^\circ$  и обратный знак.

Для ясности возьмем конкретный пример. Предположим, что найдено подходящее зерно, и  $Nm$  совмещена с осью  $I$ . После поворота столика на  $45^\circ$  (против часовой стрелки) нашли для оптических осей следующие отсчеты

по лимбу  $I$ :  $A_1$   $342^\circ$ ,  $A_2$   $51^\circ$  (отсчеты по  $N$  и по  $H$  отмечать нет надобности). Отсюда

$$2V = (360^\circ + 51^\circ) - 342^\circ = 69^\circ.$$

Для совмещения острой биссектрисы с осью микроскопа нужно лимб  $I$  поставить на отсчет:

$$342^\circ + \frac{69^\circ}{2} = 342^\circ + 34,5' = 376^\circ,5, \text{ т. е. } 16^\circ,5.$$

Точная установка биссектрисы сейчас не важна, так как реакция с гипсовой пластинкой будет одинакова на всем промежутке между отсчетами для оптических осей. Вдвигая гипсовую пластинку, следим за изменением цвета. Предположим, что в данном случае заметно понижение, значит знак нашего минерала —, и  $2V = -69^\circ$ .

В работах, приводя  $2V$ , совершенно обязательно указывать, по одной или по двум осям произведено определение. Для этого лучше всего применять условное обозначение. В. Н. Лодочников рекомендует для  $2V$ , измеренных по двум осям, знак ставить перед цифрой (например  $2V = -69^\circ$ ), а по одной — после цифры, например  $2V = 69^\circ -$ .

Употребляются и другие обозначения.

В том случае, когда разрез близок к главному сечению, наблюдать непосредственно в микроскоп оптические оси невозможно. Для таких случаев Е. С. Федоров дал другой способ отыскания положения оптической оси, который мы не разбираем в настоящем руководстве, ввиду его сложности, так как при петрографических наблюдениях в шлифе проще найти другое зерно с подходящим разрезом.

Впрочем, в дальнейшем будет указан метод определения угла  $2V$  и знака минерала применительно и к таким случаям.

## § 11. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ЭЛЛИпсоИДА ВРАЩЕНИЯ И ОСЕЙ СИММЕТРИИ.

Допустим мы определили, что минерал одноосен. Нам необходимо определить положение эллипсоида и зафиксировать его на сетке в том положении, какое он занимал в зерне перед началом работы, т. е. при основном положении столика.

Для этого достаточно найти главное сечение и положение в нем оптической оси, или же найти главное сечение и плоскость, перпендикулярную к оси, т. е. круговое сечение эллипсоида.

Приводим зерно одноосного минерала к кресту нитей. Ставим столик в основное положение. Николи скрещены. Поворачиваем препарат около оси  $N$  до максимального затухания зерна, освобождаем затем  $i$  и вращаем препарат около оси  $I$ , наблюдая в микроскоп, сохраняется полученная темнота или нет. Совмещаем нуль лимба оси  $I$  с нулем нониуса и закрепляем зажим  $i$ .

Освобождаем зажим  $h$ , наклоняем препарат около оси  $H$  в обе стороны и наблюдаем в микроскоп, сохраняется ли темнота при вращении препарата около оси  $H$ . Приводим после этих операций столик в основное положение, не трогая только оси  $N$ .

При этом возможны три случая:

I. Темнота сохраняется при вращении около оси  $I$  (I темнота), но не сохраняется при вращении около оси  $H$  (II темнота). Главное сечение пер-

пендикулярно к оси  $I$  и совмещено с плоскостью симметрии микроскопа (при основном положении столика). Остается найти положение в нем оптической оси минерала. Освобождаем зажим  $a$ , вращаем столик около оси  $A$  на  $45^\circ$ . Закрепляем зажим  $a$ , освобождаем зажим  $i$  и вращаем препарат около оси  $I$  в обе стороны на большие углы.

1) Наблюдаем появление темноты при некотором положении оси  $I$ . При наклонении препарата около оси  $I$  в обе стороны от этого положения наблюдается просветление зерна. Оптическая ось эллипсоида образует с плоскостью шлифа угол больше  $30^\circ$ .

Останавливаем вращение оси  $I$  на максимальном затемнении и закрепляем зажим  $i$ . Оптическая ось минерала совмещена с оптической осью микроскопа.

Освобождаем винт  $a$ , вращаем столик около оси  $A$  и замечаем, остается ли темнота неизменной при этом вращении или нет.

Если темнота остается неизменной, оптическая ось минерала достаточно точно совмещена с оптической осью микроскопа. Если же при этом темнота заметно нарушается, то, остановив вращение около  $A$  на максимальном просветлении зерна, освобождаем зажим  $i$  и небольшим наклоном около оси  $I$  добиваемся такого положения, при котором темнота остается неизменной при вращении столика около оси  $A$ .

Оптическая ось минерала совмещена с оптической осью микроскопа.

Главное сечение найдено, и найдено положение в нем оптической оси минерала.

Записываем координаты главного сечения и оптической оси. Пусть в нашем примере  $N = 45^\circ$ ,  $H = 0^\circ$ ,  $I = 50^\circ$  (см. приложение 2).

Положение эллипсоида в зерне найдено.

2) Наблюдаем при большом наклонении препарата около оси в одну какую-либо сторону резкое понижение интерференционной окраски зерна, но полной темноты не наступает. Оптическая ось образует с плоскостью шлифа угол меньше  $30^\circ$ . Главное сечение перпендикулярно к оси  $I$  столика. Запишем его координаты  $N = 65$ ,  $H = 0^\circ$  (главного сечения — см. приложение 3).

Приводим столик в основное положение и вращаем препарат около оси  $N$  ровно на  $90^\circ$  относительно положения первой темноты, т. е. до положения второй темноты, которая не сохранилась при вращении около оси  $H$ .

Освобождаем зажим  $i$  и вращаем препарат около оси  $I$ , темнота сохраняться не будет. Останавливаем вращение около оси  $I$  на просветлении, закрепляем зажим  $i$ , освобождаем зажим  $h$  и наклоняем препарат около оси  $H$  до максимальной темноты. Освобождаем зажим  $i$  и пробуем, вращая столик около оси  $I$ , сохраняется ли полученная темнота. Если не сохраняется, то, не трогая оси  $N$ , останавливаем вращение около оси  $I$  в положении просветления и, осторожно наклоняя столик около оси  $H$  на малые углы, добиваемся темноты, сохраняющейся при вращении около оси  $I$ .

Темнота сохраняется — плоскость симметрии эллипсоида, перпендикулярная к оси вращения эллипсоида, найдена, т. е. найдено круговое сечение эллипсоида вращения; оно совмещено с плоскостью симметрии микроскопа и перпендикулярно к оси  $I$  столика.

Записываем координаты кругового сечения эллипсоида, т. е. найденной второй плоскости симметрии эллипсоида, перпендикулярной к оптической оси минерала. Пусть они в нашем примере  $N = 155^\circ$ ,  $H = 20^\circ L$  (см. приложение 3).

II. Темнота при вращении около оси  $I$  не сохраняется, а сохраняется при вращении около оси  $H$ .

Главное сечение перпендикулярно к плоскости шлифа, проходит через ось  $I$  и перпендикулярно следовательно к оси  $H$  (столик в основном положении).

Поворачиваем препарат около оси  $N$  на  $90^\circ$ , т. е. до положения второй темноты. Теперь очевидно темнота будет сохраняться при вращении около оси  $I$ , а при вращении около оси  $H$  сохраняться не будет.

Второй случай следовательно сведен к первому случаю, для которого определение положения эллипсоида только что было изложено (см. случай I).

III. Темнота сохраняется при вращении около оси  $I$  (I темнота) и при вращении около оси  $H$  (II темнота). Оптическая ось лежит в плоскости шлифа, т. е. мы имеем разрез зерна плоскостью шлифа по главному сечению, а с осью  $I$  столика совмещена либо оптическая ось—ось вращения эллипсоида, либо ось симметрии эллипсоида второго порядка.

Освобождаем зажим  $h$ , наклоняем препарат около оси  $H$  на углы  $15$ — $30^\circ$  при положении первой темноты и закрепляем зажим  $h$ .

Вращаем препарат около оси  $I$ , замечая, сохраняется ли теперь темнота или нет.

Темнота опять сохраняется. Плоскость, перпендикулярная к оси  $I$ , есть главное сечение (плоскость I), и с осью  $I$  совмещена одна из осей симметрии второго порядка, а с осью  $H$  совмещена ось вращения эллипсоида.

Поворачиваем препарат около оси  $N$  до положения второй темноты и проделываем те же манипуляции, которые были описаны выше, теперь темнота после наклона около оси  $H$  сохраняться не будет. Плоскость, соответствующая положению второй темноты, не будет плоскостью главного сечения. Наклонением препарата около оси  $H$  на  $15$ — $30^\circ$  мы ось вращения вывели из совмещения с осью  $I$ .

Если бы оказалось, что после наклона препарата около оси  $H$  на  $15$ — $20^\circ$  при положении второй темноты она вновь сохранилась бы при вращении около оси  $I$ , то, само собой понятно, плоскостью главного сечения была бы вторая плоскость, а не первая.

Записываем координаты плоскостей; пусть в нашем примере координаты I плоскости  $N = 45^\circ$ ,  $N = 0^\circ$  (главное сечение), II— $N = 135^\circ$ ,  $H = 0^\circ$  (круговое сечение) (см. приложение 4).

В этом третьем, рассматриваемом случае, когда обе темноты сохраняются, решить вопрос, которая из этих плоскостей является главным сечением, можно и другим методом, кроме указанного выше.

Поворачиваем при основном положении столика препарат сначала в положение первой темноты, которая сохраняться при вращении около оси  $I$ . Исследуем плоскость симметрии эллипсоида, соответствующую положению первой темноты, т. е. плоскость, перпендикулярную к оси  $I$  (I плоскость). Для этого освобождаем винт  $a$  и вращаем столик около оси  $A$  на  $45^\circ$ , закрепляем зажим  $a$  и, освободив винт  $i$ , вращаем столик около оси  $I$  на большие углы, наблюдая за изменением интерференционной окраски зерна. Если она значительно понижается, то мы вращением около оси  $I$  оптическую ось минерала приближаем к совмещению с оптической осью микроскопа, т. е. сечения эллипса приближаются к круговым, и разность хода убывает, поэтому и наблюдаем понижение интерференционной окраски. Исследуемая плоскость есть главное сечение.

Исследуем также вторую плоскость. Для этого поворачиваем препарат только около оси  $N$  ровно на  $90^\circ$ , наклоняем препарат около  $I$  в обе стороны и наблюдаем за изменением интерференционной окраски.

Теперь при наклонении препарата около оси  $I$  на большие углы должны наблюдать, хотя может быть и незначительное, но повышение интерференционной окраски, так как здесь возрастание разности хода лучей будет обуславливаться только изменением для проходящего луча толщины пластинки зерна, увеличивающейся пропорционально углу наклона пластинки.

Понижение интерференционной окраски при указанных манипуляциях для первой плоскости и повышение для второй указывают, что плоскостью главного сечения будет та плоскость, в которой при данном исследовании наблюдали значительное понижение интерференционной окраски зерна при больших углах наклона около оси  $I$ .

Если решить вопрос об интенсивности понижения окраски зерна в этом случае не представляется возможным, то для определения главного сечения следует обратиться к первому методу, описанному выше.

Нанесем по записанным координатам плоскость главного сечения, круговое сечение и оптическую ось на сетку. Нанесение их на сетку ничем не будет отличаться от нанесения плоскостей симметрии трехосного эллипсоида, о чем говорилось уже выше. Положение на сетке оптической оси минерала в главном сечении определяется в случае, когда оптическая ось была недоступна наблюдению, как полюс плоскости кругового сечения, помня, что оптическая ось есть нормаль к круговому сечению эллипсоида оптической индикатриссы.

## § 12. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗНАКА ОДНООСНОГО МИНЕРАЛА.

Пусть мы определили, что данный минерал одноосный, и положение эллипсоида в нем зафиксировано на стереографической сетке.

Нам остается определить его знак, т. е. будет ли данный минерал одноосным положительным или одноосным отрицательным.

Одноосный минерал называется положительным, если эллипсоид оптической индикатриссы (показателей преломления) будет эллипсоид вращения, полученный вращением эллипса около его большой оси, и отрицательным, если эллипсоид вращения будет получен вращением около малой оси эллипса.

Сечение эллипсоида вращения плоскостью, проходящей через ось вращения, будет называться главным сечением. Главное сечение эллипсоида вращения будет эллипс, вращением которого около одной из осей и получен данный тип эллипсоида.

Зная, которая из осей эллипса главного сечения, малая или большая, будет осью вращения эллипсоида, т. е. оптической осью, мы можем определить и знак данного эллипсоида.

Определить знак одноосного минерала можно при помощи компенсационных приборов: гипсовой и слюдяной пластинками, кварцевым клином и вращающимися компенсаторами Никитина и Берека, если известно положение оптической оси в исследуемом зерне, т. е. если положение эллипсоида в зерне зафиксировано на сетке.

Пусть координаты плоскости главного сечения таковы:  $N=65^\circ$ ,  $H=0^\circ$ , а положение оптической оси  $I=290^\circ$ . По этим координатам положение эллипсоида нанесено на сетке (см. приложение 3). Поворачиваем восковку

около центра сетки и ставим индекс на отсчет по  $N = 65^\circ$ . Главное сечение эллипсоида, изображенное на восковке диаметром основного круга проекции, совместится с вертикальным диаметром, а оптическая ось будет лежать в точке пересечения главного сечения с 20-й параллелью сетки, считая от северного полюса к центру сетки ( $270^\circ + 20^\circ = 290^\circ$ ). Столик приведен в основное положение.

На эти же отсчеты ставим соответствующие лимбы столика, т. е. диск  $N$  ставим на отсчет  $65^\circ$  и главное сечение совместим с плоскостью симметрии микроскопа.

Совместим оптическую ось с плоскостью, перпендикулярной к оптической оси микроскопа. Для этого, как видно на проекции, препарат нужно наклонить от себя на  $20^\circ$ .

Вращаем препарат около оси  $I$  от себя на  $20^\circ$ , т. е. совмещаем  $20^\circ$  деление лимба оси  $I$  с нулем нониуса, закрепляем зажим  $i$ . Освобождаем зажим  $a$  и вращаем столик около оси  $A$  в сторону против хода часовой стрелки на  $45^\circ$ . Закрепляем зажим  $a$ . При таком положении препарата оптическая ось будет лежать в плоскости, перпендикулярной к оптической оси микроскопа, и будет перпендикулярна к оси  $I$  столика, т. е. будет занимать положение под углом  $45^\circ$  к нитям окулярного креста и делить пополам прямые углы между нитями квадрантов II и IV. На рис. 14 положение ее изображено прямой  $Ng$ .

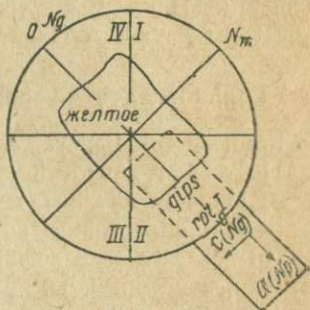


Рис. 14.

Вставляя теперь гипсовую пластинку по направлению оптической оси, замечаем, что зерно окрасилось в желтый цвет. Мы имеем понижение интерференционной окраски гипсовой пластинки в том месте, где она покрывает исследуемое зерно.

Следовательно наложение эллипса гипсовой пластинки и эллипса главного сечения зерна несогласное, т. е. оптическая ось или ось вращения эллипсоида представляет большую ось эллипса главного сечения, поэтому минерал — одноосный положительный.

Если бы в этом случае наблюдали повышение интерференционной окраски гипсовой пластинки, т. е. зерно было бы окрашено в синий цвет, то положение эллипсов гипсовой пластинки и зерна было бы согласное, т. е. ось вращения эллипсоида или оптическая ось была бы в главном сечении малой осью эллипса, и минерал был бы одноосный отрицательный.

Изложенная здесь задача, как совместить главное сечение эллипсоида с плоскостью, перпендикулярной к оптической оси микроскопа, будет необходима в дальнейшем при решении задач:

I. Определение силы двойного лучепреломления кристаллов.

II. Определение толщины шлифа по кварцу или какому-нибудь другому, заранее известному, минералу.

### § 13. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗНОСТИ ХОДА ЛУЧЕЙ $\Gamma$ В ДВУПРЕЛОМЛЯЮЩИХ ПЛАСТИНКАХ МИНЕРАЛА КОМПЕНСАТОРОМ БЕРЕКА.

Из курса кристаллооптики известно, что разность хода лучей в пластинке двоякопреломляющего вещества  $\Gamma = d(N'p - N'g)$ , где  $d$  — толщина

пластинки в направлении лучей, а  $N'g - N'p$  — разность показателей преломления их в данном сечении.

Зная величину  $(N'g - N'p)$  для заранее известного минерала и измерив  $\Gamma$  — разность хода, мы можем вычислить и толщину пластинки. Она будет равна:

$$d = \frac{\Gamma}{N'g - N'p}.$$

На основании той же формулы обратно, измерив возникшую в минерале разность хода и зная толщину пластинки, мы можем вычислить величину двойного преломления:  $N'g - N'p = \frac{\Gamma}{d}$ .

Итак, для решения первой и второй поставленных задач необходимо только измерить разность хода  $\Gamma$ .

Разность хода точно измеряется приборами, которые называются компенсаторами. Из них наиболее употребительными являются вращающиеся компенсаторы Берека и Никитина и компенсатор Бабинэ.

**Как пользоваться компенсатором Берека и таблицами к нему.**

Компенсатор Берека<sup>1</sup> служит для:

1) Точного измерения разности хода  $\Gamma$  в двупреломляющей среде.

2) Определение оптического характера (знака минерала) анизотропной среды при ортоскопическом и коноскопическом наблюдении.

Он вставляется с левой стороны в прорез тубуса, имеющийся над объективом, в который обычно вставляются гипсовая и слюдяная пластинки.

*При вдвигании и выдвигании компенсатора прежде всего необходимо замечать, чтобы нуль нониуса был поставлен на 30-е деление барабана — место нуля (Nullage).*

При вставленном в прорез тубуса компенсаторе, находящемся в нулевом положении, в поле зрения микроскопа при скрещенных николях виден темный крест. Кладут анизотропную пластинку на предметный столик микроскопа и его вращают. Темный крест исчезает, если кристаллическую пла-

<sup>1</sup> Компенсатор Берека представляет пластинку толщиной около 0,1 мм, вырезанную из кальцита, перпендикулярно оптической оси, и вставленную в оправу таким образом, что она может вращаться вокруг оси, перпендикулярной к оптической оси, т. е. вокруг одной из бесчисленных осей кругового сечения (кальцит — минерал одноосный отрицательный). Если этот компенсатор, при совмещенных индексах его барабана 30° и 0 нониуса, вставить в прорез тубуса микроскопа, то оптические оси их совпадут, поэтому явление двупреломления не будет наблюдаться (разность хода равна нулю). При начале вращения компенсатора появляется разность хода, соответственно чему появляется интерференционная окраска (при скрещенных николях), тем более высокая, чем больший угол поворота компенсатора. Разность хода лучей определяется по формуле  $d(N'g - N'p)$ . В нашем случае в этом произведении переменными являются оба множителя, так как  $d$  есть путь лучей в пластинке и очевидно он наименьший, когда луч падает на пластинку нормально к ее поверхности. При наклоне пластинки  $d$  увеличивается;  $N'g - N'p = 0$  для кругового сечения, так как  $N'g = Nm$  и  $N'p = Nm$ ; при повороте пластинки мы переходим к эллиптическим сечениям, и максимальная величина  $N'g - N'p = Nm - Np$  будет соответствовать повороту на 90°. В компенсаторе Берека такие повороты делать нельзя, так как, во-первых, ходу луча будет мешать оправка, во-вторых, слишком увеличится  $d$ , вследствие чего быстро возрастет произведение  $d(N'g - N'p)$ , и мы получим неразличимые высокие цвета интерференции.

*Прим. ред.*

стинку из положения погасания приведут к диагональному положению, т. е. если повернут столик на  $45^\circ$  от положения погасания пластинки.

При интенсивном освещении уже при разности хода в 2—3  $\mu$  обнаруживается исчезновение темного креста, что позволяет измерить незначительные разности хода.

Для малых разностей хода точность измерения получается значительно большая, чем при компенсаторе Бабинэ.

Для больших разностей хода он равноценен с компенсатором Бабинэ.

Компенсатор позволяет измерять разность хода в широких пределах до цветов 3—4-го порядков.

### Измерение разности хода Г.

Минерал, разность хода лучей в котором хотят определить, должен быть приведен к пересечению нитей окуляра и поставлен в такое положение к компенсатору, при котором разность хода может быть компенсирована (уничтожена), т. е. когда наложение осей эллипсов исследуемого зерна и пластинки компенсатора будет строго параллельное, но *несогласное по наименованию*.

Последнее достигается следующим образом: поворачивают столик микроскопа без компенсатора или, все равно, при вставленном компенсаторе, но при нулевом его положении, до положения полного угасания минерала.

Пусть отсчет, соответствующий этому положению зерна, по лимбу столика был А.

Ставят лимб предметного столика микроскопа на отсчет  $A + 45^\circ$ , вращают затем барабан компенсатора (компенсатор вставлен) в любую сторону от нулевого положения и наблюдают, повышается или понижается интерференционная окраска минерала.

Если понижается, то минерал находится в нужном для компенсации положении, т. е. наложение осей эллипсов пластинки компенсатора и исследуемого зерна параллельное, но не согласное.

Если интерференционная окраска повышается, то следует поставить лимб столика микроскопа на отсчет  $(A + 45^\circ) + 90^\circ$ ,<sup>1</sup> при котором *должна* наступить компенсация. Когда это положение достигнуто, вращают барабан компенсатора в ту или другую сторону от нулевого положения, пока не наступит компенсация. При полной компенсации зерно гасится, т. е. становится темным.

Полная компенсация наступает при малых разностях хода тем лучше, чем тщательнее были совмещены колебания лучей в пластинке с колебаниями лучей в компенсаторе.

Благодаря небольшому повороту столика микроскопа до максимального потемнения зерна, можно достигнуть полной компенсации и тем самым тщательнее совместить колебания лучей в пластинке с колебаниями в компенсаторе.

Целесообразно будет при этом диафрагму конденсора или диафрагму окуляра (если она имеется) немного сомкнуть. Пусть отсчеты на барабане компенсатора при обоих положениях компенсации (при вращении к себе и от себя) были бы  $a$  и  $b$ . Тогда угол поворота от положения нуля до наступления компенсации будет измеряться:

$$i = \frac{a - b}{2}.$$

<sup>1</sup> Или все равно на отсчет  $A - 45^\circ$ .

Разность хода  $\Gamma$  вычисляется по следующей формуле:

$$\log \Gamma = \log C + \log f(i).$$

Значения  $\log C$  и  $\log f(i)$  берутся из таблиц, прилагаемых к каждому компенсатору фирмой Leitz.

На обложке таблиц имеется маленькая табличка констант данного компенсатора, с указанием номера компенсатора, для которого эти константы вычислены.

Для примера приводим:

Константы для компенсатора № 506.

$\lambda$	$C$ 656 $\mu\mu$	$D$ 589 $\mu\mu$	$F$ 486 $\mu\mu$	Дневной свет Основн. пункт 550
$\log C$	3,901	3,903	3,910	3,907
$\frac{C}{10\ 000}$	0,798	0,804	0,812	0,808

В столбике  $C$  приведены значения констант компенсатора, которыми следует пользоваться для вычисления при работе с красным светом ( $\lambda = 656 \mu\mu$ ), в столбике  $D$  — при работе с желтым светом ( $\lambda = 589 \mu\mu$ ), в столбике  $F$  — с синим светом ( $\lambda = 486 \mu\mu$ ) и в последнем столбике — при работе с дневным светом.

Для вычисления разности хода при помощи логарифмов берут значение  $\log f(i)$  в таблице I, находят непосредственно на обложке соответствующую константу данного компенсатора  $\log C$  для данного света и подставляют в формулу

$$\log \Gamma = \log C + \log f(i).$$

По таблице II находим число, соответствующее  $\log \Gamma$ , вычитая предварительно из характеристики 10, получим разность хода в  $\mu\mu$ .

Пример. Пусть имеем оба отсчета при положении компенсации

$$a = 35^{\circ},7 \quad b = 24^{\circ},5$$

$$\text{откуда } i = \frac{a-b}{2} = \frac{35^{\circ},7 - 24^{\circ},5}{2} = 5^{\circ},6.$$

Из таблицы I находим  $\log f(5^{\circ},6) = 7,980$ .

Пусть для нашего примера  $\log C = 3,907$   
 $\log \Gamma = 11,887$ .

Из таблицы II находим число, соответствующее мантиссе 887. Это число = 771.

Из характеристики (в нашем примере = 11) каждый раз вычитается 10; остаток, увеличенный на единицу, дает целое число знаков перед запятой ( $11 - 10 + 1$ ) = 2.

Таким образом искомая разность хода

$$\Gamma = 77,1 \mu\mu.$$

Для вычисления разности хода при помощи счетной линейки берут в таблице III значение для 10 000  $f(i)$  и перемножают с приведенной на

обложке таблицы константой  $\frac{C}{10\,000}$ ; получается разность хода, выраженная также в  $\mu$ .

Пример.

$$a = 35^{\circ},7 \quad b = 24^{\circ},5$$
$$i = \frac{a - b}{2} = \frac{35^{\circ},7 - 24^{\circ},5}{2} = 5^{\circ},6.$$

Из таблицы III находим  $10\,000 f(5^{\circ},6) = 95,4$ . Пусть константа для нашего примера

$$\frac{C}{10\,000} = 0,808.$$

Таким образом  $\Gamma = 95,4 \cdot 0,808 = 77,1$ .

Если хотят выразить разность хода в частях длины волны того света, при котором велись наблюдения, то

$$n = \frac{\Gamma}{\lambda}.$$

При известной толщине  $d$  исследуемого минерала возможно определить и двойное лучепреломление по формуле

$$N'g - N'p = \frac{\Gamma}{d}$$

$d$  конечно должно быть выражено в  $\mu$ .

### Определение констант компенсатора.

Константы компенсатора находятся следующим образом.

При монохроматическом свете с длиной волны  $\lambda$  при скрещенных николях вставляют в тубус компенсатор и вращают сначала в одну сторону до тех пор, пока не появится первая темная полоса в пересечении нитей окулярного креста.

Пусть отсчет при этом положении барабана будет  $a$ , затем снова вращают компенсатор в противоположном направлении от места нуля, пока вновь не появится в кресте нитей первая темная полоса с другой стороны. Пусть при противоположном вращении отсчет по барабану компенсатора будет  $b$ .

Тогда угол поворота, который соответствует разности хода, будет

$$i = \frac{a - b}{2}.$$

Из таблицы I находим также  $\log f(i)$ , а из таблицы II  $\log \lambda$ .

Тогда константа компенсатора  $\log C$  для света данной длины волны  $\lambda$  будет:

$$\log C = \log \lambda - \log f(i).$$

Можно вместо первых темных пар полос для вычисления  $\log C$  пользоваться любой парой  $n$ -ых полос, тогда

$$i_n = \frac{a_n - b_n}{2}.$$

Здесь  $C$  определяется из формулы  $\log C = \log n\lambda - \log f(i)$ . Для  $\log C$  получим то же значение, как и в первом случае.

Таким образом будет вычисляться  $\log C$  для любого света с длиной волны  $\lambda$ . Чтобы получить константу  $\log C$  для белого дневного света, для которого при вращении компенсатора темной полосы мы не получим, приводят вращением барабана в пересечение нитей наиболее чувствительную окраску — границу между цветами 1-го и 2-го порядков (т. е. фиолетовый 1-го порядка). В остальном поступают так же, как и выше. Для  $\lambda$  в этом случае берут значение  $\lambda = 575 \text{ м.к.}$  Константу  $\frac{C}{10\,000}$  для работы со счетной линейкой вычисляют из  $\log C$ . Находят число, соответствующее  $\log C$ , пользуясь таблицей II, и делят полученное число на 10 000.

#### § 14. ГРАДУИРОВКА КОМПЕНСАТОРА БАБИНЭ<sup>1</sup> И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИМ РАЗНОСТИ ХОДА ЛУЧЕЙ.

Освещают поле зрения микроскопа каким-нибудь монохроматическим светом.

Убирают окуляр и на его место помещают компенсатор так, чтобы длинная сторона его металлической оправы заняла диагональное положение под углом  $45^\circ$  к направлению колебания лучей в поляризаторе. Для точной установки компенсатора в этом положении в нижней части его имеется винтик, который должен заходить в прорез тубуса микроскопа.

Выключают анализатор, на компенсатор надевают накладной анализатор, который должен быть в скрещенном положении с поляризатором. Вращают барабан компенсатора до тех пор, пока отсчеты по счетчику и барабану не станут нули.

Смотрят в микроскоп и видят темную полосу. Если она находится не в пересечении линий, видимых в поле зрения, то вращением барабана в ту или другую сторону приводят темную полосу к их пересечению.

<sup>1</sup> Компенсатор Бабинэ представляет два прямоугольных, очень острых (угол в вершине  $1-1\frac{1}{2}^\circ$ ) клина, сложенных вместе так, что образуется тонкая призматическая пластинка. Клинья вырезаются из кварца таким образом, что в верхнем оптической ось расположена по длине, а в нижнем по ширине, т. е. в сложенном виде система обладает взаимно перпендикулярными оптическими осями. Верхний клин устраивается неподвижным, нижний может передвигаться так, что его оптическая ось остается перпендикулярной к оптической оси верхнего клина. Величина передвижения может отсчитываться при помощи микрометричного устройства с точностью не менее  $1/100 \text{ м.к.}$  Благодаря указанному устройству разность хода при прохождении лучей поляризованного света через клинья будет зависеть только от толщины их в данной точке, и ввиду перпендикулярности оптических осей в точках с одинаковой толщиной разность хода будет равна нулю, следовательно в таких местах мы увидим темноту. Она будет расположена очевидно, в виде поперечной полосы. С удалением от темной полосы разность хода увеличивается, освещение от монохроматического света усиливается, но когда разность хода достигнет по величине целой длины волны данного монохроматического света, мы вновь будем наблюдать темную полосу, за ней другую темную полосу, соответствующую разности хода  $2\lambda$ , и т. д. Измерив микрометричным устройством расстояние между двумя темными полосами, мы будем знать, что оно соответствует разности хода в одну длину волны данного монохроматического света. Это расстояние обозначается  $\delta$ , оно очевидно зависит от величины угла клиньев и представляет константу данного компенсатора, которая определяется раз навсегда. Если бы мы воспользовались вместо монохроматического света обыкновенным, то в обе стороны от основной темной полосы мы увидели бы вместо других темных полос обычные цвета интерференции 1-го, 2-го и т. п. порядка. В настоящее время этот прибор почти совсем вышел из употребления.

*Прим. ред.*

Берут отсчеты по счетному колесу и по барабану. На счетчике будет отсчитываться целое число оборотов барабана, а по барабану — сотые доли оборота. Полученный отсчет будет истинное нулевое положение компенсатора, при котором разность хода лучей в компенсаторе  $\Gamma = 0$ .

Далее снова вращают барабан по часовой стрелке, пока в пересечение креста не придет вторая темнота, соответствующая разности хода в одну волну данного света, т. е.  $\Gamma = \lambda$ .

Опять берут отсчет по счетчику, соответствующий положению компенсатора, когда разность хода в нем равна одной волне  $\Gamma = \lambda$  данного света.

Вращают барабан в ту же сторону до получения третьей темноты в пересечении креста соответствующей разности хода в компенсаторе в  $2\lambda$  и берут отсчет по счетчику и барабану и т. д.

Затем повторяют несколько раз эти же операции снова, начиная от нулевого положения компенсатора, беря каждый раз отсчеты при положении темной полосы в пересечении креста, т. е. при

$$\Gamma = 0, \lambda, 2\lambda \dots n\lambda.$$

Таким образом получим несколько близких отсчетов, при  $\Gamma = 0$ , несколько отсчетов при  $\Gamma = \lambda$  и т. д. Пусть мы повторили наблюдения три раза и получили для положения компенсатора при:

$\Gamma = 0$ : три отсчета $g_1^0 = 0,29$ $g_2^0 = 0,30$ $g_3^0 = 0,31$ <hr style="width: 50%; margin: 0 auto;"/> средний $g^0 = 0,30$	$\Gamma = \lambda$ : три отсчета $g_1^\lambda = 6,23$ $g_2^\lambda = 6,15$ $g_3^\lambda = 6,21$ <hr style="width: 50%; margin: 0 auto;"/> средний $g^\lambda = 6,197$ и т. д.
---	--

Теперь вращаем барабан в другую сторону, т. е. против часовой стрелки, и повторяем те же операции, беря отсчеты при положении темной полосы в пересечении креста, соответствующие разности хода в компенсаторе

$$\Gamma = 0, \lambda, 2\lambda \dots n\lambda.$$

Таким образом получим также несколько отсчетов при положении компенсатора, когда  $\Gamma = 0, \lambda, 2\lambda \dots n\lambda$ , для вращения барабана против часовой стрелки.

Пусть наблюдения повторим три раза и получим для положения компенсатора при:

$\Gamma = 0$ : три отсчета $g_1^0 = 0,29$ $g_2^0 = 0,30$ $g_3^0 = 0,31$ <hr style="width: 50%; margin: 0 auto;"/> берем среднее $g^0 = 0,30$	$\Gamma = \lambda$ : три отсчета $g_1^\lambda = 74,09$ $g_2^\lambda = 74,10$ $g_3^\lambda = 74,11$ <hr style="width: 50%; margin: 0 auto;"/> берем среднее $g^\lambda = 74,10$
---	---

Составим теперь диаграмму градуировки компенсатора Бабинэ. Пусть наблюдения велись в желтом свете с длиной волны  $\lambda = 589 \mu\text{m}$ .

Чертим оси координат на миллиметровой бумаге.

Откладываем от начала координат по оси ординат вверх в произвольном масштабе разности хода, выраженные в  $\mu\text{m}$ .

По оси абсцисс вправо откладываем отсчеты по счетчику и барабану, соответствующие вращению барабана по часовой стрелке, и влево по оси абсцисс откладываем отсчеты по счетчику и барабану, соответствующие вращению против часовой стрелки.

Теперь строим точки по координатам:

Для вращения по часовой стрелке

1.  $x_1 = g^0 = 0,30$   
 $y_1 = \Gamma = 0$
2.  $x_2 = g^\lambda = 6,197$   
 $y_2 = \Gamma = \lambda = 589 \text{ мк}$
3.  $x_3 = g^{2\lambda} = a$   
 $y_3 = \Gamma = 2\lambda = 2 \cdot 589 \text{ мк}$

Для вращения против часовой стрелки

- 1'.  $x_{1'} = g^0 = 0,30$   
 $y_{1'} = \Gamma = 0$
- 2'.  $x_{2'} = g^\lambda = 74,10$   
 $y_{2'} = \Gamma = \lambda = 589 \text{ мк}$
- 3'.  $x_{3'} = g^{2\lambda} = a'$   
 $y_{3'} = \Gamma = 2\lambda = 2 \cdot 589 \text{ мк}$

Соединяем точки 1, 2, 3 и 1', 2', 3'; получим прямые линии, которые будут выражать зависимость между разностью хода лучей в компенсаторе и числом оборотов барабана (рис. 15).

Компенсатор проградуирован, и им теперь можно будет пользоваться для определения разности хода.

Для определения разности хода в кристаллической двупреломляющей пластинке ставят ее в центр креста нитей и вращением столика тщательно устанавливают в положение полного погасания. Пусть отсчет по столику

был А. Поворачивают столик в любую сторону и ставят на отсчет  $A \pm 45^\circ$ , в положение максимального освещения зерна, т. е. когда направления колебаний лучей в пластинке образуют с нитями окулярного креста угол  $45^\circ$ . Убирают окуляр микроскопа и на место его ставят проградуированный компенсатор в соответствующее положение, о котором уже

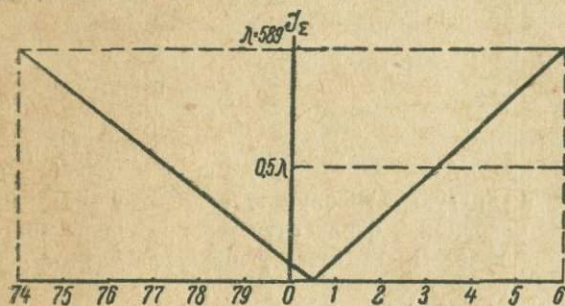


Рис. 15.

говорилось при градуировании компенсатора, т. е. чтобы направления колебаний лучей в кристаллической пластинке совпадали с направлениями колебаний лучей в компенсаторе.

Выключают анализатор, а на компенсатор надевают накладной анализатор в скрещенном положении к поляризатору. Метка в компенсаторе в виде крестика (×) находится на исследуемом зерне.

Вращают барабан компенсатора и в ту и в другую сторону до тех пор, пока зерно не погасится, т. е. не станет темным, или, иначе говоря, пока темная полоса не появится в пересечении креста. Берут отсчет по счетчику и барабану, соответствующий моменту погасания исследуемого зерна, т. е. при наступлении компенсации.

Считаем отсчет по счетчику. Пусть видим, что через штрих, имеющийся на оправе счетчика, прошел 2-й зубчик счетного колесика, а 35-е деление барабана совпадает со штрихом нониуса. Записываем отсчет так: 2,35. Отсчет показывает, что мы барабан повернули по часовой стрелке на 2,35 оборота.

Ищем на диаграмме по оси абсцисс, вправо от начала ординат, точку, соответствующую отсчету 2,35. Через нее проводим перпендикуляр к оси абсцисс до пересечения с прямой, выражающей зависимость между числом

оборотов барабана и разностью хода компенсатора. Ордината точки пересечения и будет разность хода  $\Gamma$ , выраженная в  $\mu$ , которую требовалось определить в исследуемой пластинке.

## § 15. КВАРЦЕВЫЙ КЛИН, ЕГО ГРАДУИРОВКА И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИМ РАЗНОСТИ ХОДА.

Описанный выше компенсатор Берека введен в употребление недавно и прилагается только к новым микроскопам фирмы Лейтц. Компенсатор Бабинэ сейчас почти вышел из употребления. Простейшим прибором для определения разности хода является кварцевый клин, пользующийся у нас наибольшим распространением. По сравнению с компенсатором Берека он обладает меньшей точностью, но этот недостаток не такой уж большой, так как точность измерения разности хода на Береке излишня для определения величины двойного лучепреломления, вследствие неточности измерения толщины шлифа. Преимуществом кварцевого шлифа, помимо его простоты и дешевизны, является возможность определения больших разностей хода, которые нельзя измерить компенсатором Берека. Поэтому даже при наличии последнего кварцевый клин нередко оказывается совершенно необходимым.

Кварцевый клин, как показывает само название, представляет собой удлиненную прямоугольную клиновидную пластинку кварца, постепенно утолщающуюся от минимальной толщины 0,01—0,02 мм до толщины около 0,25 мм. Пластинка вырезается из кристалла кварца параллельно главному сечению, причем большая ось  $N_g$  обычно параллельна короткой стороне пластинки (бывает и наоборот). Этот клин клеивается между двумя стеклянными пластинками, причем на верхней наносятся миллиметровые деления.

Прежде чем приступить к измерению разности хода в исследуемом минерале, необходимо проградуировать клин, т. е. найти зависимость между делениями шкалы и разностью хода. Эту зависимость лучше всего представить в виде диаграммы. Так как разность хода при одинаковом двупреломлении прямо пропорциональна трещине пластинки, легко убедиться, что эта зависимость должна выразиться в виде прямой линии, и для ее получения достаточно собственно двух точек. Однако в виду того, что клин может быть изготовлен недостаточно правильно, для проверки следует получить большее число точек. Градуировка кварцевого клина производится следующим образом.

На микроскоп одевается специальный окуляр с прорезом, в который вдвигается кварцевый клин так, что он составляет угол  $45^\circ$  с направлениями колебаний в николях. Окуляр устроен так, что клин находится в его фокусе, и видны деления шкалы. В окуляре перпендикулярно к клину натянута одна или два волоска, дающие возможность брать отсчет в момент компенсации. На окуляр надевается накладной анализатор, а обычный анализатор выдвигают.

Градуировка производится в монохроматическом свете, для получения которого обычно применяют горелку с натровым пламенем (длина волны 589  $\mu$ ). Вдвигая клин, будем видеть на светлом фоне ряд черных полос. Эти полосы появляются в точках, для которых разность хода равна целому числу волн ( $n \cdot 589 \mu$ ).

Для построения диаграммы следует взять отсчет по шкале сначала для первой черной полосы, и, приняв за абсциссу отсчет по шкале, а за ординату — разность хода, получим первую точку. Затем точки делаем для второй полосы, причем здесь разность хода будет  $2 \cdot 589 \mu\text{м}$ .

Для проверки наносим также точки, соответствующие 3, 4 и т. д. полосам. Все точки должны лечь на одну прямую линию, которая и является диаграммой клина.

Проградуировав кварцевый клин, можно приступить к определению разности хода. Поставив главное сечение минерала  $NgNp$  перпендикулярно к оси микроскопа (см. ниже §§ 18 и 19), совместив ось  $Np$  с осью  $I$ , поворачиваем столик вокруг оси  $A$  на  $45^\circ$  против часовой стрелки. Одеваем специальный окуляр и накладной анализатор. Выдвигаем обычный анализатор. Вдвигаем кварцевый клин в прорез окуляра и добиваемся полной компенсации. Берем отсчет по шкале и по диаграмме находим разность хода.

Если градуировку кварцевого клина в монохроматическом свете произвести представляется невозможным, можно довольствоваться более простой градуировкой. Вдвигаем кварцевый клин в прорез окуляра без шлифа, в обычном свете, до появления чувствительного фиолетового цвета 1-го порядка. Берем отсчет по шкале. Предположим, отсчет равен  $n$  делений. Разность хода при этом равна  $575 \mu\text{м}$ . Отсюда цена деления =  $\frac{575}{n} \mu\text{м}$ . Обычно цена деления кварцевого клина около  $50 \mu\text{м}$ .

При работе с кварцевым клином нужно иметь в виду, что очень маленькие разности хода, отвечающие в обычных шлифах двупреломлениям до  $0,005-0,010$ , измерить невозможно, так как клин к тонкому концу не сходит на-нет, а имеет предельную толщину.

Если в распоряжении имеется кварцевый клин без делений, то приблизительное определение разности хода в главном сечении производится следующим образом. После соответствующих манипуляций со столиком ( $NgNp \perp$  к оси микроскопа, а  $Np$  совмещена с осью  $I$ ) кварцевый клин вставляем в прорез под объективом (без специального окуляра и накладного анализатора) и добиваемся полной компенсации. Выдвигаем клин, отмечаем смену цветов. Таким образом легко уловить порядок цвета и найти разность хода по таблице интерференционных цветов Мишель Леви. Этот способ конечно мало точен и при работе со столиком Федорова применяется редко.

Если в кварцевом клине по длине расположена  $Ng$ , а не  $Nm$ , то легко сообразить, что для получения компенсации перпендикулярно к кварцевому клину, т. е. параллельно оси  $I$ , следует ставить  $Ng$ , а не  $Np$  минерала.

Иногда вместо обыкновенного кварцевого клина применяется клин, в котором до обычного клина, начинающегося с нулевого деления, помещена гипсовая пластинка и затем кварцевая пластинка с  $Ng$  по длине (у самого клина  $Ng \perp$  к длине). Этот клин дает возможность измерять также и маленькие разности хода.

## § 16. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТОЛЩИНЫ ШЛИФА ПО КВАРЦУ.

Допустим мы определим, что в шлифе имеется зерно кварца. Положение эллипсоида оптической индикатриссы в нем нанесено в сетке.

Кварц, как известно, минерал одноосный и положительный, и следовательно эллипсоид показателей преломления (оптической индикатриссы) для него будет эллипсоид вращения, полученный вращением эллипса вокруг большой оси.

По принципу Френеля, исходя из эллипсоида показателей преломления, два главных показателя преломления кварца — наибольший  $Ng$  ( $\gamma$ ), соответствующий распространению колебания с наименьшей скоростью необыкновенного луча  $e$ , и наименьший  $Nm$  ( $\beta$ ), соответствующий распространению колебаний обыкновенного луча  $o$ , определяется сечением эллипсоида, плоскостью, проходящей через ось вращения эллипсоида, так как в этом сечении мы получаем эллипс, одна из осей которого остается постоянной, а другая принимает максимальное значение из всех возможных эллиптических сечений эллипсоида вращения. Плоскости, проведенные через нормаль сечения (направление вступающего луча) и оси эллипса, будут плоскостями колебания лучей, а величины осей покажут величину показателей преломления кварца соответственно указанным направлениям колебания лучей.

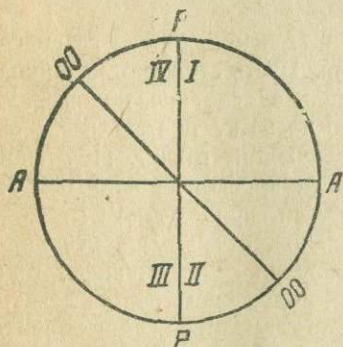


Рис. 16.

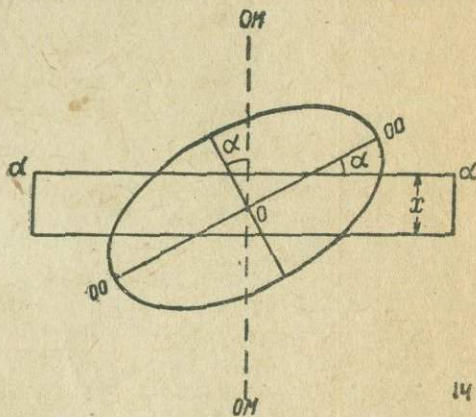


Рис. 17.

Таким образом разность между осями эллипса, полученного сечением, проходящим через ось вращения эллипсоида, будет максимальной из всех возможных эллиптических сечений и равна  $Ng - Nm = (\gamma - \beta)$ , т. е. разности между наибольшим и наименьшим показателями преломления,<sup>1</sup> которая называется силой двойного лучепреломления. Для кварца она равна:

$$Ng - Nm = 0,009.$$

Разность хода интерферирующих волн при прохождении через кварцевую пластинку, вырезанную параллельно оптической оси кварца, определится по формуле:

$$\Gamma = d(Ng - Nm),$$

<sup>1</sup> В кварце индикатрисса одноосна и положительна, поэтому третьей оси симметрии, соответствующей показателю преломления  $Np$ , нет, и наименьший показатель преломления соответствует каждой двойной оси симметрии эллипсоида вращения из бесконечного количества их, лежащих в круговом сечении, почему этот показатель преломления мы и должны обозначить  $Nm$ .

Прим. ред.

где  $d$  — толщина пластинки, а  $Ng - Nm = 0,009$  — сила двойного лучепреломления кварца.

Таким образом, если мы хотим определить силу двойного лучепреломления кварца, то эллипсоид нужно расположить так, чтобы лучи из поляризатора в зерно кварца поступали в направлении, перпендикулярном оптической оси. Далее следует измерить разность хода  $\Gamma$ , разделить на толщину пластинки  $d$ , и сила двойного лучепреломления будет определена:

$$Ng - Nm = \frac{\Gamma}{d}$$

Отсюда обратно: если известна величина  $(Ng - Nm)$  и  $\Gamma$ , то можно определить толщину пластинки по формуле:

$$d = \frac{\Gamma}{Ng - Nm}$$

Пусть мы исследовали зерно одноосного минерала, скажем, кварца, определили положение эллипсоида в нем и нанесли его на сетку:

$$N = 65^\circ \quad I = 290^\circ, \\ H = 0$$

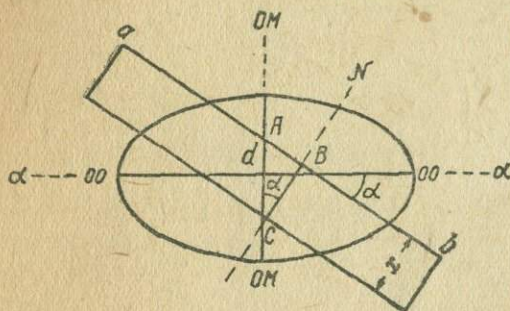


Рис. 18.

где  $N$  и  $H$  — координаты главного сечения. Пусть столик микроскопа приведен в основное положение, а лимб диска  $N$  поставлен на соответствующий отсчет. Повернем столик микроскопа около оси  $A$  на  $45^\circ$  (см. приложение 3).

Главное сечение, перпендикулярное к плоскости шлифа, при таком положении будет делить углы между нитями окулярного креста квадрантов II и IV пополам (см. рис. 16). Нарисуем разрез

зерна и эллипсоида вертикальной плоскостью, проходящей через ось  $I$ . Плоскость шлифа сейчас перпендикулярна к оптической оси микроскопа (рис. 17).<sup>1</sup>

$OM$  — оптическая ось микроскопа,

$OO - OO$  — оптическая ось кварца, она же ось вращения эллипсоида оптической индикатриссы,

$x$  — толщина пластинки,

$\alpha$  — острый угол, образуемый оптической осью минерала с плоскостью шлифа,

$aa$  — плоскость, перпендикулярная к оптической оси микроскопа.

Совместим оптическую ось минерала с плоскостью  $aa$ , для этого наклоним пластинку вправо (на рис. 18) на угол  $\alpha$ .

Пластинка и эллипс займут положение, показываемое на рис. 16.

$N$  — нормаль к шлифу в новом положении.

$CA = d$  — толщина зерна в направлении луча  $OM$ .

$\alpha$  — угол, на который наклонили пластинку.

<sup>1</sup> Рисунки 17 и 18 сделаны со стороны лимба оси  $I$  (справа).

Толщина зерна в направлении луча определится из формулы:

$$\Gamma = d(Ng - Nm)$$

откуда имеем:

$$d = \frac{\Gamma}{Ng - Nm}. \quad (1)$$

Сила двойного лучепреломления кварца равна  $(Ng - Nm) = 0,009$ . Величина  $\Gamma$  = разность хода, может быть измерена компенсатором, и таким образом  $\Gamma$  будет определено. Но толщина шлифа  $x$  по нормали к пластинке, как видно из рисунка, равна

$$x = d \cos \alpha.$$

Подставляя в эту формулу значение  $d$ , связанное равенством (1), окончательно получим:

$$x = \frac{\Gamma \cos \alpha}{Ng - Nm}.$$

### Порядок работы.

Столик в основном положении. На кресте нитей зерно кварца положение эллипсоида в нем определено и нанесено на сетке.<sup>1</sup>

Координаты главного сечения эллипсоида  $N = 65^\circ$ ,  $H = 0^\circ$ .

Координаты оптической оси . . . . .  $I = 290^\circ$ .

Вращаем препарат около оси  $N$  и ставим индекс диска на отсчет:  $N = 65^\circ$ .

Вращаем восковку около центра сетки и ставим индекс ее на отсчет  $N = 65^\circ$  основного круга проекции.

Совместим оптическую ось с плоскостью, перпендикулярной к оптической оси микроскопа. На сетке видим, что для этого нужно наклонить препарат от себя на  $290^\circ - 270^\circ = 20^\circ$  при помощи оси  $I$  столика. Следовательно  $\alpha = 20^\circ$ .

Освобождаем зажим  $i$  и поворачиваем препарат около оси  $I$  от себя, т. е. в нашем примере совмещаем 20-е деление лимба оси  $I$  с нулем нониуса и закрепляем зажим  $i$ .

Освобождаем зажим  $a$ , вращаем препарат около оси  $A$  в сторону против хода часовой стрелки на  $45^\circ$ .

Одно из главных сечений эллипсоида лежит в плоскости, перпендикулярной к оптической оси микроскопа, а оптическая ось кварца перпендикулярна к ней и расположена по диагонали квадрантов II и IV, под углом  $45^\circ$  к нитям окулярного креста. Зерно имеет максимальную интерференционную окраску. При таком положении зерна определяем разность хода  $\Gamma$  компенсатором Берека<sup>2</sup> или Бабинэ, как указано в §§ 13, 14.

Пусть  $\alpha = 20^\circ$ ,  $Ng - Nm = 0,009$ ,  $\Gamma = 250 \mu\text{м}$ .  $\times 1000$ .

Выразим разность хода в миллиметрах

$$\Gamma = 0,000250 \text{ мм.}$$

Подставляем найденные значения в формулу и вычисляем

$$x = \frac{\Gamma \cos \alpha}{Ng - Nm} = \frac{0,000250 \cos 20^\circ}{0,009} = 0,026 \text{ мм.}$$

<sup>1</sup> См. приложение 3.

<sup>2</sup> При работе с компенсатором Берека столик придется повернуть на  $90^\circ$  около оси  $A$  (см. стр. 43).

## § 17. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЦЕНЫ ДЕЛЕНИЯ ШКАЛЫ ОКУЛЯРНОГО МИКРОМЕТРА И ТОЛЩИНЫ ШЛИФА ПО ТРЕЩИНКЕ В ЗЕРНЕ.

Окулярным микрометром пользуются для точного измерения величины зерен, наблюдаемых в микроскопе, при исследовании дисперсии оптических осей и т. п., а при работе на Универсальном столике кроме того при определении толщины шлифа по методу трещинки в зерне.

Прежде чем пользоваться окулярным микрометром, нужно определить цену деления его шкалы.

Само собой понятно, что при различных увеличениях и цена деления окулярного микрометра будет различна.

Следовательно, приступая к измерениям окулярным микрометром, нужно определить цену его шкалы при данных условиях наблюдения, т. е. для данного увеличения.

При работе на Универсальном столике окулярным микрометром приходится пользоваться при определении толщины шлифа по методу трещины в зерне, заключенном между сегментами сферы. При этих условиях наблюдения увеличение зерна зависит не только от увеличения объектива, но и от сегментов сферы, между которыми заключено исследуемое зерно, так как верхний сегмент представляет собою оптическую систему, дающую некоторое увеличение помимо объектива.

Так как нам придется окулярным микрометром измерять элементы трещины в зерне, заключенном между сферами, при объективе с данным увеличением, то и цену деления окулярного микрометра следует определить при условиях, аналогичных данным условиям наблюдения.

Для этого на стеклянный диск столика спускаем каплю глицерина и накладываем объектный микрометр покровным стеклом вверх. На предметное стекло *объектного микрометра* снова помещаем каплю глицерина и приклеиваем верхнюю сферу, не прижимая пока предметного стекла плотно. Берем *окулярный микрометр* и вставляем в тубус.

Наводим на фокус, чтобы в поле зрения микроскопа были отчетливо видны деления объектного микрометра.

Поворачиваем осторожно предметное стекло объектного микрометра, чтобы штрихи его шкалы были параллельны со штрихами шкалы окулярного микрометра.

Теперь можно повернуть винтом верхние сферы плотнее.

Объектный микрометр представляет собою стеклянную пластинку, на которой 2 мм длины разделены на 200 частей, следовательно каждое деление равняется 0,01 мм.

Смотрим в микроскоп и замечаем, что два какие-то деления объектного микрометра совпадают с двумя какими-то делениями окулярного микрометра.

Пусть в  $n$  делениях окулярного микрометра, цена деления которого равна  $y$ , укладывается  $m$  делений объектного микрометра. Следовательно  $n$  делений окулярного микрометра равняются  $m \cdot 0,01$  мм, т. е.

$$ny = m \cdot 0,01 \text{ мм},$$

откуда одно деление окулярного микрометра, т. е. цена деления

$$y = \frac{m}{n} \cdot 0,01 \text{ мм}.$$

При  $m = 32$ ;  $n = 10$

$$y = \frac{32}{10} \cdot 0,01 \text{ мм} = 0,032 \text{ мм}.$$

Таким образом цена деления окулярного микрометра при данном объективе  $y = 0,032$  мм.

Теперь пусть мы измерим при том же объективе диаметр зерна или ширину трещинки, и она равняется  $b$  делениям окулярного микрометра; тогда истинная искомая величина диаметра зерна или ширина трещины  $x$  будет равна

$$x = b \cdot 0,032 \text{ мм.}$$

Пусть для нашего примера ширина трещины 1,5 делений окулярного микрометра (десятые доли деления окулярного микрометра можно брать на глаз), т. е.  $b = 1,5$ . Тогда видимая ширина трещины будет:

$$x = by = 1,5 \cdot 0,032 = 0,048 \text{ мм.}$$

Часто ошибочно определяют цену деления окулярного микрометра, помещая объективный микрометр прямо на столике микроскопа, и с полученной ценой деления оперируют потом, вычисляя толщину шлифа по методу трещинки, при работе на Универсальном столике. Результаты определения получаются неправильные, так как цена деления окулярного микрометра теперь будет иная чем та, которую мы получили бы для него, помещая объективный микрометр между сегментами сферы, так как сегмент самостоятельно дает некоторое увеличение предмета, заключенного между сегментами, помимо увеличения объектива.

На это нужно обратить внимание, чтобы не впасть в ошибку при определении толщины шлифа по методу трещинки, который будет изложен ниже. Меняя одну сферу на другую, показатель преломления которой иной, следует цену деления окулярного микрометра вычислить снова для новой пары сегментов.

Теперь определим толщину шлифа по методу трещинки в зерне.

Пусть линия  $AB$  (рис. 19) — след плоскости спайности или случайной трещины в зерне, или граница между двумя различными средами (минералами).

$NB$  — нормаль к плоскости шлифа.

$x$  — толщина шлифа.

$OM$  — оптическая ось микроскопа.

$ab$  — след плоскости, перпендикулярной к оптической оси микроскопа.

$\rho$  — угол, образуемый плоскостью трещины с нормалью к шлифу.

$\varphi$  — угол, образуемый нормалью шлифа с оптической осью микроскопа при данном наклонном положении пластинки.

$d$  — проекция ограничения трещины на плоскость, перпендикулярную к оптической оси микроскопа. Точка  $B$  лежит в пересечении верхней плоскости шлифа с плоскостью трещины, а точка  $A$  — в пересечении нижней плоскости шлифа с плоскостью трещины.

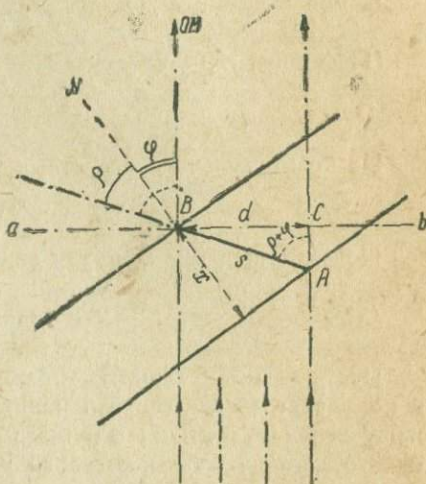


Рис. 19.

$s$  — длина следа плоскости трещины в шлифе ( $s = AB$ ).

Из прямоугольного треугольника  $ABC$  имеем:

$$d = s \sin(\varrho + \varphi). \quad (1)$$

В рассматриваемом случае углы  $\varrho$  и  $\varphi$  лежат в разные стороны по отношению к нормали шлифа  $NB$ . Так как возможен случай, когда  $\varrho$  и  $\varphi$  будут лежать по одну сторону  $NB$ , то во избежание ошибки при вычислении будем считать углы влево от нормали или в сторону, обратную движению часовой стрелки — положительными, а вправо или в сторону вращения часовой стрелки — отрицательными.

Принимая во внимание указанное правило отсчета углов, получим общую формулу в следующем виде:

$$d = s \sin(\varrho - \varphi). \quad (2)$$

Из формулы (2) имеем:

$$s = \frac{d}{\sin(\varrho - \varphi)}. \quad (3)$$

Из прямоугольного треугольника  $ABC$  имеем:

$$x = s \cos \varrho.$$

Подставляя в эту формулу значение  $s$  из формулы (3), получим:

$$x = s \cos \varrho = \frac{d \cos \varrho}{\sin(\varrho - \varphi)}. \quad (4)$$

Пусть мы окулярным микрометром измерили расстояние, видимое в микроскоп между верхней и нижней границами трещины, т. е. измерили нашу величину  $d$ , и она занимала  $n$  делений окулярного микрометра, цена одного деления шкалы которого  $y$ .

Тогда:

$$d = ny.$$

Подставляя это значение в формулу (4), получим окончательно:

$$x = \frac{d \cos \varrho}{\sin(\varrho - \varphi)} = \frac{ny \cos \varrho}{\sin(\varrho - \varphi)}.$$

### Порядок работы.

Приводим столик в основное положение и при выключенном анализаторе выбираем зерно с ясной, по возможности тонкой трещинкой.

Освобождаем винты верхнего сегмента и перемещаем след исследуемой трещины на плоскости препарата в положение, параллельное оси  $I$ , т. е. совмещаем след трещины с горизонтальной нитью окуляра.

Убираем окуляр и на место его вставляем окулярный микрометр так, чтобы деления шкалы были параллельны направлению трещины. Затем поворачиваем препарат около оси  $I$  в ту сторону, при наклоне в которую видимая ширина трещины убывает, до тех пор пока она не примет минимальную величину, причем отдельные трещины могут представиться в виде тонких, а иногда и двойных линий.

Угол наклона препарата будет  $\varrho$ . Он будет положительным, если против нуля ноннуса остановилось одно из делений лимба оси  $I$  от  $0^\circ$  до  $90^\circ$ , и

отрицательным, если с нулем нониуса совмещается одно из делений лимба оси от  $270^\circ$  до  $360^\circ$ .

Далее вращаем препарат около оси  $I$  в какую-либо сторону и замечаем, что ширина проекции трещины увеличивается. Останавливаем вращение, когда трещина проектируется в виде наиболее широкой полосы, а границы ее сохраняют достаточную резкость.

Угол наклона препарата около оси  $I$  от нуля до этого положения и будет угол  $\varphi$ . Он может быть положительным или отрицательным. При определении знака следует руководствоваться тем же правилом, которое было только что приведено при определении знака угла  $\varrho$ .

Если показатель преломления минерала значительно разнится от показателя преломления сегментов, то величины  $\varrho$  и  $\varphi$  при вычислениях должны быть приведены к показателю преломления минерала.

Теперь остается только измерить ширину проекции трещины окулярным микрометром,<sup>1</sup> цена деления которого должна быть известна, и вычислить толщину шлифа  $x$  по формуле

$$x = \frac{d \cos \varrho}{\sin (\varrho - \varphi)}.$$

Пример. Пусть при минимальной ширине трещины препарат был наклонен около оси  $I$ , и отсчет по лимбу оси  $I$  был при этом положении столтика  $20^\circ$ .

Тогда наше  $\varrho = +20^\circ$ .

При некотором наклонении проекция трещины заняла 0,5 делений шкалы окулярного микрометра, цена деления которого  $\gamma = 0,032$  мм, и отсчет по лимбу оси  $I$  был  $345^\circ$ .

Тогда

$$d = n\gamma = 0,5 \cdot 0,032 = 0,0160 \text{ мм}$$

$$\varphi = -(360^\circ - 345^\circ) = -15^\circ.$$

Толщина шлифа вычислится:

$$\begin{aligned} x &= \frac{d \cos \varrho}{\sin (\varrho - \varphi)} = \frac{0,0160 \cdot \cos 20^\circ}{\sin [20^\circ - (-15^\circ)]} = \frac{0,0160 \cdot \cos 20^\circ}{\sin 35^\circ} = \frac{0,0160 \cdot 0,94}{0,574} = \\ &= \frac{0,01504}{0,574} = 0,026 \text{ мм.} \end{aligned}$$

Вышеприведенной формулой пользуются при вычислении толщины шлифа по трещинке, когда она имеет незначительную толщину и ею можно пренебрегать.

Теперь рассмотрим случай, когда трещина имеет значительную толщину (рис. 20).

Пусть  $\sigma$  — минимальная (истинная) ширина трещины,  $\sigma'$  — ширина трещины в сечении плоскостью шлифа.

Из предыдущей формулы искомая толщина шлифа будет равна

$$x = \frac{BC \cdot \cos \varrho}{\sin (\varrho - \varphi)}.$$

Но в рассматриваемом случае в поле зрения микроскопа мы наблюдаем и видим проекцию ширины трещинки  $d$ , а не  $BC$ , которая нам нужна для вычисления толщины шлифа по приведенной формуле.

<sup>1</sup> Лучше пользоваться винтовым окулярным микрометром.

Но:

$$BC = d - \delta = d - \sigma' \cos \varphi$$

$$\sigma' = \frac{\sigma}{\cos \varrho}$$

Следовательно:

$$BC = d - \frac{\sigma \cos \varphi}{\cos \varrho} = \frac{d \cos \varrho - \sigma \cos \varphi}{\cos \varrho}$$

Подставляя найденное значение  $BC$  в формулу, получим выражение для толщины шлифа применительно к данному рассматриваемому случаю

$$x = \frac{BC \cdot \cos \varrho}{\sin (\varrho - \varphi)} = \frac{(d \cos \varrho - \sigma \cos \varphi) \cos \varrho}{\sin (\varrho - \varphi) \cos \varrho} = \frac{d \cos \varrho - \sigma \cos \varphi}{\sin (\varrho - \varphi)}$$

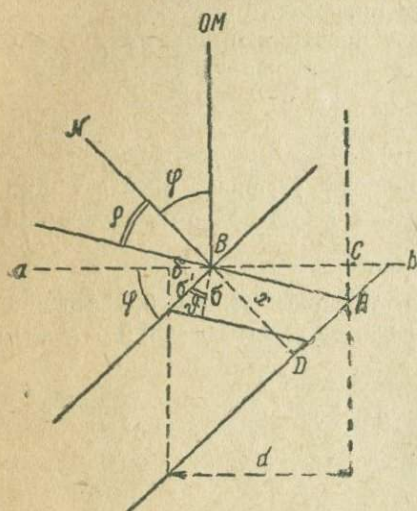


Рис. 20.

Отсюда будет вытекать и метод работы для этого случая.

Столик в основном положении. Освобождаем винты верхнего сегмента и перемещаем широкую трещинку к кресту нитей, чтобы трещина была параллельна оси  $I$  столика, т. е. параллельна горизонтальной нити окуляра.

Привинчиваем сегмент.

Убираем окуляр и вместо него ставим окулярный микрометр. Освобождаем винт  $i$  и вращаем препарат около оси  $I$  в ту сторону, в которую ширина трещинки убывает. Останавливаем вращение, когда трещинка принимает минимальную ширину и имеет ясное очертание.

Измеряем ее ширину окулярным микрометром. Измеренная величина будет  $\sigma$ .

Берем отсчет по лимбу оси  $I$  при этом положении пластинок. Угол наклона

препарата  $\varrho$  будет положительным для отсчетов от  $0^\circ$  до  $90^\circ$  и отрицательным для отсчетов между  $270^\circ$ — $360^\circ$ .

Поворачиваем препарат снова около оси  $I$  так, чтобы проекция трещинки заняла возможно большую ширину, но имела еще достаточно резкие границы. Измеряем ширину его окулярным микрометром и получаем величину  $d$  нашей последней формулы. Угол наклона препарата около оси  $I$  при данном положении препарата  $\varphi$  будет положительным для отсчетов от  $0^\circ$  до  $90^\circ$  и отрицательным для отсчетов от  $270^\circ$  до  $360^\circ$  (в последнем случае  $\varphi$  равно дополнению к отсчету до  $360^\circ$  и со знаком минус).

Теперь остается подставить найденное значение в формулу, и толщина шлифа будет определена:

$$x = \frac{d \cos \varrho - \sigma \cos \varphi}{\sin (\varrho - \varphi)}$$

Пример. Пусть отсчет по лимбу оси  $I$  для положения шлифа при минимальной ширине трещины был  $12^\circ$ ; пишем  $\varrho = +12^\circ$ , а минимальная ширина трещинки пусть занимала 0,3 деления шкалы окулярного микрометра, цена деления которого  $y = 0,032$  мм. Тогда  $\sigma = 0,3 \cdot 0,032$  мм = = 0,0096 мм.

При наиболее широком положении трещинки пусть отсчет по лимб оси  $I$  будет  $345^\circ$ , тогда  $\varphi = -(360^\circ - 345^\circ) = -15^\circ$ , а ширина проекции трещинки занимала 0,7 деления шкалы окулярного микрометра. Тогда  $d = 0,7 \cdot 0,032 \text{ мм} = 0,0224 \text{ мм}$ .

Толщина шлифа:

$$x = \frac{d \cos \varrho - \sigma \cos \varphi}{\sin(\varrho - \varphi)} = \frac{(0,0224 \cos 12^\circ - 0,0096 \cos(-15^\circ))}{\sin(12^\circ + 15^\circ)} = \\ = \frac{0,0224 \cos 12^\circ - 0,0096 \cos 15^\circ}{\sin 27^\circ} = 0,028 \text{ мм}.$$

Имеется еще один способ определения толщины шлифа, уступающий первому, но дающий результаты не хуже чем второй. Этот метод Шона — определение толщины шлифа по пылинкам. Неудобство этого метода в данном случае заключается в том, что определение производится не на столике Федорова и возможно только на микроскопах, обладающих градуированным микрометрическим винтом.

Метод заключается в следующем. Ставим наше зерно в центр поля зрения (без столика Ф) и берем большое увеличение (№ 7 или иммерсионную систему). Движением микрометрического винта начинаем поднимать тубус микроскопа. Минералы начинают расплываться, и в фокус попадают пылинки на верхней стороне шлифа. Наводим их на резкость и берем отсчет по барабану микрометрического винта. Пусть отсчет будет  $a$ . Далее снова наводим на фокус минерала и опускаем тубус микроскопа (все время действуем микрометрическим винтом). Начинают появляться пылинки на нижней стороне шлифа. Наводим на резкость и берем отсчет по барабану. Пусть он будет  $b$ . Цена деления барабана микрометрического винта обычно 0,002 мм (микроскоп Лейтца). Толщину шлифа получим по формуле

$$d = \frac{n_m}{n_c} (b - a) 0,002 \text{ мм},$$

где  $n_m$  — показатель преломления минерала, в котором производились наблюдения, а  $n_c$  — показатель преломления жидкости (обычно кедровое масло), если применялся иммерсионный объектив. Если наблюдения ведутся без иммерсии,  $n_c = 1$ .

Определение должно быть проделано несколько раз и взяты средние результаты. Так как иногда при этом способе возможны большие ошибки, всегда следует иметь в виду порядок толщины шлифа (обычно 0,02—0,03 мм).

## § 18. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СИЛЫ ДВОЙНОГО ЛУЧЕПРЕЛОМЛЕНИЯ ОДНООСНЫХ КРИСТАЛЛОВ.

Силою двойного лучепреломления кристалла называется разность между наибольшими и наименьшими показателями преломлений данного кристалла. Она является индивидуальной особенностью различных кристаллов и служит характерным признаком для отличия одного минерала от другого.

Из курса кристаллооптики известно, что максимальная разность между показателями преломления лучей обыкновенного и необыкновенного в одноосных кристаллах получается, когда луч в кристалле распространяется в направлении, перпендикулярном к его оптической оси.

Итак, чтобы определить силу двойного лучепреломления одноосного кристалла, нужно отыскать в шлифе зерно с разрезом параллельно его оптической оси и, поставив его вращением столика на угол  $45^\circ$  от положения полного погасания, по возможности точно измерить разность хода лучей  $\Gamma$ , разделить на толщину пластинки  $d$  (которая должна быть известна), и мы получим величину силы двойного лучепреломления из известной формулы:

$$N_g - N_p = \frac{\Gamma}{d}.$$

Следовательно для определения силы двойного лучепреломления необходимо отыскать зерно с разрезом, точно параллельным оптической оси, и кроме того должна быть известна толщина шлифа.

Но так как в шлифе может не оказаться среди зерен такого разреза, то определение силы двойного лучепреломления на обычном микроскопе связано с большими трудностями, а если и удастся определить, то только приблизительно.

Поставленная задача сравнительно легко разрешается на Универсальном столике, если мы имеем в шлифе разрезы под углом к оптической оси от  $0^\circ$  до  $60^\circ$ , так как благодаря возможным вращениям мы в этих случаях всегда сможем наклонить исследуемое зерно так, чтобы луч распространялся в направлении, перпендикулярном к оптической оси кристалла. Пусть мы имеем кристаллическую пластинку (рис. 21), вырезанную под некоторым углом к оптической оси кристалла  $OO$ .  $OM$  — оптическая ось микроскопа.  $ON$  — нормаль к оптической оси кристалла.  $d_0$  — толщина пластинки. Наклоним пластинку вправо на угол  $\alpha$  (рис. 22), тогда нормаль совместится

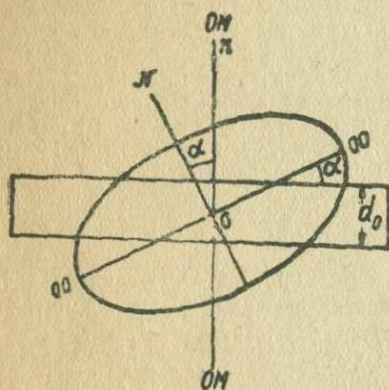


Рис. 21.

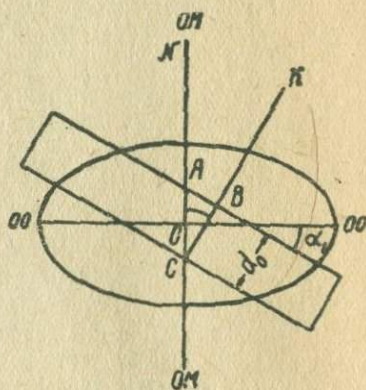


Рис. 22.

с оптической осью микроскопа, и луч из поляризатора пойдет в кристалле в направлении, перпендикулярном к его оптической оси. Толщина пластинки в направлении луча станет равна  $d_1$  (на рис. 22 отрезок  $AC$ ). В таком случае разность между показателями преломления лучей обыкновенного и необыкновенного будет наибольшей и может быть вычислена следующим образом.

$\Gamma = d_1 (Ng - Nm)$  или  $d_1 (Nm - Np)$ , в зависимости от того, оптически положительный или отрицательный данный одноосный кристалл.<sup>1</sup>

Допустим кристалл положителен; тогда получим:

$$Ng - Nm = \frac{\Gamma}{d_1}. \quad (1)$$

Но из треугольника  $ABC$  имеем:

$$\angle ACB = \alpha; \quad d_0 = d_1 \cos \alpha.$$

Откуда находим:

$$d_1 = \frac{d_0}{\cos \alpha}.$$

<sup>1</sup> См. примеч. ред. на стр. 51.

Подставляя это значение  $d_1$  в формулу (1), получим:

$$Ng - Nm = \frac{\Gamma}{d_1} = \frac{\Gamma \cos \alpha}{d_0}. \quad (2)$$

Теперь остается только измерить разность хода лучей в кристалле в направлении  $OO$ , найти угол  $\alpha$ , толщину пластинки  $d_0$ , подставить их численные значения в формулу (2) и  $(Ng - Nm)$  — сила двойного преломления — будет определена.

Толщина пластинки (шлифа)  $d_0$  была вычислена по кварцу и равна  $d_0 = x = \frac{\Gamma_1 \cos \alpha_1}{Ng_1 - Nm_1}$ . Подставив это значение в вышеприведенную формулу, получим следующее выражение:

$$Ng - Nm = \frac{\Gamma \cos \alpha}{d_0} = \frac{\Gamma \cos \alpha (Ng_1 - Nm_1)}{\Gamma_1 \cos \alpha_1}.$$

Если же толщина шлифа была вычислена по методу трещинки и равна  $d_0 = x = \frac{d_1 \cos \varrho}{\sin(\varrho - \varphi)}$ , то, подставив значение в формулу (2), получим формулу в виде

$$Ng = Nm = \frac{\Gamma \cos \alpha}{d_0} = \frac{\Gamma \cos \alpha \cdot \sin(\varrho - \varphi)}{d_1 \cos \varrho}$$

и наконец если:

$$d_0 = \frac{d_1 \cos \varrho - \sigma \cos \varphi}{\sin(\varrho - \varphi)},$$

то формула (2) примет вид:

$$Ng - Nm = \frac{\Gamma \cos \alpha}{d_0} = \frac{\Gamma \cos \alpha \cdot \sin(\varrho - \varphi)}{d_1 \cos \varrho - \sigma \cos \varphi}.$$

Из всех этих формул видно, что для определения силы двойного лучепреломления  $(Ng - Nm)$  или в отрицательных кристаллах  $(Nm - Np)$  нужно знать угол  $\alpha$ , образуемый плоскостью шлифа с оптической осью кристалла, измерить разность хода  $\Gamma$  в направлении, перпендикулярном к оптической оси, и наконец знать толщину шлифа, которая должна быть определена по одному из методов, указанных выше.

Угол  $\alpha$  определяется, если мы нанесем на стереографическую сетку положение эллипсоида в исследуемом кристалле. Таким образом поставленная задача определения силы двойного лучепреломления сводится к определению положения эллипсоида оптической индикатриссы в зерне, разрез которого плоскостью шлифа должен образовать с оптической осью угол не больше  $60^\circ$ .

### Порядок работы.

Из нескольких зерен одного и того же одноосного минерала, имеющих в шлифе, силу двойного лучепреломления которого мы хотим определить, выбираем такое, которое имеет наиболее высокую интерференционную окраску, и приводим его в пересечение нитей окуляра.

Далее определяем в этом зерне положение эллипсоида и наносим его на сетку, т. е. продельваем необходимые манипуляции по §§ 9 и 11.

Пусть для нашего примера были определены координаты главного сечения, перпендикулярного к плоскости шлифа  $N = 65^\circ$ ,  $H = 0^\circ$  и координаты

наты кругового сечения  $N = 155^\circ$  и  $H = 20^\circ L$ . Нанесем эти плоскости на стереографическую сетку (см. § 9) и определим на сетке положение оптической оси (см. приложение 3).

Когда плоскости и ось нанесены на сетку, поворачиваем восковку около центра сетки (центр восковки не должен сходить с центра сетки), чтобы индекс, отмеченный на восковке, остановился на отсчете  $N = 65^\circ$  основного круга проекции сетки. При этом положении восковки проекция главного сечения эллипсоида, изображенная прямой, совместится с вертикальным диаметром сетки, а дуга большого круга, которою изображена проекция плоскости кругового сечения эллипсоида вращения, будет перпендикулярна вертикальному диаметру сетки.

Оптическая ось будет лежать в плоскости главного сечения, являясь полюсом дуги большого круга — кругового сечения эллипсоида вращения.

При таком положении восковки оптическая ось ( $A$ ) лежит на вертикальном диаметре сетки в пересечении его с 20-й параллелью сетки и образует угол с плоскостью проекции  $= 20^\circ$ .

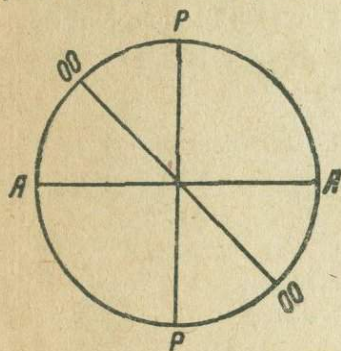


Рис. 23.

При основном положении столика вращаем стеклянный диск столика за винты сегментов около оси  $N$  и совмещаем индекс диска с делением  $N = 65^\circ$ . Главное сечение эллипсоида, перпендикулярное к плоскости шлифа, совмещено с плоскостью симметрии микроскопа, а оптическая ось, лежащая в ней, образует с плоскостью шлифа угол  $20^\circ$  и наклонена к наблюдателю, сидящему за микроскопом.

Совместим оптическую ось с плоскостью, перпендикулярной к оптической оси микроскопа.

На проекции видно, что препарат нужно наклонить от наблюдателя на угол  $20^\circ$ .

Освобождаем зажим  $i$  и вращаем препарат около оси  $I$  так, чтобы 20-е деление лимба оси  $I$  совместилось с нулем нониуса.

Закрепляем зажим  $i$ .

Оптическая ось кристалла совмещена с плоскостью, перпендикулярной к оптической оси микроскопа. Освобождаем зажим  $a$  и вращаем столик около оси  $A$  на  $45^\circ$  в любую сторону; закрепляем зажим  $a$ .

При этом положении (рис. 23) оптическая ось перпендикулярна к оптической оси микроскопа и расположена под углом  $45^\circ$  к направлению колебаний лучей в николях, т. е. к нитям окуляра, и зерно имеет максимальную интерференционную окраску. Берем какой-либо из компенсаторов и измеряем разность хода лучей  $\Gamma$  (как пользоваться компенсатором Берека и Бабинэ см. §§ 13 и 14). Угол наклона препарата около оси  $I$  при этом будет угол  $\alpha$ . В нашем примере  $\alpha = 20^\circ$ .

Пусть для нашего примера: разность хода лучей  $\Gamma = 266 \mu\text{м} = 0,000266 \text{ м.м.}$ ;  $\alpha = 20^\circ$  и толщина шлифа  $d = 0,031 \text{ м.м.}$  Подставляя найденные значения в формулу (2) § 18, получим:

$$Ng - Nm = \frac{\Gamma \cos \alpha}{d} = \frac{0,000266 \cdot \cos 20^\circ}{0,031} = 0,008.$$

Сила двойного лучепреломления найдена.

Примечание. При определении двойного лучепреломления толщина шлифа должна быть вычислена возможно тщательнее, путем нескольких наблюдений как по методу трещинки, так и по кварцу, расположенному вблизи исследуемого минерала. Если толщина шлифа определяется по трещинке, то лучше брать трещинку в том же зерне минерала, силу двойного лучепреломления которого хотят определить. Если же в нем трещинки нет, то ее следует брать в соседнем минерале, твердость которого не особенно отличается от твердости исследуемого минерала, так как при изготовлении шлифа более твердые минералы труднее стачиваются и часто оказываются толще, чем мягкие минералы в том же шлифе.

Вообще нужно иметь в виду, что толщина шлифа определяется с гораздо меньшей точностью, чем разность хода при помощи компенсатора Берека. Метод определения толщины по кварцу несравненно точнее и удобнее, чем определение толщины шлифа по трещинке, и во всех случаях, когда в породе имеется кварц, его следует предпочитать. Ввиду малой точности определения толщины шлифа, погрешность определения двупреломления (при определении толщины шлифа по кварцу) достигает 10% измеряемой величины, а при определении толщины шлифа по трещинке и того больше. Вследствие этого в окончательном результате следует писать только третий десятичный знак. В работах весьма желательно оговаривать, каким методом измерена толщина шлифа, так как это дает возможность судить о степени точности цифр.

## § 19. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СИЛ ДВОЙНОГО ЛУЧЕПРЕЛОМЛЕНИЯ ДВУОСНЫХ КРИСТАЛЛОВ.

Двуосные минералы имеют три главных показателя преломления:  $Ng(\gamma)$ ,  $Nm(\beta)$  и  $Np(\alpha)$ , и двойное лучепреломление их будет характеризоваться тремя разностями:

$$Ng - Np = \gamma - \alpha$$

$$Ng - Nm = \gamma - \beta$$

$$Nm - Np = \beta - \alpha$$

которые являются индивидуальной особенностью каждого минерала и поэтому служат характерным признаком для отличия одного минерала от другого.<sup>1</sup>

Нужно сказать, что не во всяком разрезе зерна представляется возможным определить сразу все три указанные разности, но одну из них мы всегда определить сможем при каком угодно разрезе, и этого оказывается вполне достаточно для характеристики минерала, тем более что, зная одну из этих разностей, мы можем аналитически или графически определить другие, о чем будет сказано ниже.

Из теоретического курса кристаллооптики известно, что разность хода лучей в направлении оси  $Nm$  эллипсоида выражается формулой  $\Gamma_{Nm} = (Ng - Np)d$ , где  $d$  — толщина кристаллической пластинки, вырезанной перпендикулярно к оси  $Nm$  эллипсоида, т. е. пластинка вырезана параллельно плоскости оптических осей, а разность  $(Ng - Np)$ , между наибольшим  $Ng$  и наименьшим  $Np$  показателями преломлений, есть величина наибольшего двойного лучепреломления кристалла. Измерив разность хода лучей и разделив ее на толщину пластинки, мы получим

$$Ng - Np = \frac{\Gamma_{Nm}}{d_1}, \quad (1)$$

<sup>1</sup> Обычно можно довольствоваться величиною наибольшего двупреломления  $Ng - Np$ .

т. е. сил двойного лучепреломления кристалла в направлении оси эллипсоида  $Nm$ .

Если кристаллическая пластинка будет вырезана перпендикулярно к оси  $Np$  эллипсоида, и толщина ее будет  $d_2$ , а измеренная разность хода лучей в направлении  $Np$  будет  $\Gamma_{Np}$ , то аналогично получим

$$Ng - Nm = \frac{\Gamma_{Np}}{d_2}, \quad (2)$$

т. е. двойное лучепреломление в кристалле в направлении оси  $Np$  эллипсоида. Наконец, если пластинка будет вырезана перпендикулярно оси  $Ng$  эллипсоида, и толщина ее будет  $d_3$ , а измеренная разность хода лучей  $\Gamma_{Ng}$ , то получим

$$Nm - Np = \frac{\Gamma_{Ng}}{d_3},$$

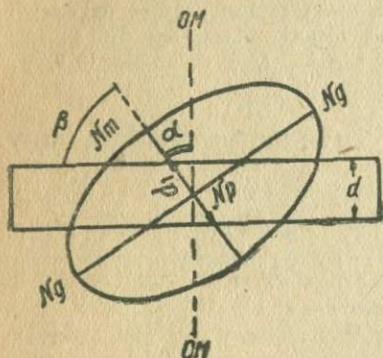


Рис. 24.

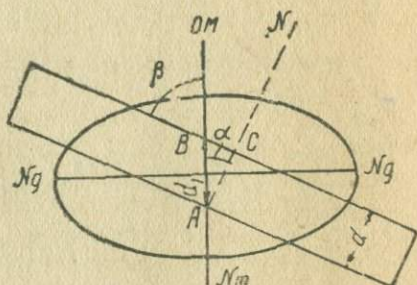


Рис. 25.

т. е. двойное лучепреломление кристалла в направлении оси эллипсоида  $Ng$ .

Итак, для определения двойного лучепреломления двусосных кристаллов на обычном поляризационном микроскопе необходимо иметь разрезы минералов, перпендикулярные к одной из осей эллипсоида. Следовательно определение двойного лучепреломления двусосных минералов сводится к предварительному определению ориентировки эллипсоида в зерне исследуемого минерала. Поставленная задача легко разрешается при помощи Универсального столика Е. С. Федорова.

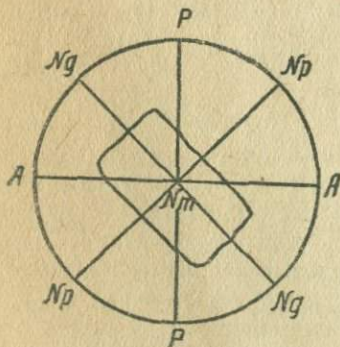


Рис. 26.

Пусть мы имеем (рис. 24) разрез зерна под углом  $\beta$  к оси  $Nm$  эллипсоида оптической индикатриссы.  $MO$  — оптическая ось микроскопа. Наклоним пластинку вправо на угол  $\alpha = 90^\circ - \beta$ , тогда ось  $Nm$  эллипсоида (рис. 25) совместится с оптической осью микроскопа, а нормаль к пластинке  $N$  образует с оптической осью микроскопа угол  $\alpha$ .

$d$  — толщина пластинки по нормали к ней.

$d_1$  — толщина пластинки в направлении оси эллипсоида  $Nm$ .

При втором положении пластинки лучи из поляризатора поступают в кристалл в направлении оси  $Nm$  эллипсоида (рис. 26), а оси  $Ng$  и  $Np$  будут лежать

в плоскости, перпендикулярной к оптической оси микроскопа, и занимать диагональное положение к плоскостям колебания лучей в николях микроскопа.  $PP$  — направление колебаний лучей в поляризаторе,  $AA$  — в анализаторе,  $Nm$  — перпендикулярна к плоскости рисунка.

Из формулы (1) имеем

$$Ng - Np = \frac{\Gamma_{Nm}}{d_1}.$$

Но из прямоугольного треугольника  $ABC$  (рис. 25) находим:

$$d = d_1 \cos \alpha.$$

Откуда

$$d_1 = \frac{d}{\cos \alpha}.$$

Подставляя в вышеприведенную формулу (1) вместо  $d_1$  ее значение, получим:

$$Ng - Np = \frac{\Gamma_{Nm}}{d_1} = \frac{\Gamma_{Nm} \cos \alpha}{d}.$$

Остается только измерить компенсатором разность хода  $\Gamma_{Nm}$  в направлении  $Nm$ , т. е. при данном положении пластинки определить толщину шлифа  $d$ , найти угол  $\alpha$ , образуемый нормалью шлифа с осью  $Nm$  эллипсоида, подставить их значение в эту формулу, и величина двойного лучепреломления кристалла будет определена.

Толщина шлифа  $d$  должна быть определена возможно тщательнее из нескольких наблюдений по методам, изложенным выше.

Угол  $\alpha$  найдется непосредственно по стереографической сетке, на которой должно быть предварительно фиксировано положение эллипсоида в исследуемом зерне.

### Порядок работы.

Зерно, двойное лучепреломление которого мы хотим определить, приводим к кресту нитей и находим плоскости и оси симметрии эллипсоида; определяем наименование осей и наносим положение эллипсоида в зерне на стереографическую сетку, т. е. проделываем работы по §§ 8, 9 и 10.

Пусть в нашем примере положение эллипсоида было определено координатами [по которым его положение в зерне зафиксировано на стереографической сетке (см. приложение 1)].

	I	II
N	30°	295°
H	20° R	13° R
I	330°	

<sup>1</sup> При работе на столике Федорова, чтобы ось  $Nm$  из произвольного положения привести в совмещение с оптической осью микроскопа, в общем случае необходимо произвести два поворота, например на угол  $H$  вокруг оси  $N$  и на угол  $I$  вокруг оси  $I$ . В связи с этим величина двупреломления определится по формуле

$$Ng - Np = \frac{\Gamma_{Nm} \cos H \cos I}{d}.$$

Можно добиться совмещения поворотом вокруг  $N$  и затем вокруг или  $H$  или  $I$ . Наконец два поворота можно заменить одним, на угол  $\alpha$ , но только в проекции на восковку, а не на столике, так как соответствующей оси вращения у столика нет. Величину  $\alpha$  очевидно легко можно определить на восковке. Затем надо помнить, что если мы пользуемся углами, взятыми не с восковки, а действительными поворотами, то при резко отличном преломлении минерала от преломления стекла и канадского бальзама в величинах углов необходимо ввести поправки, воспользовавшись диаграммой Федорова.

Прим. ред.

Совместив центр восковки с центром сетки, замечаем ту ось симметрии эллипсоида, которая ближе расположена к центру сетки. В нашем примере таковой является ось  $Ng$ . Вращаем восковку около центра сетки, следя за тем, чтобы центр, отмеченный на восковке, не сместился с центра сетки, и помещаем намеченную ось на один из диаметров сетки. Убедившись еще раз, что центр восковки не сместился с центра сетки, отсчитываем по диаметру число градусов между осью  $Ng$  и центром сетки с точностью до  $0^{\circ},5$ , т. е. находим на сетке полярное расстояние намеченной оси. Полученный угол и будет  $\angle a$  только что определенной выше формулы. В нашем примере  $a=25^{\circ}$ .

Записав отсчет, замечаем любую плоскость, проходящую через ось  $Ng$ . Пусть для примера мы выбрали первую плоскость, читаем ее координаты:  $N=30^{\circ}$ ,  $H=20^{\circ}$   $R$ . Вращаем восковку около центра сетки и ставим индекс восковки на отсчет  $N=30^{\circ}$  по основному кругу проекции; при этом центр восковки не должен сходить с центра сетки. Плоскость (первая) симметрии эллипсоида совместится с двадцатым меридианом, лежащим вправо от центра сетки.

Убедившись, что столик приведен в основное положение, совмещаем нашу плоскость симметрии эллипсоида с плоскостью симметрии микроскопа. Смотрим на сетку и видим, что для этого препарат (шлиф) нужно повернуть около оси  $N$ , поставить индекс оправы стеклянного диска на отсчет  $N=30^{\circ}$  и наклонить препарат около оси  $H$  влево, чтобы соответственный индекс диска  $N$  остановился на отсчете  $20^{\circ}$  правой приподнятой дужки столика. Выполняем указанные операции и закрепляем зажим  $h$ . Теперь нужно совместить намеченную ось  $Ng$  с оптической осью микроскопа.

Обращаясь к сетке, видим, что для этого препарат нужно, в нашем примере, наклонить около оси  $I$  от себя на  $14^{\circ}$ , чтобы ось  $Ng$  поместить на горизонтальный диаметр сетки, т. е. нуль лимба оси  $I$  совместить с 14-м делением лимба оси  $I$ . Освобождаем зажим  $i$  и выполняем указанную манипуляцию; закрепляем зажим  $i$ . Намеченная ось симметрии эллипсоида совмещена с оптической осью микроскопа, плоскость симметрии эллипсоида, проходящая через оси  $Nm$  и  $Np$ , перпендикулярна к оптической оси микроскопа. Освобождаем зажим  $a$ , вращаем столик около оси  $A$  на  $45^{\circ}$  в любую сторону и закрепляем зажим  $a$ . При данном положении препарата ось эллипсоида  $Ng$  совмещена с оптической осью микроскопа, оси  $Nm$  и  $Np$  лежат в плоскости, перпендикулярной к оптической оси микроскопа, и образуют с плоскостями колебаний лучей в николях угол  $=45^{\circ}$ .

Берем компенсатор Берека или какой-либо иной, измеряем разность хода лучей  $\Gamma_{Ng}$ , возникающую в кристаллической пластинке при данном положении, т. е. в направлении оси  $Ng$ .

Пусть толщина шлифа  $d$  уже найдена. Подставляем найденные численные значения  $\Gamma_{Ng}$ ,  $a$  и  $d$  в формулу

$$Nm - Np = \frac{\Gamma_{Ng} \cos a}{d}$$

и находим численное значение  $(Nm - Np)$ , т. е. двойное лучепреломление кристалла в направлении оси  $Ng$  эллипсоида.

Обычно в минералах измеряют величину наибольшего двупреломления  $Ng - Np$ . Для большей точности следует выбирать зерна с наивысшей интерференционной окраской, чтобы угол  $a$  был близок к  $0^{\circ}$ .

Пример. Пусть мы нашли, что  $\alpha=25^\circ$ ,  $\Gamma_{Ng}=112 \mu\mu$ ,  $d=0,028 \text{ м.м.}$   
Подставляем их численные значения в формулу и получим

$$Nm - Np = \frac{0,00112 \cdot \cos 25^\circ}{0,028} = 0,0036.$$

Двойное лучепреломление в кристалле в направлении оси  $N_g$  эллипсоида найдено.

## § 20. НАНЕСЕНИЕ КРИСТАЛЛОГРАФИЧЕСКИХ ГРАНЕЙ И ПЛОСКОСТЕЙ СПАЙНОСТИ НА СТЕРЕОГРАФИЧЕСКУЮ СЕТКУ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИХ ИНДЕКСОВ.

При росте кристалла в свободных условиях он принимает форму многогранника. В разрезе такой кристалл будет ограничен прямыми линиями, которые являются следами пересечений граней кристалла с плоскостью разреза.

В породе отдельные кристаллы не всегда имеют ясно выраженные грани; часто кристалл имеет неправильную форму, которая зависит от условий кристаллизации и целого ряда других процессов, которым подвергалась исследуемая порода.

В таких кристаллах мы в микроскоп можем иногда наблюдать другие плоскости, например плоскости спайности, плоскость срастания двух или нескольких кристаллов в двойниках.

Спайность зерна в микроскопе мы наблюдаем в виде тонких параллельных штрихов (без анализатора), которые являются следами пересечений плоскостей спайности с плоскостью шлифа.

Плоскость срастания двойников без анализатора не видна, но зато мы можем видеть при скрещенных николях двойниковый шов, который нам представляется прямой линией, являющейся границей двух соседних кристаллов, когда они при вращении столика не одновременно погасают (с анализатором) или имеют различную интерференционную окраску. Двойниковый шов двух кристаллов двойниковых образований будет следовательно след пересечения плоскости срастания двух неделимых с плоскостью разреза зерен. Определение индексов граней, плоскостей спайности и плоскостей срастания двойников имеет весьма важное значение при определении исследуемого минерала. Определение индексов граней до сих пор хорошо разработано только для полевых шпатов. Индексы определяются, если мы найдем положение ее по отношению к осям симметрии эллипсоида оптической индикатриссы и к таким плоскостям, символы которых известны, поэтому наша задача сводится к определению ориентировки эллипсоида, плоскостей спайности и плоскостей срастания в исследуемом зерне.

Для решения поставленной задачи прежде всего находим положение эллипсоида в зерне и наносим его на сетку. Далее следует нанести на сетку положение всех граней, имеющихся на данном зерне, плоскостей спайности и плоскостей срастания двух индивидов, если мы имеем дело с двойником.

*Определим на Универсальном столике координаты плоскости спайности.*

На точность определения координат плоскостей спайности имеют большое влияние: правильный выбор при работе характера освещения, регулируемого диафрагмой, и увеличения окуляра.

Отверстие диафрагмы конденсора должно быть расположено возможно выше над источником света (зеркальце), а увеличение должно быть возможно более сильным.

Для осуществления сказанного убираем окуляр и, наблюдая в тубус, открываем постепенно диафрагму до тех пор, пока внутренние стенки тубуса не будут блестящими. Это наступает при полном освещении отверстия объектива.

Чтобы при работе не мешало изображение источника света (например нити электрической лампы), между микроскопом и источником света помещают светорассеивающую ширму. Так, в специальных микроскопических лампах употребляют стеклянную колбу с матовой поверхностью, или между микроскопом и источником света помещают матовое стекло или просто восковку. Для возможно большей точности результатов последующих измерений окуляр нужно выбирать достаточно сильный. Большую услугу оказывает для этих целей перипланат — окуляр с 15-кратным увеличением.

### Порядок работы.

После определения положения в исследуемом зерне эллипсоида и нанесения его на восковку при помощи стереографической сетки, *ни в коем случае не перемещая зерна под сферами*, выполняем все указанные выше условия. Приводим столик в основное положение, закрепляем все зажимы и выключаем анализатор. Далее вращаем препарат около оси  $N$ , чтобы трещина спайности исследуемого зерна заняла положение, перпендикулярное к оси  $I$ , т. е. совмещаем ее с вертикальной нитью окуляра. Освобождаем зажим  $h$  и наклоняем препарат около оси  $H$  в ту сторону, в которую ширина трещинки спайности убывает, пока она не примет минимальной ширины, т. е. будет казаться ясной, отчетливой, тонкой линией.

При этом положении препарата плоскость спайности параллельна плоскости симметрии микроскопа или, что то же, перпендикулярна к оси  $I$  столика.<sup>1</sup>

Взяв отсчеты по лимбу  $N$  и по дужкам наклон препарата около  $H$ , запишем в табличку в соответствующую графу координаты плоскости (см. приложение 5):  $N = 48^\circ$ ,  $H = 35^\circ R$ .

Нанесем найденную плоскость спайности по этим координатам при помощи стереографической сетки на ту же восковку, на которую было нанесено положение эллипсоида в исследуемом зерне. Пусть координаты плоскости спайности таковы:

$$N = 48^\circ, H = 35^\circ R.$$

Совместив центр восковки с центром сетки, вращаем ее около центра и ставим индекс на отсчет  $N = 48^\circ$ ; от центра сетки отсчитываем вправо 35-й меридиан и обводим его от полюса до полюса, для отличия от плоскостей эллипсоида, условным пунктиром или каким-нибудь цветным карандашом. Строим полюс этой плоскости спайности, который будет гномо-стереографической проекцией плоскости спайности.

Измеряем угловые расстояния от полюса спайности  $P$  до осей  $Ng$ ,  $Nni$  и  $Nr$  эллипсоида оптической индикатриссы с точностью до  $0,5^\circ$ . Для этой

<sup>1</sup> При хорошо образованных плоскостях спайности и гранях точность в определении положения грани возможна до  $1^\circ$ .

цели совместим центр восковки с центром сетки, вращаем восковку, пока полюс  $P$  и оптическая ось  $Ng$  не поместятся на одном меридиане сетки, и отсчитываем по нему число градусов между ними с точностью до  $0^\circ,5$ . Таким же образом измеряем и угловые расстояния между полюсом  $P$  и осями  $Nm$  и  $Np$ . Если измеренные дуги окажутся больше  $90^\circ$ , то берем их дополнение до  $180^\circ$ . Таким образом получим три угла. Пусть в нашем примере они равны  $P Ng = 31^\circ$ ,  $P Nm = 63^\circ$ ,  $P Np = 76^\circ$ . По этим трем координатам мы теперь сможем определить индексы плоскости спайности по особой диаграмме, если исследуемое зерно было полевой шпат. Для этой цели пользуются новейшими диаграммами В. В. Никитина „Новые диаграммы для определения полевых шпатов Универсальным методом Федорова“.<sup>1</sup> Издание Росс. минералогического общества и Федоровского Института, 1929 г.

Диаграмма эта представляет собой один квадрант Федоровской стереографической сетки, с горизонтальным диаметром которой совмещена ось  $Ng$ , с вертикальным диаметром — ось  $Np$  и с центром проекции сетки — ось  $Nm$  эллипсоида оптической индикатриссы.

На этой сетке нанесены все важнейшие кристаллографические элементы полевых шпатов: полюса граней кристаллов, плоскости спайности, двойниковые оси, отнесенные к осям оптической индикатриссы для каждого номера плагиоклаза, а также для существенно калиевых полевых шпатов. Кривые линии представляют собой геометрическое место точек полюсов одноименных граней и проекций направлений одноименных ребер для различных номеров плагиоклазов. Для калиевых полевых шпатов они указаны на диаграмме особыми условными обозначениями.

На кривых поставлены цифры, приписав нуль к которым получим номер плагиоклаза, а точка на кривой вблизи этого номера очевидно покажет на сетке положение полюса данной грани, или проекции направления ребра, или перпендикуляра к ребру по отношению к осям эллипсоида в данном номере плагиоклаза.

Так как в кристаллографии принято обозначать грани индексами, заключенными в круглые скобки, например (101), а индексы ребер в квадратные, например [100], то под кривыми полюсов граней подписаны индексы соответствующих граней, а под кривыми ребер — их индексы.

Таким образом для определения индексов граней мы пользуемся только кривыми, под которыми подписаны индексы граней.

Теперь определим индексы плоскостей спайности, зная координаты полюса спайности  $P Ng = 31^\circ$ ,  $P Nm = 63^\circ$ ,  $P Np = 76^\circ$ .

Для этого ищем на диаграмме В. В. Никитина дугу малого круга, описанного как из центра около оси  $Ng$  радиусом  $31^\circ$ , и замечаем ее.

Точно таким же образом ищем дуги малых кругов сетки, описанных как из центра около осей  $Nm$  и  $Np$  соответственно радиусами  $63^\circ$  и  $76^\circ$ .

При хорошем результате наблюдений все три окружности пересекутся в одной точке, в противном случае получится треугольник, центр тяжести которого принимаем за искомую точку. Если эта точка ляжет на кривую граней, то индексы граней, подписанные под кривой, и будут индексами плоскости спайности, а ближайшая цифра на кривой с припиской справа нуля покажет номер плагиоклаза.

<sup>1</sup> Рекомендую эти диаграммы приобрести каждому работающему на Универсальном столике Федорова и пользоваться ими.

Если при этом точка лежит между цифрами, то номер плагиоклаза находится простым интерполированием.

В том случае, если точка окажется между двумя кривыми, то точку перемещаем по кратчайшему расстоянию к ближайшей кривой и определим индексы плоскости спайности и номер плагиоклаза так, как говорилось только что выше. Может оказаться, что точка пересечения не попадет ни на одну кривую и будет значительно удалена от них, в этом случае — или спайность нанесена неправильно, или за спайность была принята случайная трещина. Для нашего примера плоскость спайности определяется индексами (010), а плагиоклаз получается 57-й номер.

Если при определении индексов плоскости спайности пользуемся диаграммой, изображенной не на четверти, а на полной сетке, то точно таким же образом, проводя малые круги около  $Ng$ ,  $Np$  и  $Nm$  радиусами  $\Pi Ng$ ,  $\Pi Np$ ,  $\Pi Nm$ , мы получим не одну, а четыре точки. Тогда приписываем плоскости спайности индексы той кривой полюсов граней, к которой одна из всех четырех точек расположена ближе, и находим номер плагиоклаза (табл. 3).

## § 21. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КРИСТАЛЛОГРАФИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ ДВОЙНИКОВ И НАНЕСЕНИЕ ИХ НА СЕТКУ.

Плагиоклазы обладают способностью к двойниковым образованиям, поэтому имеется специальный метод определения плагиоклазов по двойникам.

Метод этот великолепно разработан и играет первенствующую роль в определении плагиоклазов.

Сущность метода основана на том явлении, что угловые расстояния между элементами симметрии индикатрисс двойников для данного номера плагиоклаза с двойниковой осью, при каждом типе двойникового закона, представляют величины постоянные, поэтому, зная их координаты, можно определить и состав.

Для этого выбираем в шлифе двойник полевого шпата и приводим его к пересечению нитей окулярного креста. Далее находим сначала в одном индивиду двойника, а затем в другом,<sup>1</sup> положение эллипсоида оптической индикатриссы. Определяем наименование осей эллипсоида в каждом индивиду, положение имеющихся граней и плоскостей спайности.

Берем восковку и на нее, при помощи стереографической сетки, наносим положение эллипсоида оптической индикатриссы, плоскостей спайности и граней в каждом индивиду двойника. Так как оптические и кристаллографические элементы каждого индивиду наносятся на одну и ту же восковку, то во избежание путаницы рекомендуется плоскости симметрии эллипсоида, плоскости спайности одного индивиду двойника наносить каким-нибудь одним цветом, а в другом индивиду — другим.

При этом плоскости спайности в каждом индивиду обозначать условным пунктиром того же цвета, принятого для данного индивиду.

Обозначим оси эллипсоида в первом индивиду двойника  $Ng_1$ ,  $Nm_1$ ,  $Np_1$ , а во втором —  $Ng_2$ ,  $Nm_2$ ,  $Np_2$ . Теперь определим положение двойниковой оси на стереографической сетке.

<sup>1</sup> Переходя к определению положения эллипсоида в другом индивиду, ни в коем случае нельзя перемещать шлифа под сферами.

Существует три способа определения положения двойниковой оси.

I. Соединяем дугами больших кругов одноименные оси эллипсоидов. Для этого поворачиваем восковку около центра сетки, чтобы обе одноименные оси эллипсоидов  $Ng_1$  и  $Ng_2$  поместились на одном меридиане. Проводим условным пунктиром или каким-нибудь цветным карандашом проходящий через них меридиан от северного до южного полюса сетки. Таким же образом соединяем дугами больших кругов оси  $Nm_1$  и  $Nm_2$ ,  $Np_1$  и  $Np_2$ . В идеальном случае все приведенные три дуги больших кругов  $Ng_1$ ,  $Ng_2$ ,  $Np_1$ ,  $Np_2$  и  $Nm_1$ ,  $Nm_2$  пересекутся в одной точке, которая и будет стереографической проекцией двойниковой оси данного двойника.

Но обычно, вследствие погрешностей наблюдения, эти три дуги не пересекаются в одной точке, а получается сферический треугольник, как его называют „треугольник погрешностей“, центр тяжести которого можно принять за положение двойниковой оси на сетке (см. приложение 7). Иногда эти треугольники получаются больших размеров и часто вытянуты в одном направлении. Если две из осей эллипсоидов располагаются на сетке близко одна от другой, тогда центр тяжести треугольника не будет определять положение двойниковой оси.<sup>1</sup> В этих случаях положение двойниковой оси отыскивается одним из следующих двух способов.

II. Соединив дугами больших кругов  $Ng_1$ ,  $Ng_2$ ,  $Nm_1$ ,  $Nm_2$ ,  $Np_1$ ,  $Np_2$  таким же образом, как это делалось в предыдущем случае, мы получаем треугольник погрешностей (см. приложение 6).

Вращением восковки около центра сетки помещаем сначала точки  $Ng_1$  и  $Ng_2$  на один меридиан и делим дугу  $Ng_1$ ,  $Ng_2$  пополам, отметив эту точку крестиком, в нашем примере обозначив его буквою  $h_1$ . По этому же меридиану, проходящему через точки  $Ng_1$ ,  $Ng_2$ , от точки  $h_1$ , откладываем дугу в  $90^\circ$ , получаем точку  $h_2$ , которая будет делить пополам дугу, дополнительную к дуге  $Ng_1$ ,  $Ng_2$  до  $180^\circ$ .

Разделив таким образом дуги  $Np_1$ ,  $Np_2$  и  $Nm_1$ ,  $Nm_2$  и дуги, дополняющие их до  $180^\circ$ , пополам, получим шесть точек

$$h_1, h_2, h_3, h_4, h_5, h_6.$$

Считаем эти шесть точек за полюса, находим их экваторы, которые, во избежание путаницы, проводим каким-нибудь условным цветом или пунктиром.

Вообще мы получим несколько точек, в которых будут, в идеальном случае, пересекаться три из проведенных дуг, но по большей части эти три дуги в пересечении дают не точки, а маленькие треугольники погрешностей, центры тяжести которых принимаем за точки. Из них точка, лежащая внутри треугольника погрешностей, полученного при проведении дуг  $Ng_1$ ,  $Ng_2$ ;  $Np_1$ ,  $Np_2$ ;  $Nm_1$ ,  $Nm_2$ , и будет двойниковой осью, которую обозначаем буквой  $D_0$  (см. приложение 6).

Этот способ определения двойниковой оси является наиболее точным.

III. Третий метод определения положения двойниковой оси заключается в следующем.

Вращаем восковку около центра сетки, пока три из шести точек  $h_1$ ,  $h_2$ ,  $h_3$ ,  $h_4$ ,  $h_5$ ,  $h_6$  не поместятся на одном меридиане. Ищем полюс

<sup>1</sup> Если две одноименных оси лежат совсем близко (например  $Np_1$  и  $Np_2$  в кислых плагиоклазах), двойниковой оси не ищут, а пользуются двойниковым швом (см. стр. 74).

дуги, соответствующий этому меридиану. Если полюс помещается внутри треугольника погрешностей, то он будет двойниковой осью, а дуга большого круга, проходящая через эти точки, будет стереографической проекцией двойниковой плоскости.

Теперь положение двойниковой оси найдено, остается только определить координаты двойниковой оси относительно осей эллипсоидов оптической индикатриссы отдельных неделимых двойника.

Для этого вращаем восковку около центра сетки так, чтобы двойниковая ось ( $D_0$ ) и ось эллипсоида  $Ng_1$  поместились на одном меридиане, и отсчитываем число градусов между ними. Таким же образом измеряем дуги  $D_0Ng_1$ ;  $D_0Np_1$ ;  $D_0Nm_1$  и  $D_0Ng_2$ ;  $D_0Np_2$ ;  $D_0Nm_2$ . Если для них получим значения большие  $90^\circ$ , то берем дополнения их до  $180^\circ$ .

Пусть в нашем примере мы при измерении получили (см. приложение 6):

В I индивидуе	Во II индивидуе	Среднее
$D_0Ng_1 = 84^\circ,5$	$D_0Ng_2 = 85^\circ,5$	$D_0Ng = 85^\circ$
$D_0Np_1 = 22^\circ$	$D_0Np_2 = 22^\circ$	$D_0Np = 22^\circ$
$D_0Nm_1 = 68^\circ,5$	$D_0Nm_2 = 68^\circ,5$	$D_0Nm = 68^\circ,5$

Таким образом координаты двойниковой оси вычислены, по ним можем определить номер плаггиоклаза.<sup>1</sup>

Для проверки, что двойниковая ось найдена правильно, можно рекомендовать следующий прием.

При помощи возможных вращений Федоровского столика совмещаем двойниковую ось с оптической осью микроскопа. Это может быть выполнено в том случае, когда двойниковая ось образует с плоскостью шлифа угол больше  $30^\circ$ , т. е. когда полярное расстояние проекции двойниковой оси на сетке будет не больше  $60^\circ$ .

Для того чтобы совместить двойниковую ось с оптической осью микроскопа, совмещаем центр восковки с центром сетки в любом положении и читаем координаты двойниковой оси. Пусть положение восковки было такое: индекс остановился на 20-м делении основного круга проекции, а двойниковая ось лежит на 50-м меридиане вправо от вертикального диаметра сетки в пересечении с 30-й параллелью сетки, считая от горизонтального диаметра сетки к южному полюсу.

При основном положении столика вращаем препарат около оси  $N$  столика, ставим индекс металлической оправы стеклянного диска на отсчет 20. Освободим зажим  $h$ , наклоним препарат около оси  $H$ , чтобы соответствующий индекс остановился на отсчете 50 по правой дужке столика. Закрепляем зажим  $h$ . Освобождаем зажим  $i$ , вращаем ось  $I$  до совмещения 30-го деления лимба с нулем нониуса оси  $I$ . Двойниковая ось совмещена с оптической осью микроскопа. Освобождаем зажим  $a$  и вращаем весь столик около оси  $A$ . Если двойниковая ось была найдена правильно, то двойник исчезнет, и обе половинки двойника будут вести себя как монокристалл, т. е. погасание и просветление отдельных половинок будет наступать одновременно.

Если полярное расстояние двойниковой оси на сетке столь большое, что совместить ее с оптической осью микроскопа практически невозможно (например  $\angle$  больше  $50-60^\circ$ ), то можно пытаться совместить с плоскостью

<sup>1</sup> Об определении плаггиоклазов по двойникам будет сказано ниже.

симметрии микроскопа двойниковую плоскость, тогда очевидно двойниковая ось совместится с осью  $I$ . В этом случае при вращении вокруг  $I$  двойник должен вести себя как монокристалл.

Теперь нанесем на сетку положение плоскости срастания двух неделимых двойника. Как уже говорилось раньше, двойниковый шов является следом пересечения плоскости срастания неделимых двойника с плоскостью шлифа и может быть обнаружен только при включенном анализаторе.

Двойниковый шов представляется нам в виде прямой линии, разделяющей два зерна, окрашенные в различные интерференционные цвета. При основном положении столика добиваемся предварительно надлежащего освещения зерна, обусловленного положением конденсора и диафрагмы микроскопа, как это мы уже делали перед определением координат плоскости спайности зерна. Вращаем препарат около оси  $N$  до совмещения двойникового шва с вертикальной нитью окуляра.

Освобождаем зажим  $h$ , наклоняем препарат около оси  $H$  в ту и в другую сторону и точно устанавливаем так, чтобы граница между неделимыми двойника была выражена тонкой, ясной, прямой линией. Теперь остается взять отсчеты и записать их в соответствующую графу в табличке для координат плоскостей симметрии эллипсоида. Наносим эту плоскость на сетку точно таким же образом, как наносились плоскости симметрии эллипсоида и плоскость спайности.

Описанным выше способом не всегда удается определить координаты плоскости срастания.

Первая координата  $N$  находится, как мы видели, легко, но вторую координату, получающуюся при наклонении около оси  $H$ , иногда установить сколько-нибудь точно совершенно невозможно. Все же в таком случае эту координату с некоторой вероятностью можно определить, основываясь на том, что двойниковая ось может быть только или перпендикулярна к плоскости шва, или параллельна ему (т. е. в проекции лежать в шве).

Для этой цели совместим двойниковый шов с вертикальной нитью окуляра вращением препарата около оси  $N$ , берем отсчет  $N$  по внутреннему диску столика, пусть  $N = b^\circ$ .

Вращаем восковку около центра сетки и ставим индекс ее на отсчет, равный  $b^\circ$  по основному кругу проекции.

При этом положении замечают, на каком меридиане лежит двойниковая ось — справа или слева от вертикального диаметра сетки или, что то же самое, от двойникового шва.

Так как двойниковая ось может быть только перпендикулярна к плоскости срастания или параллельна ей, то с некоторой степенью вероятности можно будет сказать о второй координате  $H$  плоскости срастания. Пусть при этом двойниковая ось лежит на  $a$ -том меридиане справа, координата которого  $H = a^\circ R$ , то вторая координата  $H$  плоскости срастания может быть либо  $H_1 = a^\circ R$ , если двойниковая ось параллельна плоскости срастания двойника, либо  $H_2 = (90^\circ - a^\circ) L$ , если двойниковая ось перпендикулярна к плоскости срастания двойника, и тогда двойниковая ось должна являться полюсом плоскости срастания двойника, и следовательно проекция ее на сетке должна находиться вблизи горизонтального диаметра сетки в пределах ошибок наблюдения.

Пусть в нашем примере (см. приложение 6) получили координату  $N = 34^\circ,5$ . Повернув восковку около центра сетки и поставив индекс на

отсчет  $N = 34^{\circ},5$ , видим, что двойниковая ось лежит на 70-м меридиане слева от центра сетки, следовательно вторую координату плоскости срастания могут быть:  $H_1 = 70^{\circ} L$ , а  $H_2 = (90^{\circ} - 70^{\circ}) R = 20^{\circ} R$ , и так как проекция двойниковой оси перпендикулярна к шву, координаты которого  $N = 34^{\circ},5$ ;  $H = 0^{\circ}$ ; то вторая координата плоскости срастания, как наиболее вероятная, будет  $H_2 = (90^{\circ} - H_1) R = (90^{\circ} - 70^{\circ}) R = 20^{\circ} R$ .

Итак, плоскость срастания имеет координаты  $N = 34^{\circ},5$  и  $H = 20^{\circ} R$ .

Возьмем второй пример. Пусть координата плоскости срастания будет  $N = 352^{\circ}$  (см. приложение 7). Вращаем восковку около центра сетки и ставим индекс на отсчет  $N = 290^{\circ}$  основного круга проекции сетки. При этом положении восковки двойниковая ось лежит на 10-м меридиане справа от центра сетки, и она не перпендикулярна к шву, следовательно наимвероятнейшая вторая координата  $H$  плоскости срастания двойника была бы  $H = 10^{\circ} R$ . Итак, в этом примере координаты плоскости срастания будут  $N = 352^{\circ}$  и  $H = 10^{\circ} R$ .

Получив координаты плоскости срастания двойника, записываем их в табличку в соответствующую графу и наносим на сетку таким же образом, как наносили плоскости симметрии эллипсоида и плоскости спайности. Определяем на сетке положение полюса плоскости срастания неделимых двойника и, обозначив его буквою  $P_c$ , находим его координаты по отношению к осям эллипсоида оптической индикатриссы каждого индивида двойника, т. е. измеряем дуги больших кругов сетки между осями эллипсоидов и найденным полюсом  $P$ , причем для дуг, больших  $90^{\circ}$ , берем дополнение до  $180^{\circ}$ . Получим следующую табличку:

I индивид	II индивид	Среднее
$PNg_1 = a_1^{\circ}$	$PNg_2 = a_2^{\circ}$	$PNg = a^{\circ}$
$PNp_1 = b_1^{\circ}$	$PNp_2 = b_2^{\circ}$	$PNp = b^{\circ}$
$PNm_1 = c_1^{\circ}$	$PNm_2 = c_2^{\circ}$	$PNm = c^{\circ}$

Зная эти координаты, мы можем определить номер плагноклаза, индексы плоскости срастания двойника, что будет иметь большое значение при определении двойникового закона данного двойника плагноклаза и его номера.

Конечно эти координаты имеют значение для определения номера плагноклаза только в том случае, если они получены непосредственно наблюдением. В том случае, когда одна координата находилась косвенным путем, они не могут служить исходными данными, и нахождение таким образом плоскости срастания имеет значение только для определения типа двойникования.

В первом примере, приведенном в приложении 6, координаты полюса плоскости срастания двойника будут те же, что и для двойниковой оси, так как полюс плоскости срастания двойника совпадает с двойниковой осью  $D_0$ , следовательно плоскость срастания двойника будет совпадать с двойниковой плоскостью.

## ✓ § 22. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ПЛАГИОКЛАЗОВ ПО ДВОЙНИКАМ.

Среди двойниковых образований плагноклазов различают три типа двойникования.

1) В двойниках по закону грани двойниковая ось перпендикулярна к грани кристалла, которая обычно выражается индексами в виде простых целых рациональных чисел.

Двойниковая плоскость здесь совпадает с плоскостью срастания.

Ввиду того, что отдельные кристаллы обладают центром симметрии, то двойниковая плоскость вместе с тем будет и плоскостью симметрии двойника.<sup>1</sup>

Таким образом в двойниках по закону грани двойниковая ось перпендикулярна к плоскости срастания двойника.

2) При так называемом законе оси двойниковая ось параллельна возможному ребру кристалла.

Двойниковая плоскость, перпендикулярная к этому ребру, не может быть гранью и плоскостью симметрии двойника. Плоскостью срастания может быть любая грань кристалла, преимущественно того же простого вида, как и в двойниках по закону грани, причем она лежит в зоне, осью которой является двойниковая ось. Таким образом в двойниках этого типа двойниковая ось лежит в плоскости срастания двойника.

3) При так называемом сложном законе мы имеем двойниковые образования, характеризующиеся следующим положением двух индивидов двойника.

Представьте себе, мы имеем три кристалла: первый (1) и второй (11) находятся в двойниковом положении по закону грани, а этот второй (11) с третьим (2) в двойниковом положении по закону оси.

Если теперь второй (11) из них, лежащий между двумя другими, удалить, то оставшиеся кристаллы первый (1) и третий (2) будут находиться в двойниковом положении и образуют двойник по сложному закону.

В такого рода двойниковых образованиях двойниковая ось параллельна возможной грани кристалла и в то же время перпендикулярна к одному из ребер, лежащих в этой грани.

Грань эта вместе с тем является и плоскостью срастания, она будет общей гранью как для одного, так и для другого индивида двойника и должна поэтому лежать в общей для них зоне.

Двойниковая ось лежит и в плоскости срастания двойника и в общей для обоих индивидов зоне.

Таким образом двойниковая ось в двойниках по сложному закону лежит в плоскости срастания двойника и перпендикулярна к ребру, лежащему в плоскости срастания, которое параллельно оси общей для обоих индивидов зоны.

Приводим таблицу двойниковых законов плагиоклазов, взятую у М. Бе-река (см. стр. 76)

Однако надо иметь в виду, что эти законы далеко не одинаково распространены.

Наиболее часто встречаются альбитовый (010), карлсбадский [001], сложный  $\perp$  [001] || (010) и наконец периклиновый [010]. Остальные законы крайне редки и иногда упоминаются просто вследствие ошибок наблюдений. Когда встречается какой-нибудь редкий закон, нужно непременно тщательно проверить все измерения и только тогда говорить о нем. Если точка попадает на диаграмму между двумя кривыми, из которых одна принадлежит одному из приведенных частых законов, а другая относится к редкому

<sup>1</sup> Не надо смешивать плоскость симметрии кристалла и плоскость симметрии двойника; последняя не является плоскостью симметрии для кристалла. Из кристаллографии известно, что плоскость симметрии кристалла (или параллельная ей) не может быть двойниковой плоскостью, так же как и направление четной оси симметрии не может быть двойниковой осью.

Прим. ред.

закону, то хотя бы расстояние до последней кривой и было меньше, все-таки более вероятен частый закон.<sup>1</sup>

Когда на стереографической сетке найдено положение полюса плоскости срастания двойника (П) двойниковой оси (D) и определены их координаты  $PNg$ ;  $PNp$ ;  $PNm$  и  $D_oNg$ ;  $D_oNp$  и  $D_oNm$ , остается только определить двойниковый закон и номер плагиоклаза. Для этой цели мы пользуемся таблицами 3-й и 4-й, прилагаемыми в конце (заимствованы у В. В. Никитина).

Таблица 3-я нам уже знакома: мы пользовались ею при определении индексов плоскости спайности. На ней в стереографической проекции представлено относительное расположение полюсов граней в различных плагио-

Таблица двойниковых законов плагиоклазов

Тип закона	Двойников. ось	Плоскость срастания	Название двойник. закона
Закон грани (нормальный)	$\perp$ (010)	(010)	Альбитовый
	$\perp$ (001)	(001)	Манебахский (у ортоклазов)
	X (021)	(021)	Бавенский (правый)
	X (0 $\bar{2}$ 1)	(0 $\bar{2}$ 1)	Бавенский (левый)
	$\perp$ (100)	(100)	X
	$\perp$ (110)	(110)	По призме (правый)
	$\perp$ (1 $\bar{1}$ 0)	(1 $\bar{1}$ 0)	По призме (левый)
Осевой (параллельн.)	[001]	Грани из зоны (010) (100) <sup>2</sup>	Карлсбадский
	[010]	Грани из зоны (001) (100) <sup>3</sup>	Периклиновый
	[100]	Грани из зоны (010) (001) <sup>4</sup>	Esterel
Сложный	$\perp$ [001]	(010)	Альбит-карлсбадск. (Roc Tourné)
	$\perp$ [100]	(010)	Альбит-Esterel
	$\perp$ [010]	(001)	Манебах-периклинов. (Scopie)
	$\perp$ [010]	(100)	X-периклинов.
	$\perp$ [100]	(001)	Манебах-Esterel
	$\perp$ [001]	(100)	X-карлсбадский

<sup>1</sup> См. В. Н. Лодочников. Главнейшие породообразующие минералы, § 394. 1933 г.

<sup>2</sup> Обычно (010).

<sup>3</sup> Обычно так наз. ромбич. сечение.

<sup>4</sup> Обычно (010).

клязах к осям эллипсоида оптической индикатриссы, которые приняты за неподвижные оси координат.

Так как в двойниках по закону грани двойниковая ось перпендикулярна к грани кристалла, то стереографическая проекция двойниковой оси будет совпадать с проекцией полюса этой грани.

Поэтому при определении двойниковых законов первого типа будем пользоваться диаграммой, представленной таблицей 3-й.

При определении двойников с осевым и сложными законами будем обращаться к таблице 4-й.

На ней тоже в стереографической проекции показано относительное расположение двойниковых осей к осям эллипсоида оптической индикатриссы в двойниках различных плагиоклазов для осевых и сложных законов.

Оси эллипсоида приняты за оси координат.

Прежде чем приступить к определению двойникового закона и химического состава исследуемого плагиоклаза, мы должны иметь перед собою стереографическую проекцию положения эллипсоидов двойника, двойниковой оси, полюсов: плоскости срастания двойника, плоскости спайности и граней, если они наблюдаемы в исследуемом двойнике.

Имея перед собою такую сетку с вычисленными координатами: двойниковой оси  $D_0 Ng; D_0 Np; D_0 Nm$ , полюса плоскости срастания  $PNg, PNp, PNm$  и полюсов плоскостей спайности и граней, определяем сначала индексы плоскостей спайности и граней способом, который был указан выше.

Далее определяем, к какому типу относится исследуемый двойник.

Если двойниковая ось расположена перпендикулярно к плоскости срастания двойника, то мы имеем дело с двойником по закону грани. Очевидно на сетке полюс плоскости срастания или должен совпадать с двойниковой осью, или же расположен вблизи от нее, в границах, допустимых погрешностью наблюдения.

Для уяснения методики определения двойникового закона плагиоклаза и его химического состава обратимся к примеру (см. приложение 6).

Двойниковая ось ( $D_0$ ) перпендикулярна к плоскости срастания. Двойник следовательно по закону грани.

Читаем на сетке координаты двойниковой оси:  $D_0 Ng = 85^\circ, D_0 Np = 22^\circ, D_0 Nm = 68^\circ, 5$ .

Способом, описанным на стр. 69, отмечаем двойниковую ось на диаграмме.

В идеальном случае все три дуги будут пересекаться в одной точке, но обычно получаем четыре сферических треугольника (погрешности), центры тяжести которых отмечаем точками.

В нашем примере (см. приложение 6) одна из четырех точек попадает на кривую, обозначенную символом (100), между цифрами 2 и 3, надписанными на этой кривой.

Следовательно двойниковая ось исследуемого двойника перпендикулярна к грани кристалла (100), а двойник образован по закону, который обозначается в приведенной выше таблице буквою X.

Наша точка расположилась на кривой (100) в середине между цифрами 2 и 3, это показывает, что исследуемый плагиоклаз содержит 27% анортита и 73% альбита, следовательно номер плагиоклаза 27-й.

Итак, двойниковый закон и номер плагиоклаза определены.<sup>1</sup>

Если ни одна из точек не попадет ни на одну из кривых диаграммы, то двойниковый закон и номер плагиоклаза приписываем исследуемому плагиоклазу согласно той кривой, к которой ближе располагается одна из четырех точек.

Возьмем второй пример (см. приложение 7). На прилагаемой сетке нанесены все необходимые геометрические элементы двойника, чтобы определить двойниковый закон и номер плагиоклаза.

Рассматривая сетку, убеждаемся, что двойниковая ось лежит в плоскости срастания двойника, следовательно исследуемый двойник плагиоклаза относится к осевому или сложному типу.

Читаем на сетке координаты полюса плоскости срастания (П) и двойниковой оси:

$$\begin{array}{ll} \text{П Ng} = 26^\circ & D_0 \text{Ng} = 66^\circ \\ \text{П Nm} = 70^\circ & D_0 \text{Nm} = 60^\circ \\ \text{П Np} = 76^\circ & D_0 \text{Np} = 40^\circ \end{array}$$

По этим координатам на диаграмме табл. 1 находим указанным выше построением четыре точки для положения полюса (П) и четыре точки на табл. 4 для положения  $D_0$ , расположенные в четырех квадрантах сетки.

Определим сначала индексы плоскости срастания двойника. Замечаем, что точка  $\text{П}_1$  располагается вблизи кривой, обозначенной символом (010), а точка  $\text{П}_2$  вблизи кривой (021). Таким образом плоскость срастания возможна либо грань (010), либо (021).

По положению полюса  $\text{П}_1$  получаем для плагиоклаза № 56, а по полюсу  $\text{П}_2$ —плагиоклаз № 0. Заметив это, посмотрим, что нам покажет таблица 4.

Так как наш двойник относится к осевому или сложному типу, то для определения двойникового закона мы должны обратиться к таблице 4.

На таблице 4 замечаем, что  $D_0$  помещается между двумя кривыми, обозначенными символами [001] и  $\frac{1}{(100)}[010]$ .

Теперь необходимо решить вопрос, на которой из этих кривых следует нам остановиться.

Для этого выясним, какой закон возможен для исследуемого двойника.

Символ [001], надписанный над кривой, показывает, что эта кривая соответствует двойникам осевого типа, образованным по закону, когда двойниковую осью является ребро [001].

Символ  $\frac{1}{(100)}[010]$ , подписанный под другой кривой, показывает, что кривая соответствует двойниковым образованиям по закону — двойниковая ось перпендикулярна к ребру [010], а плоскостью срастания является грань (100), т. е. двойниковый закон сложного типа.

Из таблицы двойниковых законов, приведенной выше, находим, что первая кривая соответствует двойникам, образованным по карлсбадскому закону, при котором двойниковую осью является ребро [001], а плоскостью срастания могут быть грани (100) и (010) (обычно последняя).

<sup>1</sup> Приведенный случай нужно рассматривать лишь как чисто теоретический пример, разъясняющий ход определения, так как практически этот закон настолько редок, что почти никогда не встречается, а если и встретится, должен быть тщательно проверен.

Вторая кривая соответствует двойникам, образованным по X-периклиновому закону, при котором двойниковая ось перпендикулярна ребру кристалла [010] и лежит в плоскости срastания, которую является грань кристалла (100).

Таким образом в исследуемом двойнике плоскостью срastания могут быть только грани кристалла: либо (010), либо (100).

Но с другой стороны при определении индексов плоскости срastания по ее полюсу П, на основании диаграммы, представленной таблицей 3, мы раньше пришли к определенному выводу, что плоскостью срastания могут быть только грани (010) или (021). Таким образом плоскостью срastания двойника является грань (010), как удовлетворяющая и первому и второму поставленным выше условиям, а исследуемый двойник следовательно образован по карлсбадскому закону. По кривой (010) на диаграмме первой получим для исследуемого плагиоклаза номер 56-й.

На таблице 4 теперь мы должны остановиться на кривой, обозначенной символом [001], откуда получаем, что плагиоклаз принадлежит к 58 номеру, т. е. лабрадору.

Итак, двойниковый закон и номер плагиоклаза определены.

Если окажется, что ни одна из четырех точек  $D_0$  не попадет ни на одну кривую диаграммы таблицы 4, то приписываем двойниковый закон и номер плагиоклазу согласно той кривой, к которой ближе располагается одна из этих точек. Конечно при этом необходимо аналогичными приведенным выше рассуждениями выяснить возможность данного двойникового закона, принимать во внимание его частоту и результаты предшествовавших определений. Если определенных результатов не получается, то вероятно допущена большая погрешность при работе, и измерение следует повторить.<sup>1</sup>

Необходимо отметить, что неопределенное решение особенно часто имеет место при определении кислых плагиоклазов. Если мы взглянем на диаграмму Никитина, приведенную к одному квадранту (в этом можно также убедиться и по табл. 3), то увидим, что кривая наиболее распространенной в качестве двойникового шва и спайности грани (010) сдваивается, и для плагиоклазов от 0 до 35 номера будем получать двойственные решения. Поэтому нужно быть особенно осторожным в заключениях при измерении кислых плагиоклазов. Надо непременно стараться найти такие зерна, в которых, перпендикулярно альбитовым двойникам, наблюдаются двойниковые полосы периклиновых или манебахских (очень редко) двойников или трещинки манебахской спайности. Угол оптических осей нужно принимать во внимание только с большой осторожностью, так как встречаются положительные андезины и отрицательные альбиты.

Если вопрос по двойникам и спайности не решается, нужно искать ответа в приблизительном определении показателя преломления, используя для этого канадский бальзам и кварц,<sup>2</sup> т. е. исследования, которые обычно производятся без столика Федорова.

<sup>1</sup> Иногда уклонение точек от кривых может зависеть от каких-нибудь особенностей плагиоклаза в данной породе (состав и др.). Если такое закономерное отклонение подтверждается многократными наблюдениями, плагиоклаз нуждается в специальном исследовании.

<sup>2</sup> В. Н. Лодочников. „Главнейшие породообразующие минералы“, §§ 77, 78 и 110. 1933 г.

## § 23. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛАГИОКЛАЗОВ ПО МЕТОДУ МАКСИМАЛЬНОГО УГЛА ПОГАСАНИЯ В ЗОНЕ, ПЕРПЕНДИКУЛЯРНОЙ К ГРАНИ (010).

Иногда встречается надобность в быстром и в то же время не очень точном, но надежном определении плагиоклаза, в таких случаях применяют методы, которые дают возможность примерно определить состав плагиоклаза без нанесения на восковку. Более подробно эти методы изложены в напечатанной здесь же статье Риттмана. Один из таких методов приводится в настоящей главе. Еще раз нужно подчеркнуть, что по сравнению с определением плагиоклаза по двойникам или спайности этот метод гораздо менее точен, и им можно пользоваться либо для ускорения измерений при массовой петрографической работе, либо в тех случаях, когда двойники измерить невозможно (например в микролитах эффузивных пород).

Этот метод применим в тех случаях, когда в плагиоклазах присутствуют двойники со швом (010) или спайность (010) (т. е. практически всегда), и особенно удобен для альбитовых двойников.

Сущность этого метода заключается в том, что угол погасания на некоторой плоскости, перпендикулярной к грани (010), имеет для каждого плагиоклаза свою определенную величину. Максимум имеет место у различных плагиоклазов на различных плоскостях, принадлежащих зоне  $\perp$  (010).

В основании этого метода положено то весьма важное обстоятельство, что значение угла максимального погасания изменяется одновременно с изменением химического состава плагиоклаза.

В этом методе угол погасания будет всегда замеряться по отношению к грани (010) с осью эллипса, относительный характер которой  $N'p$ ,<sup>1</sup> т. е. с меньшею осью эллипса, полученного сечением эллипсоида оптической индикатриссы плоскостью, перпендикулярной к оптической оси микроскопа при данном положении зерна.

Техника выполнения этого метода заключается в следующем.

Для конкретности рассмотрим зерно, для которого на восковку нанесено положение эллипсоида и грани (010), совершенно безразлично — будет ли это грань, плоскость спайности или плоскость срастания двойника. На Универсальном столике в кресте нитей находится исследуемое зерно, которое, само собой понятно, не должно быть сбито с ориентировки, отвечающей сетке.

Накладываем восковку, на которой нанесены геометрические элементы исследуемого плагиоклаза, на стереографическую сетку и вращаем ее около центра сетки, чтобы дуга большого круга, изображающая в проекции положение нашей грани (010) в исследуемом зерне, совместилась с меридианом сетки. Читаем непосредственно на сетке координаты плоскости (010):  $N = 352^\circ$ ,  $H = 10^\circ R$  (см. приложение 7). Приведя предварительно столик в основное положение, вращаем препарат около оси  $N$  столика до совмещения штриха внутреннего диска столика с отсчетом  $352^\circ$ . Освобождаем зажим  $h$ , наклоняем препарат около оси  $H$  влево, чтобы соответствующий указатель остановился на делении  $10^\circ$  по правой дужке столика, и закрепляем зажим  $h$ .

Грань (010) кристалла совмещена с плоскостью симметрии микроскопа; ее след на плоскости шлифа, будет ли он выражен трещинкой спайности

<sup>1</sup> Условимся относительно большую ось эллипса сечения эллипсоида обозначать символом  $N'g$ , а относительно меньшую —  $N'p$ .

или двойниковым швом, должен быть при этом положении параллелен вертикальной нити окулярного креста, а также наиболее тонким и четким.

Обычно эта установка делается непосредственно без определения положения эллипсоида и нанесения его на восковку, что и составляет преимущество метода.

При таком положении препарата берем отсчет по лимбу столика микроскопа (отсчет должен соответствовать отсчету при основном положении оси  $I$ ); допустим он  $= 212^{\circ},9$ .

Далее, в случае двойника, замечаем исследуемый индивид, вращаем препарат около оси  $A$  столика микроскопа до угасания зерна и берем отсчет по лимбу столика микроскопа.

Пусть отсчет будет  $a^{\circ}$ , тогда  $(212^{\circ},9 - a^{\circ})$  будет угол погасания.

Теперь нужно точно установить, по отношению какой оси эллипса мы измеряем угол погасания, так как нам нужен угол погасания с меньшей осью эллипса, т. е. относительный характер которой  $N'r$ . Этот вопрос легко решается при помощи гипсовой пластинки.

Для этого вращаем препарат около оси  $A$  от положения погасания на  $45^{\circ}$  в сторону, обратную движению часовой стрелки.

При таком положении препарата определяемое направление, с которым замерен угол погасания, будет расположено параллельно прорезу тубуса микроскопа.

Вставляем гипсовую пластинку в прорез тубуса микроскопа. Если при этом наблюдаем согласное наложение осей эллипсов гипсовой пластинки и исследуемого зерна, то в зерне параллельно прорезу тубуса микроскопа расположена меньшая ось эллипса, полученного сечением эллипсоида оптической индикатриссы данного зерна плаггиоклаза плоскостью, перпендикулярной к оптической оси микроскопа, и полученный угол погасания был замерен с осью, относительный характер которой  $N'r$ .

В обратном случае, чтобы получить угол погасания с меньшей осью, нам нужно или вращать столик от исходного положения в противоположную сторону, или же брать за углы погасания дополнения до  $90^{\circ}$ .

В случае двойника определяем точно таким же образом угол погасания с относительно меньшей осью  $N'r$  эллипса сечения для другой части двойника.

Установив раз навсегда какую-нибудь сторону вращения столика от основного положения для получения угла погасания, непосредственно с осью  $N'r$ , либо дополнительного к нему до  $90^{\circ}$ , для каждой половинки двойника, будем и в дальнейшем в этом методе измерять углы погасания в ту же сторону.

Записав углы погасания с осью  $N'r$  для каждой половинки двойника при нулевом положении лимба оси  $I$ , вращаем препарат около оси  $I$ , скажем через  $10^{\circ}$ , сначала в одну сторону, а затем в другую и для каждого положения находим углы погасания для каждого индивида двойника с принятым направлением, т. е. с осью эллипса, относительный характер которой  $N'r$ .

Записываем углы погасания, отнесенные к  $N'r$ , в табличку, приведенную ниже.

Таблица углов погасания на плоскостях, перпендикулярных к (010). 1 индивид

$I$	$a^{\circ}$	Угол погасания $\varphi = 212^{\circ},9 - a^{\circ}$
$60^{\circ}$	$187^{\circ},7$	$25^{\circ},2$
$50^{\circ}$	$186^{\circ},4$	$26^{\circ},5$
$35^{\circ}$	$187^{\circ},8$	$25^{\circ},1$
$20^{\circ}$	$192^{\circ},5$	$20^{\circ},4$
$0^{\circ}$	$200^{\circ}$	$12^{\circ}$

1 индивид:  $\varphi = 26,5 - 48\%$  анортита.

Табличка и диаграмма (рис. 27) не требуют пояснения; укажем, что цифра  $212^{\circ},9$  в последнем столбике — отсчет по столику микроскопа, соответствующий основному положению оси  $I$ .

Из таблицы и диаграммы видим, что угол максимального погасания в зоне, перпендикулярной к (010), получен  $26^{\circ},5$ . Для определения номера плагиоклаза пользуемся диаграммой, представленной табл. 5 в конце настоящего руководства, по которой для этого примера получаем, что исследуемый плагиоклаз содержит 48% анортита. Такую же диаграмму и табличку составляем для второго индивида двойника.

В случае двойников этот метод может быть использован только в том случае, если плоскость срастания их будет грань (010).<sup>1</sup>

К таким двойникам относится образование по следующим законам: альбитовому и карлсбадскому, которые имеют плоскостью срастания грань (010)?

Так как в двойниках по законам грани плоскость срастания (010) является в то же время плоскостью симметрии двойника, то в двойниках, образованных по альбитовому закону, при одном и том же положении лимба оси  $I$  мы будем получать одинаковые углы погасания для обоих индивидов двойника, и максимум угла погасания наступит одновременно для обоих при некотором положении оси  $I$ , если химический состав их вполне однороден.

Здесь мы имеем так называемое *симметричное погасание* обоих индивидов двойника. Плоскость симметрии будет плоскостью срастания двойника — грань (010).

В этом случае описанный метод особенно удобен, так как измерение можно производить от погасания одного индивида до погасания второго индивида (в другую сторону

от шва) и делить полученный угол пополам. Погрешность измерения при этом уменьшается вдвое. В остальных двойниках симметричного относительно грани (010) погасания мы наблюдать не будем. Максимум погасания наступит для каждого индивида двойника при двух различных положениях лимба оси  $I$  столика.

Если мы взглянем на приведенную диаграмму (табл. 5), то увидим, что для небольших углов погасания, свойственных кислым и отчасти средним плагиоклазам, всегда получается двойное решение, т. е. возникает та же задача, которая выдвигалась при определении кислых плагиоклазов по альбитовым двойникам.

## § 24. МЕТОД ХАРАКТЕРНОГО ПОГАСАНИЯ.

Выше упоминалось, что в том случае, когда мы имеем разрез зерна двуосного минерала, близкий к плоскости оптических осей, мы не можем

<sup>1</sup> Конечно метод может быть использован в двойниках и других законов, если только в отдельных индивидах двойника наблюдается спайность (010).

на Универсальном столике непосредственно измерить угол оптических осей  $2V$  и следовательно не можем решить вопрос даже о знаке минерала. В некоторых случаях например, когда зерен исследуемого минерала в шлифе очень мало, или все зерна имеют параллельную ориентировку (ориентированные текстуры), может случиться, что ни одного сечения, годного для непосредственного измерения угла оптических осей (хотя бы по одной оси), найти нельзя. В то же время величина  $2V$  принадлежит к числу важнейших констант, без, хотя бы приближенного, определения которой иногда бывает нельзя охарактеризовать или даже определить минерал.

Метод, который изложен в этом параграфе, а также метод, приведенный в параграфе 26, дают возможность измерить угол оптических осей в любом сечении. Нужно конечно помнить, что эти методы вследствие их громоздкости и относительно малой точности следует применять лишь в крайнем случае.

Принцип метода характерного угла погасания заключается в следующем.<sup>1</sup>

Выбирают в кристалле некоторое направление  $r$ , для которого должно быть поставлено только одно условие, чтобы оно не лежало ни в одной из плоскостей симметрии эллипсоида.

Далее определяют направления колебаний лучей, идущих в данном направлении  $r$ , и находят угол погасания, относя его к прямой  $z$ , являющейся осью зоны, проходящей через плоскости, перпендикулярные к направлению  $r$  и одной из осей эллипсоида.

В стереографической проекции (рис. 28) эта зона изобразится дугой большого круга, проходящей через точки  $r$  и  $Nx$ , а ось зоны в той же проекции будет полюсом  $z$  этой дуги.

$\bar{\varphi}$  — угол погасания, отнесенный к оси зоны  $z$ , который мы получим, если ось  $Nx$  совместится с оптической осью микроскопа;

$\varphi$  — угол погасания, отнесенный к той же оси зоны  $z$ , который получим, совместив с оптической осью микроскопа выбранное нами в кристалле направление  $r$ . Угол  $\bar{\varphi}$  и дугу  $rNx$  можно считать координатами направления  $r$ . Угол  $\varphi$  нам определит в связи с координатами  $\bar{\varphi}$  и  $rNx$  в будущем угол оптических осей, а косвенно кроме того характер двойного лучепреломления.

Точность этого метода зависит в большей степени от выбора координат  $\bar{\varphi}$  и  $rNx$ , при которых ведутся наблюдения.

В зависимости от характера оси  $Nx$  и положения оптической оси, координаты  $\bar{\varphi}$  и  $rNx$ , отвечающие наиболее благоприятным условиям наблюдения, сильно меняются.

Исследования показали, что при  $\bar{\varphi} = 45^\circ$  и  $rNx = 54,7^\circ$  при всевозможных случаях получается почти одинаковая средняя точность в определении.

Наблюдения при  $\bar{\varphi} = 45^\circ$  и  $rNx = 55^\circ$  будут называться нормальными условиями наблюдения, которые и будут применяться главным образом в

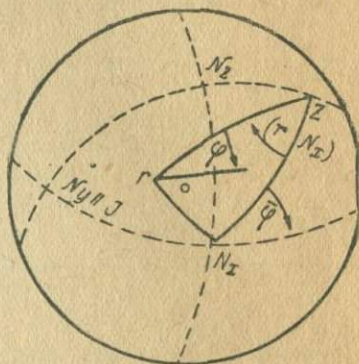


Рис. 28.

<sup>1</sup> М. Берек, стр. 91.

этом методе. Нормальным условиям наблюдения отвечает то направление в стереографической проекции, которое совпадает с центром тяжести сферического треугольника, полученного тремя плоскостями симметрии эллипсоида.

### Порядок работы.

Проверив тщательно установку столика в основном положении, находим сначала положение в исследуемом зерне плоскостей симметрии эллипсоида и наносим их на сетку. Определять наименования осей симметрии эллипсоида при этом методе не требуется.

Обозначим ось симметрии эллипсоида, которая ближе расположена к центру сетки, через  $Nx$  и совместим ее с оптической осью микроскопа. Для этого вращаем воскровку, на которой нанесено положение эллипсоида, около центра сетки, помещаем точку  $Nx$  на горизонтальный ее диаметр, следя за тем, чтобы центр, отмеченный на воскровке, не сместился с центра сетки. Читаем координаты  $N$  и  $H$  в нашем примере № 8:  $N = 284^\circ$  или  $104^\circ$  и соответственно  $H = 29^\circ R$  или  $30^\circ L$ .

Универсальный столик в основном положении. Ставим соответствующие индексы на отсчеты  $N = n^\circ$ ,  $H = h^\circ$  и закрепляем зажим  $h$ . Ось симметрии эллипсоида  $Nx$  совмещена с оптической осью микроскопа. Освобождаем зажим  $m$ , вращаем препарат около оси  $M$  столика в любую сторону до погасания зерна и берем отсчет по лимбу кольца  $M$  при помощи нониуса с точностью до 0,1 градуса. Отсчет по лимбу кольца  $M$ , соответствующий положению темноты, должен быть по возможности установлен точно, поэтому устанавливаем зерно на темноту пять, а еще лучше десять раз. Каждый раз по лимбу кольца  $M$  берем отсчет и находим среднее из пяти или десяти полученных отсчетов. Пусть среднее значение из них будет  $\bar{m}^\circ$ . Ставим лимб кольца  $M$  на этот отсчет  $\bar{m}^\circ$  и закрепляем зажим  $m$ . Определяем при помощи гипсовой пластинки или компенсатора Берека относительный характер той оси эллипсоида, которая при таком положении препарата параллельна оси  $I$  столика.

Будем ее всегда обозначать  $Ny$ , а перпендикулярную к ней и оси  $I$  столика —  $Nz$ . Освобождаем зажим  $a$  и вращаем столик около оси  $A$  микроскопа на  $45^\circ$  в сторону, обратную движению часовой стрелки. При таком положении препарата ось  $Ny$  будет перпендикулярна, а ось  $Nz$  параллельна к направлению прореза тубуса микроскопа. Вставляем в прорез тубуса гипсовую пластинку и замечаем изменение интерференционной окраски исследуемого зерна. Если будем наблюдать повышение интерференционной окраски гипсовой пластинки в части ее, покрывающей исследуемое зерно (например зерно окрасилось в синий цвет), то наложение осей эллипсов гипсовой пластинки и сечения исследуемого зерна согласное, следовательно ось  $Ny > Nz$  и относительный характер оси  $Ny$  будет  $N'g$ , что символически обозначается так:  $Ny = N'g$ . Если же мы будем наблюдать при этом понижение интерференционной окраски (например, зерно стало желтым), то относительный характер оси  $Ny$  будет  $N'r$ .

Заметив относительный характер оси  $Ny$ , параллельной всегда оси  $I$  столика, вращаем столик около оси  $A$  в обратную сторону до основного положения оси  $I$  столика, закрепляем зажим  $a$ , освобождаем зажим  $m$ , вращаем препарат около оси  $M$  столика и ставим лимб кольца  $M$  на отсчет  $(\bar{m}^\circ + 45^\circ)$ . Закрепляем зажим  $m$ . Освобождаем зажим  $i$ , наклоняем препарат

около оси  $I$  столика, совмещая либо 55-е деление, либо 305-е деление лимба оси  $I$  с нулем нониуса, и закрепляем зажим  $i$ . Лучше поставить на тот из этих отсчетов, при котором нормаль к шлифу образует меньший угол с оптической осью микроскопа.

Освобождаем зажим  $a$ , вращаем столик около оси  $A$  в сторону, обратную движению часовой стрелки, до наступления первого погасания зерна и берем отсчет по лимбу столика микроскопа. Устанавливаем таким образом зерно на темноту пять, еще лучше десять раз. Каждый раз берем отсчет по лимбу столика микроскопа, соответствующий положению полного погасания зерна, и находим среднее из всех отсчетов. Пусть это среднее значение будет  $\bar{a}^\circ$ , а отсчет по лимбу столика микроскопа, соответствующий основному положению оси  $I$ :  $A^\circ$ . Тогда  $(A^\circ - \bar{a}^\circ)$  и будет углом характерного погасания  $\varphi$ ; итак  $\varphi = (A^\circ - \bar{a}^\circ)$ .

Теперь по полученному углу при помощи диаграммы 6 таблицы определим угол оптических осей  $2V$  и характер двойного лучепреломления исследуемого минерала, т. е. знак минерала.

На диаграмме табл. 6 мы имеем кривую углов погасания  $\varphi$ , в зависимости от изменения угла оптических осей  $2V$ .

По оси ординат диаграммы отложены с левой стороны сверху вниз углы погасания от  $0^\circ$  до  $15^\circ$ , а с правой стороны снизу вверх—углы погасания от  $15^\circ$  до  $30^\circ$ . По оси абсцисс слева направо частные значения углов оптических осей  $2V$ . Если угол  $\varphi > 30^\circ$ , то ищем на диаграмме угол погасания  $(\varphi - 30^\circ)$ , точно также для угла погасания  $\varphi > 60^\circ$  ищем на диаграмме  $(\varphi - 60^\circ)$  и находим соответствующее ему частное значение угла  $2V$ .

Чтобы определить характер двойного лучепреломления, т. е. знак минерала, обращаемся к табличке (см. ниже), где по найденному значению и полученному относительному характеру оси  $Ny$ ,  $Ny = N'p$  или  $Ny = N'g$ , замеченному нами ранее, находим характер двойного лучепреломления и истинное значение осей  $Nx$ ,  $Ny$  и  $Nz$ : Для уяснения всего сказанного обратимся к примеру (см. приложение 8).

Таблица к методу характерного погасания

$\varphi$	Относительный характер оси $\parallel I$							
	$Ny = N'p$				$Ny = N'g$			
	Действительный характер							
	дв. лучепреломления	$Nx$	$Ny$	$Nz$	дв. лучепреломления	$Nx$	$Ny$	$Nz$
0—15°	+	$Ng$	$Np$	$Nm$	—	$Np$	$Ng$	$Nm$
15—30°	—	$Ng$	$Np$	$Nm$	+	$Np$	$Ng$	$Nm$
30—45°	—	$Nm$	$Np$	$Ng$	+	$Nm$	$Ng$	$Np$
45—60°	+	$Nm$	$Np$	$Ng$	—	$Nm$	$Ng$	$Np$
60—75°	+	$Np$	$Nm$	$Ng$	—	$Ng$	$Nm$	$Np$
75—90°	—	$Np$	$Nm$	$Ng$	+	$Ng$	$Nm$	$Np$

$Nx$  — ось симметрии эллипсоида, совмещенная с оптической осью микроскопа

$Ny$  — ось симметрии эллипсоида  $\parallel I$ ;

$Nz$  — ось симметрии эллипсоида  $\perp I$ .

На сетке имеем положение плоскостей симметрии и в пересечении их осей симметрии эллипсоида исследуемого зерна. Ближайшую к центру

сетки ось симметрии эллипсоида обозначим  $Nx$ . Совместим центр восковки с центром сетки, вращаем ее около центра сетки, чтобы точка  $Nx$  поместилась на горизонтальный диаметр сетки. Читаем координаты точки  $Nx$ :  $N = 284^\circ$ ;  $H = 29^\circ R$ . Приведем столик в основное положение и закрепив все зажимы, ставим соответствующие лимбы столика на отсчеты  $N = 284^\circ$ ,  $H = 29^\circ R$  и закрепляем зажим  $h$ . Ось  $Nx$  совмещена с оптической осью микроскопа. Освобождаем зажим  $m$ , вращаем препарат около оси  $M$  в любую сторону (в нашем примере по часовой стрелке) до погасания и берем отсчет по лимбу кольца  $M$ . Устанавливаем на положение темноты пять раз, берем отсчеты и получаем среднее из них:

$$\bar{m}^\circ = \left\{ \begin{array}{l} 123^\circ,7 \\ 125^\circ,3 \\ 123^\circ,4 \\ 123^\circ,4 \\ 125^\circ,7 \end{array} \right\} = 124^\circ,3 \text{ (среднее)}$$

Ставим лимб кольца  $M$  на отсчет  $\bar{m}^\circ = 124^\circ,3$  и закрепляем зажим  $m$ . Пусть отсчет по лимбу столика микроскопа, соответствующий основному положению оси  $I$ , был  $A^\circ = 34^\circ,8$ . Освобождаем зажим  $a$  и вращаем столик около оси  $A$  в сторону против вращения часовой стрелки на  $45^\circ$ . При таком положении препарата ось эллипсоида  $Ny$ , параллельная оси  $I$  столика, будет перпендикулярна, а ось  $Nz$  параллельна направлению прореза тубуса микроскопа.

Вставляем в прорез тубуса гипсовую пластинку и наблюдаем за изменением цвета интерференционной окраски зерна. Зерно окрасилось в желтый цвет, следовательно положение осей эллипсов исследуемого зерна и гипсовой пластинки несогласное, а это значит, что ось  $Nz > Ny$ , т. е. относительный характер оси  $Ny$  будет  $Ny = N'r$ . Заметив это, освобождаем зажим  $a$ , вращаем столик около оси  $A$  в обратную сторону на  $45^\circ$ , т. е. ставим лимб столика микроскопа на отсчет  $A^\circ = 34^\circ,8$ , соответствующий основному положению оси  $I$  столика, и закрепляем зажим  $a$ . Освободив зажим  $m$ , вращаем препарат около оси  $M$  и ставим лимб кольца  $M$  на отсчет  $\bar{m}^\circ + 45^\circ = 124^\circ,3 + 45^\circ = 169^\circ,3$  и закрепляем зажим  $m$ . Освобождаем зажим  $i$ , совмещая 305-е деление (или 55) лимба оси  $I$  с нулем нониуса, и закрепляем зажим  $i$ . Ослабляем зажим  $a$ , вращаем столик около оси  $A$  в сторону, обратную вращению часовой стрелки, до первого погасания зерна, берем отсчеты по лимбу столика микроскопа. Устанавливаем на темноту пять раз и получаем среднее из отсчетов  $\bar{a}^\circ$ :

$$\bar{a}^\circ = \left\{ \begin{array}{l} 324^\circ,0 \\ 324^\circ,2 \\ 325^\circ,9 \\ 324^\circ,7 \\ 326^\circ,0 \end{array} \right\} = 324^\circ,1 \text{ (среднее)}$$

Находим угол погасания  $\varphi = A^\circ - \bar{a}^\circ$ , где  $A^\circ$  — отсчет по лимбу столика микроскопа, соответствующий основному положению оси  $I$ .

В нашем наблюдении  $A^\circ = 34^\circ,8$ , следовательно

$$\varphi = A^\circ - \bar{a}^\circ = 34^\circ,8 - 324^\circ,1 = 34^\circ,8 + 360^\circ - 324^\circ,1 = 70^\circ,7.$$

Обратимся теперь к диаграмме табл. 6. Так как  $\varphi > 60^\circ$ , то ищем по диаграмме  $2V$  по углу погасания  $\varphi - 60^\circ = 70^\circ, 7 - 60^\circ = 10^\circ, 7$ , где находим, что  $2V = \mp 74^\circ$ . Остается решить вопрос о характере двойного лучепреломления исследуемого минерала, т. е. о его знаке, для чего обращаемся к табличке (см. выше).

В первом столбике этой таблички, обозначенном  $\varphi$ , ищем, которая строка удовлетворяет нашему  $\varphi = 70^\circ, 7$ . Таковой является пятая строка сверху при  $\varphi = (60 - 75^\circ)$ .

В верхней строке таблички читаем „относительный характер оси  $\parallel I''$ “. Ниже имеем два столбика, соответственно двум возможным значениям относительно характера оси  $Ny$ :

$$Ny = N'p \text{ и } Ny = N'g.$$

В нашем примере относительный характер оси  $Ny$  был  $Ny = N'p$ . В пятой строке сверху этого столбика  $Ny = N'p$  находим, что двойное лучепреломление исследуемого минерала (+), а оси эллипсоида, принятые нами ранее за неизвестные  $Nx$ ,  $Ny$  и  $Nz$ , в действительности будут

$$Nx = Np; Ny = Nm \text{ и } Nz = Ng.$$

Таким образом мы определим, что исследуемый минерал имеет: двойное лучепреломление (+) (положительный)

$$Nx = Np; Ny = Nm; Nz = Ng$$

$$2V = + 74^\circ.$$

Когда при нормальных условиях наблюдения определены оптический знак минерала и угол оптических осей, то мы можем с еще большей точностью определить и угол оптических осей и характер двойного лучепреломления исследуемого минерала при более благоприятных условиях наблюдения.

Правда, эти условия требуют иногда большого наклона препарата около оси  $I$  столика и в действительности могут быть осуществлены при значениях углов  $rNx$  и  $\varphi$ , приведенных в нижеследующей табличке:

Пользуются табличкой следующим образом.

В соответствующем столбике ищем полученный при нормальных условиях наблюдения угол характерного погасания  $\varphi$  и в той же строке в соседних столбиках находим соответствующие значения углов  $\bar{\varphi}$  и  $rNx$ .

Эти углы будут координатами того направления в кристалле, совместив которое с оптической осью микроскопа, мы получим наиболее благоприятные условия наблюдения, а следовательно и более точные результаты определения.

Определенные $\angle \varphi$	$\bar{\varphi}$	$rNx$	$\varphi$	$\bar{\varphi}$	$rNx$
0—2	100	10	88—90	10	10
1—6	100	20	84—89	10	20
5—15	100	35	75—85	10	35
10—23	100	50	67—80	10	50
10—28	100	65	62—70	10	65
27—33	105	65	57—63	15	65
32—37	115	65	53—58	25	65
35—45	130	65	45—55	40	55

Техника этого способа заключается в следующем: не нарушая положения около осей  $N$  и  $H$ , в которое препарат был приведен раньше, при нормальных условиях наблюдения, освобождаем зажим  $m$  и вращением препарата около оси  $M$  ставим соответствующий нониус на отсчет  $(\bar{m}^\circ + \bar{\varphi})$  лимба кольца  $M$ . Закрепляем зажим  $m$ . Освобождаем зажим  $i$ , совмещаем нониус с отсчетом либо  $rNx$ , либо  $(360^\circ - rNx)$  лимба оси  $I$  и закрепляем зажим  $i$ .

Затем, приведя ось  $I$  в основное положение, вращаем препарат около оси  $A$  в сторону, обратную движению часовой стрелки, до первого погасания и берем отсчет при помощи нониуса.

Устанавливаем препарат в положение этого погасания пять или десять раз, производя каждый раз отсчет по лимбу столика микроскопа. Берем среднее из всех полученных отсчетов и получаем  $a_0$ .

Разность отсчетов  $(a^\circ - A^\circ)$  и будет углом характерного погасания  $\varphi$ .

На приведенной ниже специальной табличке<sup>1</sup> ищем строку с полученными по первой табличке значениями  $\bar{\varphi}$  и  $rNx$ , а через строку ниже находим полученный угол  $\varphi$ .

В средней строке получаем значение угла  $2V$ , соответствующее углу  $\varphi$ .

Для промежуточных значений угла угол  $2V$  определяем простым интерполированием.

Для определения характера двойного лучепреломления обращаемся к табличке стр. 85, которой мы уже пользовались в предыдущем случае.

$$\bar{\varphi} = 100^\circ \text{ или } 10^\circ; rNx = 10^\circ$$

---

$2V$ :	30	25	20	15	10	0	10	20
$\varphi$ :	17,2	24,3	50,0	79,0	86,8	90,0	92,0	95,0

$$\bar{\varphi} = 100^\circ \text{ или } 10^\circ; rNx = 20^\circ$$

---

$2V$ :	60	50	40	30	20
$\varphi$ :	17,0	21,0	50,0	79,1	86,9

$$\bar{\varphi} = 100^\circ \text{ или } 10^\circ; rNx = 35^\circ$$

---

$2V$ :	90	80	70	60	50
$\varphi$ :	21,9	30,7	50,1	71,3	81,3

$$\bar{\varphi} = 100^\circ \text{ или } 10^\circ; rNx = 50^\circ$$

---

$2V$ :	60	70	80	90	80	70
$\varphi$ :	25,8	34,7	50,5	67,3	77,3	82,6

$$\bar{\varphi} = 100^\circ \text{ или } 10^\circ; rNx = 65^\circ$$

---

$2V$ :	30	40	50	60	70
$\varphi$ :	28,9	38,4	51,9	66,1	75,5

$$\bar{\varphi} = 105^\circ \text{ или } 15^\circ; rNx = 65^\circ$$

---

$2V$ :	40	30	20	10	0	10	20	30	40
$\varphi$ :	23,6	26,9	29,8	31,7	32,4	33,1	35,3	39,6	46,3

---

<sup>1</sup> М. Берек, стр. 96.

$$\bar{\varphi} = 115^\circ \text{ или } 25^\circ; rN_x = 65^\circ$$

2V:	60	50	40	30
$\varphi$ :	30,9	35,2	39,4	43,0

$$\bar{\varphi} = 130^\circ \text{ или } 40^\circ; rN_x = 65^\circ$$

2V:	70	80	90	80	70	60	50
$\bar{\varphi}$ :	29,9	33,7	38,1	42,9	47,6	52,0	55,6

При помощи этой специальной таблички мы получим наиболее точные результаты только при том условии, если разность хода лучей в направлении  $r$  при условиях наблюдения, предъявляемых этой таблицей, была более благоприятна, чем в направлении  $r$  при нормальных условиях наблюдения.

Как известно, точность определения положения погасания в значительной степени зависит от разности хода лучей в исследуемой анизотропной кристаллической пластинке.

Обычно с трудом удастся заметить положение погасания зерна в тех случаях, когда разность хода лучей приближается к 0. Наоборот, положение погасания может быть установлено точно при значительной разности хода лучей.

Точность результатов зависит, как мы видим, от точности определения угла характерного погасания  $\varphi$ .

Таким образом неблагоприятный случай при определении угла 2V и его знака чаще всего можно встретить в тонких шлифах, в минералах со слабым двойным лучепреломлением. Это обстоятельство следует учитывать при работе.

К последнему, более точному способу определения угла оптических осей и характера двойного лучепреломления неизбежно придется обращаться, когда первым способом определили, что  $2V = 90^\circ$  или  $0^\circ$ , так как в подобных случаях незначительная ошибка в определении угла  $\varphi$  первым, менее точным способом может привести к неправильному определению характера двойного лучепреломления, угла 2V и наименования осей симметрии эллипсоида.

Вообще при работе на Универсальном столике точность получаемых результатов определений зависит еще от разности между показателями преломлений сегментов сферы столика и исследуемого минерала.

Поэтому к Универсальному столику и прилагается несколько пар сегментов с различными показателями преломлений, близкими к показателям преломлений главнейших породообразующих минералов.

Впрочем, если известен показатель преломления исследуемого минерала и употребляемых сегментов, то в результаты полученных наблюдений можно вводить соответствующие поправки.

В этом случае ошибки в определении угла 2V и характера двойного лучепреломления, возникшие вследствие большой разности между показателями преломлений минерала и сегментов сферы, можно избежать следующим образом.

Вращаем восковку около центра сетки (следа за тем, чтобы центр, отмеченный на восковке, не сместился с центра сетки), помещаем точку  $N_x$  на горизонтальный диаметр сетки и читаем координаты точки  $N_x$ :  $H = h^\circ$  ( $R$  или  $L$ ),  $N = n^\circ$ .

Далее вычисляем поправку в угле  $h^{\circ}$ , вследствие разности показателей преломления между минералом и сегментами по диаграмме Федорова (табл. 1).

Найдя угол  $h^{\circ}_M$ , ставим соответствующие лимбы столика на отсчеты  $N = n$ ,  $H = h_M$  ( $R$  или  $L$ ).

Приводим ось  $I$  столика в основное положение. Освобождаем зажим  $m$  и вращаем препарат около оси  $M$  в любую сторону до погасания. Устанавливаем на погасание до пяти—десяти раз и берем каждый раз отсчет по лимбу  $M$  при помощи нониуса. Находим среднее из отсчетов  $\bar{m}^{\circ}$ . Ставим лимб кольца  $M$  на этот отсчет  $\bar{m}^{\circ}$  и закрепляем зажим  $m$ .

При этом положении препарата определяем относительный характер оси эллипсоида, параллельной оси  $I$  столика, так же, как было указано выше.

Вращением восковки около центра сетки помещаем точку  $Nx$  на горизонтальный диаметр сетки и, принимая точку  $Nx$  за полюс, проводим к нему экватор.

Если координата оси  $Nx$ :  $H = h^{\circ}_M$  была с пометкой  $R$  (вправо), то по этой дуге большого круга от северного полюса сетки отсчитываем вниз, начиная от  $90^{\circ}$  или  $270^{\circ}$  до отсчета  $\bar{m}^{\circ}$ , т. е. отсчитываем  $(\bar{m}^{\circ} - 90^{\circ})$  или  $(\bar{m}^{\circ} - 270^{\circ})$  градусов.

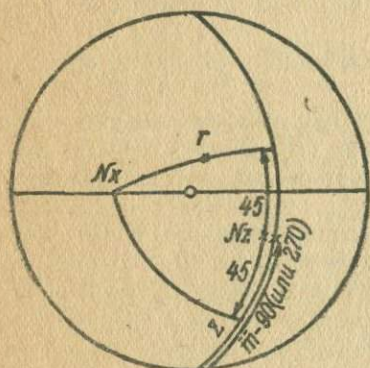


Рис. 29.

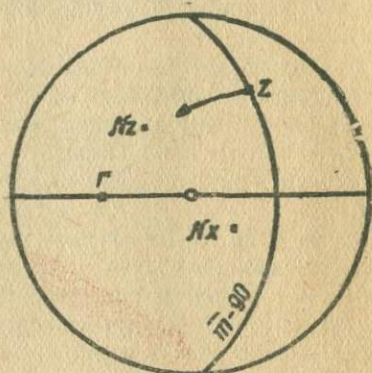


Рис. 30.

Если же координата  $h^{\circ}_M$  была с пометкой  $L$  (влево), то считаем вверх от южного полюса, начиная с  $90^{\circ}$  или  $270^{\circ}$  до отсчета  $\bar{m}^{\circ}$  (см. рис. 29).

Точка, соответствующая отсчету  $\bar{m}^{\circ}$ , и будет ось симметрии эллипсоида, которая обозначена  $Nz$ . От полученной таким образом точки  $Nz$  отсчитываем в обе стороны по той же дуге большого круга по  $45^{\circ}$ , получим еще две точки. При этом если окажется, что одна из этих точек должна уйти в нижнюю часть сферы, то отсчитываем по тому же меридиану в обратную сторону от точки  $Nz$   $135^{\circ}$ . Таким образом в этом случае получаем и вторую точку. Соединяем эти две точки дугами больших кругов с точкой  $Nx$ . По той из них, которая менее наклонена к центру сетки, от точки  $Nx$  отсчитываем  $55^{\circ}$  и получаем точку  $r$ .

Вторая из них в пересечении с третьей дает точку  $z$ .

Вращением восковки около центра сетки помещаем точку  $r$  на горизонтальный диаметр сетки и читаем координаты:  $H = h^{\circ}_c$  ( $R$  или  $L$ ) (см. рис. 30). Вводим поправку в  $h^{\circ}_c$  на разность между показателями преломления минерала и сегментов по диаграмме (табл. 1).

Ставим соответствующие индексы столика на отсчеты

$$N = n^{\circ}; H = h_m^{\circ} (R \text{ или } L).$$

По меридиану сетки, являющемуся экватором точки  $г$ , от нуля сетки (южного полюса) считаем, начиная с  $90^{\circ}$  или  $270^{\circ}$ , число градусов до точки  $z$ .<sup>1</sup> Получаем отсчет  $\overline{m}^{\circ}$ . Вращаем препарат около оси  $M$  и ставим по лимбу  $M$  на отсчет  $\overline{m}^{\circ}$ . Лимб оси  $I$  совмещен с нулем нониуса, а ось в основном положении.

Вращаем препарат около оси  $A$  в сторону  $z \rightarrow Nz$  (берем непосредственно из сетки) до первого погасания. Угол поворота и будет углом погасания  $\varphi$ .

В данном случае отсчета по нониусу не делается, так как при этом меняют одновременно положение вокруг оси  $M$  на некоторую величину ( $+\varepsilon$ ) и соответственно исходное положение около оси  $A$  на ту же величину ( $-\varepsilon$ ).

Так как на сетке требуемые отсчеты получаем самое большое с точностью до  $1/4^{\circ}$ , то применять эти испытания будет иметь смысл только при большой разности между показателями преломлений минералов и сегментов сферы.

## § 25. ОПРЕДЕЛЕНИЕ УГЛА ОПТИЧЕСКИХ ОСЕЙ И ХАРАКТЕРА ДВОЙНОГО ЛУЧЕПРЕЛОМЛЕНИЯ ПО ФОРМУЛЕ МАЛЛЯРА.<sup>2</sup>

В разрезах минералов, при которых на Универсальном столике не можем непосредственно измерить угол оптических осей, величину его и характер двойного лучепреломления можно определить косвенным путем по формуле Малляра

$$\sin V = \sqrt{\frac{Nm - Np}{Ng - Np}}, \quad (I)$$

где  $V$  — угол, образуемый оптической осью минерала с осью эллипсоида,  $Ng$ ;  $(Nm - Np)$  — двойное лучепреломление в направлении оси  $Ng$  оптического эллипсоида.

Из формулы, рассмотренной в § 16 при определении двойного лучепреломления, имеем

$$\begin{aligned} Nm - Np &= \frac{\Gamma_1 \cos \alpha_1}{d} \\ Ng - Np &= \frac{\Gamma_2 \cos \alpha_2}{d} \\ Ng - Nm &= \frac{\Gamma_3 \cos \alpha_3}{d}. \end{aligned} \quad (II)$$

<sup>1</sup> Считаем дугу от нижнего полюса сетки до точки  $z$  и прибавляем  $90^{\circ}$  или  $270^{\circ}$ , получим  $m^{\circ}$ .

<sup>2</sup> Лицам, заинтересовавшимся этим методом, рекомендуется ознакомиться с диаграммами А. К. Болдырева. („Диаграммы, связывающие величины двупреломления главных сечений и величину угла оптических осей“. Зап. Гос. минер. общ., т. XLVIII. вып. 1, 1911 г.).

Прим. ред.

Для бóльшей наглядности введем следующие обозначения:

- $\Gamma_1 = \Gamma_{Ng}$  — разность хода лучей, распространяющихся по оси  $Ng$  эллипсоида,  
 $\Gamma_2 = \Gamma_{Nm}$  — разность хода лучей, распространяющихся по оси  $Nm$  эллипсоида,  
 $\Gamma_3 = \Gamma_{Np}$  — разность хода лучей, распространяющихся по оси  $Np$  эллипсоида,  
 $\alpha_1 = cNg$  — угол между осью  $Ng$  и нормалью к шлифу  $c$  (рис. 31),  
 $\alpha_2 = cNm$  — угол между осью  $Nm$  и нормалью к шлифу  $c$ ,  
 $\alpha_3 = cNp$  — угол между осью  $Np$  и нормалью к шлифу  $c$ .

Приняв во внимание новые обозначения, получим:

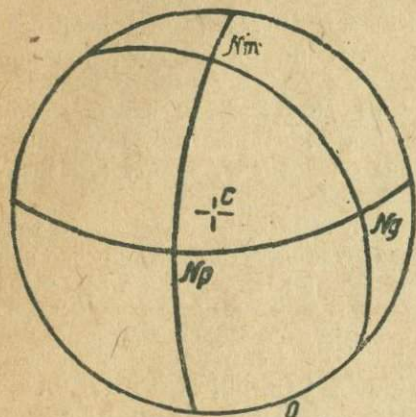


Рис. 31.

$$Nm - Np = \frac{\Gamma_{Ng} \cos(cNg)}{d}$$

$$Ng - Np = \frac{\Gamma_{Nm} \cos(cNm)}{d} \quad (III)$$

$$Ng - Nm = \frac{\Gamma_{Np} \cos(cNp)}{d}$$

а формула (I) будет иметь вид:

$$\sin V = \sqrt{\frac{\Gamma_{Ng} \cos(cNg)}{\Gamma_{Nm} \cos(cNm)}} \quad (IV)$$

Этой формулой мы будем пользоваться в дальнейшем. Главные показатели преломлений двусосных кристаллов связаны следующим равенством:

$$Nm - Np = (Ng - Np) - (Ng - Nm). \quad (V)$$

Принимая во внимание равенство (III) и (V), получим:

$$\Gamma_{Ng} \cos(cNg) = \Gamma_{Nm} \cos(cNm) - \Gamma_{Np} \cos(cNp). \quad (VI)$$

Это вторая формула, к которой мы будем обращаться.

При помощи этих двух формул (IV) и (VI) мы можем определить угол оптических осей  $2V$  и характер двойного лучепреломления в таких разрезах минералов, при которых Универсальный столик позволит совместить с оптической осью микроскопа две какие-нибудь любые оси симметрии эллипсоида.

В самом деле, совместив с оптической осью микроскопа сначала одну ось  $Nx$ , а потом другую  $Ny$  и измерив компенсатором соответствующие разности хода лучей  $\Gamma_{Nx}$ ,  $\Gamma_{Ny}$  в направлении этих осей, мы определим два члена уравнения (VI) и следовательно сможем определить и третий неизвестный член уравнения.

Таким образом для измерения угла  $2V$  в подобных разрезах минералов все необходимые данные  $\Gamma_{Ng} \cos(cNg)$  и  $\Gamma_{Nm} \cos(cNm)$  будут всегда известны.

В разрезах, при которых может быть совмещена с оптической осью микроскопа только одна какая-нибудь ось симметрии эллипсоида, этим способом определить угол оптических осей  $2V$  нельзя.

Для таких случаев существует другой способ, который будет изложен ниже.

Из всего сказанного понятен и порядок работы для разбираемого случая.

Столик в основном положении, в поле зрения микроскопа в кресте нитей исследуемое зерно минерала, а перед собою имеем сетку, на которой только что нанесено положение плоскостей и осей симметрии эллипсоида в исследуемом зерне. Наименования осей симметрии определены. Пусть мы имеем такой разрез минерала, при котором можем совместить с оптической осью микроскопа оси  $Nm$  и  $Np$  эллипсоида. Вращаем восковку около центра сетки, совмещаем дугу большого круга, проходящего через данные оси, с меридианом сетки и читаем координаты этой плоскости симметрии  $N$  и  $H$  ( $R$  или  $L$ ).

Ставим соответствующие лимбы столика на полученные отсчеты. Совмещаем с оптической осью микроскопа сначала одну какую-либо ось (скажем  $Np$ ) и ставим препарат, вращением столика около оси  $A$ , в такое положение, чтобы две другие оси эллипсоида были в диагональном положении по отношению к кресту нитей окуляра, т. е. вращаем столик около оси  $A$  на  $45^\circ$ .

Измеряем компенсатором разность хода лучей в минерале при таком положении. Получим  $\Gamma_{Np}$  в миллимикронах ( $\mu\mu$ ).<sup>1</sup>

Непосредственно на стереографической сетке измеряем угол, образуемый осью  $Np$  с нормалью к шлифу, для чего измеряем дугу большого круга ( $cNp$ ). Таким образом получим один член уравнения (VI):

$$\Gamma_{Np} \cos(cNp) = p.$$

Далее совмещаем с оптической осью микроскопа вторую ось  $Nm$  и, проделав то же самое, получим второй член уравнения (VI)

$$\Gamma_{Nm} \cos(cNm) = m.$$

Подставим найденные значения в формулу (VI), найдем третий член уравнения

$$\Gamma_{Ng} \cos(cNg) = (m - p).$$

Таким образом угол  $V$  будет определен

$$\sin V = \sqrt{\frac{\Gamma_{Ng} \cos(cNg)}{\Gamma_{Nm} \cos(cNm)}} = \sqrt{\frac{(m - p)}{m}}.$$

Пример. Пусть мы получим таким образом:

$$\begin{array}{ll} 1. \Gamma_{Np} = 127,1 \mu\mu & 2. \Gamma_{Nm} = 238,5 \mu\mu \\ cNp = 42^\circ & cNm = 48^\circ \end{array}$$

$$\Gamma_{Np} \cos(cNp) = 127,1 \cdot \cos 42^\circ = 127,1 \cdot 0,74314 = 94,45 \mu\mu = p$$

$$\Gamma_{Nm} \cos(cNm) = 238,5 \cdot \cos 48^\circ = 238,5 \cdot 0,66913 = 159,58 \mu\mu = m$$

$$\Gamma_{Ng} \cos(cNg) = \Gamma_{Nm} \cos(cNm) - \Gamma_{Np} \cos(cNp)$$

$$- \Gamma_{Nm} \cos(cNm) = 159,58$$

$$- \Gamma_{Np} \cos(cNp) = 94,45$$

$$\hline \Gamma_{Ng} \cos(cNg) = 65,13 \mu\mu$$

<sup>1</sup> Подробности всех операций были изложены в § 19.

$$\text{Таким образом } \sin V = \sqrt{\frac{m-p}{m}} = \sqrt{\frac{65,13}{159,58}} = 0,641$$

$$V = 39^{\circ}50' < 45^{\circ}$$

$$2V = +79^{\circ}40'$$

Формула Малляра имеет большое значение в тех случаях, когда при полном изучении минерала приводятся все его константы, а именно все три показателя преломления (а следовательно и двупреломления главных сечений) и  $2V$ . В этом случае эта формула позволяет проверить и увязать константы, полученные разными способами.

Кроме того ее очень полезно применять для нахождения наибольшего двупреломления минерала ( $N_g - N_p$ ) в тех случаях, когда известны двупреломление в одном из других главных сечений и  $2V$ . Самостоятельного значения для определения  $2V$  метод не имеет, так как легко видеть, что в тех случаях, когда он применим,  $2V$  почти всегда можно измерить непосредственно, что конечно и проще и надежнее.

## § 26. ОПРЕДЕЛЕНИЕ УГЛА ОПТИЧЕСКИХ ОСЕЙ ПО МЕТОДУ В. В. НИКИТИНА.

В случае таких разрезов минералов, при которых столик позволяет совместить с оптической осью микроскопа только одну какую-нибудь ось

симметрии эллипсоида, для определения угла оптических осей и характера двупреломления был предложен способ В. В. Никитиным.

О применении этого метода можно сказать то же, что о методе характерного погасания, т. е. что им следует пользоваться лишь в тех случаях, когда нельзя найти зерна, в котором  $2V$  измеряется непосредственно, и в то же время без величины  $2V$  нельзя охарактеризовать минерал.

Сущность его заключается в следующем.

Пусть имеем перед собою сетку, на которой нанесено положение плоскостей и осей симметрии эллипсоида (рис. 32).

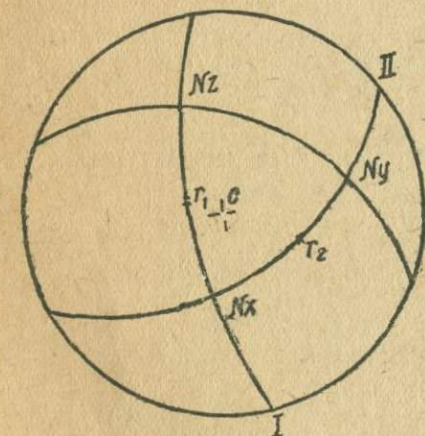


Рис. 32.

I и II — плоскости симметрии эллипсоида;  $Nx$ ,  $Ny$ ,  $Nz$  — оси симметрии эллипсоида;  $r_1$  — некоторое направление, лежащее в плоскости симметрии первой;  $r_2$  — произвольное направление во второй плоскости.

При выборе направлений  $r$  необходимо соблюдать только одно условие, чтобы они не совпадали с направлением оптической оси минерала. Направление  $r$  образует с осью  $Nx$  угол, измеряемый дугою  $rNx$ .

Если мы совместим с оптической осью микроскопа ось симметрии эллипсоида  $Nx$  и измерим компенсатором разность хода лучей в этом направлении  $\Gamma_{Nx}$ , а затем в направлении  $r$  —  $\Gamma_r$ , мы можем вычислить раз-

ность хода лучей и в направлении, перпендикулярном к плоскости симметрии, содержащей ось  $Nx$  и выбранное направление  $r$ , т. е. в направлении, оси  $Ny$ , по следующей формуле

$$\Gamma_{Ny} \cos(cNy) = \pm \frac{\Gamma_{Nx} \cos(cNx) \pm \Gamma_r \cos(cr)}{\sin^2(rNx)} \quad (1)$$

Дуги больших кругов ( $cNx$ ), ( $cr$ ) и ( $rNx$ ) могут быть измерены при помощи стереографической сетки, если на ней нанести выбранное положение  $r$ .

Таким образом из этих наблюдений разности хода лучей в направлении  $Nx$  и  $r$  определим разность хода  $\Gamma_{Nx}$ ,  $\Gamma_{Ny}$ , т. е. в направлении двух осей симметрии эллипсоида  $Nx$  и  $Ny$ , а подставив их значение в формулу (VI), определим разность хода  $\Gamma_N$  и в направлении третьей оси эллипсоида.

Следовательно теперь можно определить угол  $2V$  по формуле Малляра и характер двойного лучепреломления.

В практической работе может быть получено шесть формул вида (1) в зависимости от наименования осей.

Ось, совмещаемая с оптической осью микроскопа	Ось симметр., перпендик. к плоск. симметр., содержащей направл. $r$	Вычисление разности хода
$Np$	$Nm$	$\Gamma_{Nm} \cos(cNm) = \frac{\Gamma_{Np} \cos(cNp) \pm \Gamma_r \cos(cr)}{\sin^2(rNp)}$
$Np$	$Ng$	$\Gamma_{Ng} \cos(cNg) = \frac{\Gamma_r \cos(cr) - \Gamma_{Np} \cos(cNp)}{\sin^2(rNp)}$
$Nm$	$Np$	$\Gamma_{Np} \cos(cNp) = \frac{\Gamma_{Nm} \cos(cNm) - \Gamma_r \cos(cr)}{\sin^2(rNm)}$
$Nm$	$Ng$	$\Gamma_{Ng} \cos(cNg) = \frac{\Gamma_{Nm} \cos(cNm) - \Gamma_r \cos(cr)}{\sin^2(rNm)}$
$Ng$	$Np$	$\Gamma_{Np} \cos(cNp) = \frac{\Gamma_r \cos(cr) - \Gamma_{Ng} \cos(cNg)}{\sin^2(rNg)}$
$Ng$	$Nm$	$\Gamma_{Nm} \cos(cNm) = \frac{\Gamma_{Ng} \cos(cNg) \pm \Gamma_r \cos(cr)}{\sin^2(rNg)}$

В формулах первой и последней между слагаемыми числителя берется верхний знак (+) в тех случаях, если между осью эллипсоида, совмещаемой с оптической осью микроскопа, и направлением  $r$  лежит оптическая ось минерала. В остальных случаях следует брать знак минус.

Практически определение угла оптических осей  $2V$  осуществляется следующим образом.

Наносят на сетку положение плоскостей симметрии и осей симметрии эллипсоида. Определяют наименование осей симметрии. Далее выбирают на сетке плоскость симметрии, проходящую через ось, расположенную вблизи центра сетки, и читают ее координаты  $N$  и  $H$  ( $R$  или  $L$ ).

Столик приведен в основное положение. Соответствующие лимбы столика ставим на отсчеты  $N$  и  $H$ .

Совмещаем ось  $Nx$  с оптической осью микроскопа,<sup>1</sup> поворачиваем столик около оси  $A$  на  $45^\circ$  и измеряем компенсатором разность хода  $\Gamma_{Nx}$ .

Замечаем наименование осей, совмещенной с оптической осью микроскопа и параллельной при этом положению препарата, оси  $I$  столика. Пусть первая ось будет  $Nm$ , а вторая  $Ng$ . Полученная разность хода будет  $\Gamma_{Nm}$ . Поворачиваем препарат около оси  $I$  столика в любую сторону на некоторый угол и берем отсчет по лимбу оси  $I$ . Согласно этому отсчету наносит на сетку положение направления  $r$ , совмещенного при таком положении столика с оптической осью микроскопа. Угол поворота и будет измеряться дугою  $rNm$ .

При этом, если с оптической осью микроскопа будет совмещена ось  $Ng$  или  $Np$ , а с осью  $I$  столика ось  $Nm$ , то исследуемое зерно может оказаться темным. Это значит, что выбранное нами направление случайно совпало с направлением оптической оси минерала. В таких случаях препарат следует вновь наклонить около оси  $I$ , так чтобы направление  $r$  лежало между оптической осью минерала и осью эллипсоида  $Ng$  или  $Np$ .

В направлении  $r$  измеряем компенсатором разность хода  $\Gamma$ .

Теперь остается вычислить разность хода лучей в направлении, перпендикулярном к плоскости симметрии эллипсоида, содержащей направление  $r$ , т. е. в направлении оси эллипсоида, совмещенной с осью  $I$  столика (в нашем примере в направлении оси  $Ng$ ).

Для этого обращаемся к таблице, приведенной выше (стр. 95). В первом столбике ищем название нашей оси, совмещенной с оптической осью микроскопа, а в соседнем столбике, рядом с ней, — название оси, параллельной оси  $I$  столика.

В нашем примере в первом столбике ищем  $Nm$ , а во втором  $Ng$ . В четвертой строке в первом столбике находим  $Nm$ , а рядом справа  $Ng$ . В той же строке в соседнем столбике имеем формулу:

$$\Gamma_{Ng} \cos(cNg) = \frac{\Gamma_{Nm} \cos(cNm) - \Gamma_r \cos(cr)}{\sin^2(rNm)}$$

$\Gamma_{Nm}$ ,  $\Gamma_r$  нами уже получены, а дуги  $(cNm)$ ,  $(cr)$  и  $(rNm)$  измеряем непосредственно на сетке.

Вычисляем:

$$\Gamma_{Ng} \cos(cNg) = g$$

$$\Gamma_{Nm} \cos(cNm) = m.$$

Из формулы (VI) можем определить:

$$\Gamma_{Np} \cos(cNp) = m - g.$$

Следовательно:

$$\sin V = \sqrt{\frac{\Gamma_{Ng} \cos(cNg)}{\Gamma_{Nm} \cos(cNm)}} = \sqrt{\frac{g}{m}}.$$

<sup>1</sup> См. § 19 — определение двойного лучепреломления двуосных кристаллов.

Пример.

$$\begin{aligned}\Gamma_{Nm} &= 174,3 \text{ } \mu\mu & \Gamma_r &= 143,0 \text{ } \mu\mu \\ (cNm) &= 18^\circ,5 & (cr) &= 41^\circ,5 \\ & & (rNm) &= 60^\circ\end{aligned}$$

$$\Gamma_{Nm} \cos(cNm) = 174,3 \cdot \cos 18^\circ,5 = 165,2 \text{ } \mu\mu = m$$

$$\Gamma_r \cos(cr) = 143 \cdot \cos 41^\circ,5 = 107,0 \text{ } \mu\mu$$

$$\Gamma_{Ng} \cos(cNg) = \frac{165,2 - 107}{\sin^2 60^\circ} = 77,7 \text{ } \mu\mu = g$$

из формулы VI

$$\sin V = \sqrt{\frac{\Gamma_{Ng} \cos(cNg)}{\Gamma_{Nm} \cos(cNm)}} = \sqrt{\frac{77,7}{165,2}} = \sqrt{0,47033} = 0,685$$

$$V = 43^\circ 15'$$

$$2V = +86^\circ 30'.$$

Для контроля угол  $2V$  и характер минерала можно определить этим же способом еще раз. Для этого берем вторую плоскость симметрии эллипсоида, проходящую через ту же ось, выбираем в ней произвольное направление  $r_2$  и проделываем в точности все те же операции, которые были изложены выше.

## § 27. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЩЕЛОЧНЫХ СУЩЕСТВЕННО-КАЛИЕВЫХ ПОЛЕВЫХ ШПАТОВ.

Сравнительно недавно (в 1927 г.) появились новейшие „Диagramмы важнейших геометрических элементов полевых шпатов, отнесенных к осям оптической индикатриссы“ В. В. Никитина, с предисловием А. К. Болдырева, изданные отдельным отгиском из журнала Записки Росс. минер. общ., т. LV, вып. 1 (в настоящее время имеется 2-е, дополненное издание: „Новые диаграммы для определения полевых шпатов Универсальным методом Федорова“, издание Росс. минер. общ. и Федоровского института с предисловием проф. А. К. Болдырева, 1929 г.). На диаграммах В. В. Никитина табл. 2 и 3 показано расположение полюсов граней, ребер и перпендикуляров к ребрам, отнесенных к осям оптической индикатриссы, не только для плагиоклазов, но и для существенно-калиевых полевых шпатов.

На основании этих диаграмм можно определять и калиевые полевые шпаты аналогичными способами, которые были изложены выше, применительно к плагиоклазам.

Самые приемы работы на Универсальном столике и определение ничем не будут отличаться от методов, изложенных выше для плагиоклазов.

Для определения существенно-калиевых полевых шпатов порядок работ может быть предложен в следующем виде.

1. Находим плоскости симметрии эллипсоида, определяем наименование осей симметрии эллипсоида и наносим его положение в зерне на стереографическую сетку (§ 8, 9 и 10).

2. Определяем угол оптических осей непосредственным измерением по двум и в крайнем случае по одной оси. Определяем попутно знак минерала (§ 10).

3. Наносим на сетку наблюдение в зерне плоскости спайности и грани, как указано в § 20.

При наличии двух или нескольких граней в кристалле находим на сетке линию пересечения каждой пары граней. Линия пересечения их определит на сетке положение возможного ребра в кристалле.

4. В случае двойников, определяем положение двойниковой оси и плоскости срастания их.

Принимаем оси эллипсоида  $Ng$ ,  $Np$  и  $Nm$  за оси координат и при помощи стереографической сетки находим координаты полюсов граней, ребер и двойниковой оси (в случае двойника), т. е. получаем координаты  $PNg$ ,  $PNp$ ,  $PNm$  и  $D_oNg$ ,  $D_oNp$ ,  $D_oNm$ , как указано в § 20.

На основании полученных координат на диаграмме. В. В. Никитина находим точки пересечения малых кругов, описанных из полюсов  $Ng$  и  $Np$  и центра сетки  $Nm$  соответственно радиусами  $PNg$ ;  $PNp$ ;  $PNm$ ;  $D_oNg$ ;  $D_oNp$ ;  $D_oNm$ .

Точка, попавшая внутрь кружка или вблизи него, покажет, с одной стороны, индексы нанесенной грани или ребра и, с другой стороны, какой калиевый полевой шпат мы имеем: ортоклаз<sup>1</sup> или микроклин, а в случае двойника определится и двойниковый закон.

В конце настоящего руководства мы прилагаем „Диаграмму кристаллографических элементов существенно-калиевых полевых шпатов, отнесенных к осям оптической индикатриссы  $Ng, Np, Nm$ “, заимствованную из диаграммы Никитина, которой можно будет пользоваться при определении калиевых полевых шпатов (табл. 7).

Здесь положение полюсов граней и ребер калиевых полевых шпатов по отношению к осям оптической индикатриссы выделено в самостоятельную диаграмму.

Существенно-калиевые долевые шпаты включают следующие главные разновидности: микроклин, анортоклаз, ортоклаз и санидин. Первые два триклинной сингонии, а ортоклаз и санидин моноклинной. Ортоклаз обычно отличают от микроклина по отсутствию двойниковой решетки и меньшему углу оптических осей. Однако эти признаки недостаточны, и пользование ими часто приводит к ошибкам. Двойниковая решетка может отсутствовать и у микроклина, а  $2V$  тоже не является здесь вполне надежной константой (см. В. Н. Лодочников. Главнейшие породообразующие минералы, § 52).

Точное отличие возможно только на Федоровском столике, позволяющем по координатам осей оптической индикатриссы легко определить сингонию минерала.

В ортоклазах с  $[010] = \perp (010)$  совпадает  $Ng$ , а  $Nm$  лежит в плоскости, перпендикулярной  $[010]$  и с  $\perp (001)$  образует угол около  $5^\circ$ . Натровые ортоклазы, т. е. ортоклазы, содержащие изоморфную примесь альбитовой молекулы, по положению эллипсоида отличаются от нормальных очень незначительно, и хотя их точки и нанесены на диаграмму, отличить их без химического анализа с достоверностью невозможно.

<sup>1</sup> Полюса граней и ребра ортоклаза (нормального и натрового) даны на диаграмме двумя точками каждая; это дает возможность судить о степени вариации установки.

Анортоклаз по координатам осей оптической индикатриссы (на диаграмме точки отсутствуют) несколько отличается от микроклина, но всегда отчетливо триклинный. Хорошим признаком для отличия анортоклаза от микроклина служит угол оптических осей (у анортоклаза  $2V < 60^\circ$ ).

Санидин — водяно-прозрачный ортоклаз с очень малым отрицательным углом оптических осей. На Федоровском столике он нередко ведет себя как одноосный минерал. С [010] здесь совпадает  $Nm$ .

Из двойников для ортоклаза характерны только простые двойники по карлсбадскому [001] и манебахскому  $\perp$  [001] законам и реже бавенские  $\perp$  (021). У микроклина наблюдаются полисинтетические двойники по альбитовому и периклиновому законам, образующие характерную микроклиновую решетку.

Угол оптических осей для существенно-калиевых полевых шпатов должен быть измерен с возможной тщательностью, так как он здесь нередко служит диагностическим признаком (отличие микроклина от анортоклаза и др.). Измерение нужно непременно повторять несколько раз, так как в микроклинах  $2V$  варьируют даже в пределах одного зерна.

Вообще нужно отметить, что вследствие малого двупреломления измерение калиевых полевых шпатов вещь довольно трудная и требует большой аккуратности и некоторого опыта.

Само собою понятно, что определения будут правильны только тогда, когда предварительно убедились, что по всем полученным константам исследуемое зерно не относится к плагиоклазам. Это тем более необходимо, что полюса граней и ребра некоторых плагиоклазов почти совпадают с полюсами граней и ребрами щелочных калиевых полевых шпатов. Существенно калиевые полевые шпаты от плагиоклазов непременно нужно отличать, до того как мы станем исследовать шлиф на столике Федорова, причем главным диагностическим признаком здесь является показатель преломления, который для калиевых полевых шпатов всегда значительно меньший, чем у канадского балзама (см. В. Н. Лодочников. Главнейшие порообразующие минералы, §§ 57 и 62).

## § 28. ИССЛЕДОВАНИЕ РОГОВЫХ ОБМАНОВ И ПИРОКСЕНОВ.

Ввиду того, что амфиболы и пироксены обладают большим показателем преломления от 1,6 до 1,8, приступая к определению их на Универсальном столике Федорова, необходимо прежде всего подобрать шаровые сегменты столика с таким показателем преломления, который был бы близок к показателю преломления исследуемого зерна. Для амфиболов следует брать сегменты с показателем преломления около 1,6, а для пироксенов около 1,7.<sup>1</sup>

Порядок работ может быть предложен в следующем виде.

1) Определяем плоскости симметрии эллипсоида и наименование осей симметрии эллипсоида.

2) Определяем угол оптических осей.

3) Наносим положение эллипсоидов в исследуемом зерне на сетку.

Здесь необходимо указать на следующее.

<sup>1</sup> Если наборов сегментов нет, то в измеряемые углы  $H$  и  $I$  следует вводить поправки на разность между показателями преломлений минерала и сегментов, как указано в § 3. Показатель преломления (средний) минерала должен быть заранее известен.

2. Определяем угол оптических осей непосредственным измерением по двум и в крайнем случае по одной оси. Определяем попутно знак минерала (§ 10).

3. Наносим на сетку наблюдение в зерне плоскости спайности и грани, как указано в § 20.

При наличии двух или нескольких граней в кристалле находим на сетке линию пересечения каждой пары граней. Линия пересечения их определит на сетке положение возможного ребра в кристалле.

4. В случае двойников, определяем положение двойниковой оси и плоскости срастания их.

Принимаем оси эллипсоида  $Ng$ ,  $Np$  и  $Nm$  за оси координат и при помощи стереографической сетки находим координаты полюсов граней, ребер и двойниковой оси (в случае двойника), т. е. получаем координаты  $PNg$ ,  $PNp$ ,  $PNm$  и  $D_0Ng$ ,  $D_0Np$ ,  $D_0Nm$ , как указано в § 20.

На основании полученных координат на диаграмме. В. В. Никитина находим точки пересечения малых кругов, описанных из полюсов  $Ng$  и  $Np$  и центра сетки  $Nm$  соответственно радиусами  $PNg$ ;  $PNp$ ;  $PNm$ ;  $D_0Ng$ ;  $D_0Np$ ;  $D_0Nm$ .

Точка, попавшая внутрь кружка или вблизи него, покажет, с одной стороны, индексы нанесенной грани или ребра и, с другой стороны, какой калиевый полевой шпат мы имеем: ортоклаз<sup>1</sup> или микроклин, а в случае двойника определится и двойниковый закон.

В конце настоящего руководства мы прилагаем „Диаграмму кристаллографических элементов существенно-калиевых полевых шпатов, отнесенных к осям оптической индикатриссы  $Ng$ ,  $Np$ ,  $Nm$ “, заимствованную из диаграммы Никитина, которой можно будет пользоваться при определении калиевых полевых шпатов (табл. 7).

Здесь положение полюсов граней и ребер калиевых полевых шпатов по отношению к осям оптической индикатриссы выделено в самостоятельную диаграмму.

Существенно-калиевые полевые шпаты включают следующие главные разновидности: микроклин, анортоклаз, ортоклаз и санидин. Первые два триклинной сингонии, а ортоклаз и санидин моноклинной. Ортоклаз обычно отличают от микроклина по отсутствию двойниковой решетки и меньшему углу оптических осей. Однако эти признаки недостаточны, и пользование ими часто приводит к ошибкам. Двойниковая решетка может отсутствовать и у микроклина, а  $2V$  тоже не является здесь вполне надежной константой (см. В. Н. Лодочников. Главнейшие породообразующие минералы, § 52).

Точное отличие возможно только на Федоровском столике, позволяющем по координатам осей оптической индикатриссы легко определить сингонию минерала.

В ортоклазах с  $[010] = \perp (010)$  совпадает  $Ng$ , а  $Nm$  лежит в плоскости, перпендикулярной  $[010]$  и с  $\perp (001)$  образует угол около  $5^\circ$ . Натровые ортоклазы, т. е. ортоклазы, содержащие изоморфную примесь альбитовой молекулы, по положению эллипсоида отличаются от нормальных очень незначительно, и хотя их точки и нанесены на диаграмму, отличить их без химического анализа с достоверностью невозможно.

<sup>1</sup> Полюса граней и ребра ортоклаза (нормального и натрового) даны на диаграмме двумя точками каждая; это дает возможность судить о степени вариации установки.

Анортоклаз по координатам осей оптической индикатриссы (на диаграмме точки отсутствуют) несколько отличается от микроклина, но всегда отчетливо триклинный. Хорошим признаком для отличия анортоклаза от микроклина служит угол оптических осей ( $u$  анортоклаза  $2V < 60^\circ$ ).

Санидин — водяно-прозрачный ортоклаз с очень малым отрицательным углом оптических осей. На Федоровском столике он нередко ведет себя как одноосный минерал. С [010] здесь совпадает  $Nm$ .

Из двойников для ортоклаза характерны только простые двойники по карлсбадскому [001] и манебахскому  $\perp$  [001] законам и реже бавенские  $\perp$  (021). У микроклина наблюдаются полисинтетические двойники по альбитовому и периклиновому законам, образующие характерную микроклиновую решетку.

Угол оптических осей для существенно-калиевых полевых шпатов должен быть измерен с возможной тщательностью, так как он здесь нередко служит диагностическим признаком (отличие микроклина от анортоклаза и др.). Измерение нужно непременно повторять несколько раз, так как в микроклинах  $2V$  варьируют даже в пределах одного зерна.

Вообще нужно отметить, что вследствие малого двупреломления измерение калиевых полевых шпатов вещь довольно трудная и требует большой аккуратности и некоторого опыта.

Само собою понятно, что определения будут правильны только тогда, когда предварительно убедились, что по всем полученным константам исследуемое зерно не относится к плагиоклазам. Это тем более необходимо, что полюса граней и ребра некоторых плагиоклазов почти совпадают с полюсами граней и ребрами щелочных калиевых полевых шпатов. Существенно калиевые полевые шпаты от плагиоклазов непременно нужно отличать, до того как мы станем исследовать шлиф на столике Федорова, причем главным диагностическим признаком здесь является показатель преломления, который для калиевых полевых шпатов всегда значительно меньший, чем у канадского бальзама (см. В. Н. Лодочников. Главнейшие породообразующие минералы, §§ 57 и 62).

## § 28. ИССЛЕДОВАНИЕ РОГОВЫХ ОБМАНОК И ПИРОКСЕНОВ.

Ввиду того, что амфиболы и пироксены обладают большим показателем преломления от 1,6 до 1,8, приступая к определению их на Универсальном столике Федорова, необходимо прежде всего подобрать шаровые сегменты столика с таким показателем преломления, который был бы близок к показателю преломления исследуемого зерна. Для амфиболов следует брать сегменты с показателем преломления около 1,6, а для пироксенов около 1,7.<sup>1</sup>

Порядок работ может быть предложен в следующем виде.

- 1) Определяем плоскости симметрии эллипсоида и наименование осей симметрии эллипсоида.
- 2) Определяем угол оптических осей.
- 3) Наносим положение эллипсоидов в исследуемом зерне на сетку. Здесь необходимо указать на следующее.

<sup>1</sup> Если наборов сегментов нет, то в измеряемые углы  $H$  и  $I$  следует вводить поправки на разность между показателями преломлений минерала и сегментов, как указано в § 3. Показатель преломления (средний) минерала должен быть заранее известен.

Так как амфиболы и пироксены обладают высоким двойным лучепреломлением, и первые из них являются преимущественно окрашенными в шлифе минералами, то они обычно имеют в зависимости от разреза высокую интерференционную окраску, которая маскируется еще собственной окраской минерала.

Поэтому при определении наименования осей эллипсоида, при пользовании гипсовой и слюдяной пластинками, иногда очень трудно различить, имеем ли мы понижение или повышение интерференционной окраски, в особенности еще неопытному наблюдателю, вследствие чего возможны грубые ошибки. Поэтому рекомендуется в таких случаях пользоваться или кварцевым клином, или компенсатором Берека и доводить интерференционную окраску до полной компенсации.

4) Далее определим наибольшее двойное лучепреломление исследуемого минерала, т. е. ( $N_g - N_p$ ).

Когда положение эллипсоида показателей преломления в зерне нанесено на сетку и определены наименования осей эллипсоида, то можно получить очень важную константу, в особенности для группы амфиболов, а именно характер плеохроизма исследуемого амфибола, о чем будет изложено в следующем параграфе.

## § 29. ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛЕОХРОИЗМА ПРИ ПОМОЩИ УНИВЕРСАЛЬНОГО СТОЛИКА.

Лучи при прохождении через всякое тело частично поглощаются (абсорбируются). От степени поглощения лучей того или иного цвета (длины волны) будет зависеть окраска минерала и степень его прозрачности. В телах оптически изотропных скорость распространения света и степень поглощения света во всех направлениях будут одинаковы. Поэтому оптически изотропные тела во всех направлениях будут иметь одну и ту же окраску и степень прозрачности при одинаковой толщине слоя, через который проходит свет.

В кристаллах оптически анизотропных в зависимости от направления меняется не только скорость света, но и степень поглощения (абсорбции) света, проходящего через кристалл. Это поглощение света подчиняется тому же закону эллипсоида, которому подчиняется и скорость распространения света в оптически анизотропной среде. Эллипсоид в этом случае называется эллипсоидом поглощения света (абсорбции).

Для лучей различной длины волны (различного цвета) эллипсоид поглощения будет иметь свой особый вид и характер, т. е. для каждого цвета существует особое отношение осей и расположение их в кристалле.

Эллипсоид поглощения в одноосных кристаллах будет эллипсоидом вращения, ось вращения которого будет совпадать с осью вращения эллипсоида оптической индикатриссы, т. е. с оптической осью минерала. Так как скорость света в одноосных кристаллах для необыкновенного луча во всех направлениях, образующих одинаковый угол с оптической осью, одинакова, то и окраска цветных одноосных минералов в этих направлениях будет тоже одинаковой.

В двuosных минералах эллипсоид абсорбции для лучей каждого цвета будет эллипсоидом трехосным. Оси будут называться большая, средняя и малая оси абсорбции. В этом случае эллипсоид абсорбции в кристалле для лучей каждого цвета будет иметь особый вид и особое расположение.

От характера эллипсоидов для различных цветов и их расположения будут зависеть окраска минерала и степень его прозрачности в различных направлениях, при одной и той же толщине пластинки кристалла.

Если разница в степени поглощения лучей различных цветов в кристалле так незначительна, что ее трудно будет заметить, то тело будет казаться бесцветным и прозрачным. Если же лучи различной длины волны будут поглощаться в различной степени, то тело будет казаться окрашенным, причем в различных направлениях может быть различная окраска.

Если в различных направлениях будут поглощаться одни и те же лучи, но в различной степени, то минерал будет иметь одну и ту же окраску, но различной интенсивности, и наконец при поглощении лучей всех цветов спектра тело будет темным, непрозрачным.

Такое свойство двоякопреломляющих кристаллов, приобретать в проходящем свете в различных направлениях разную окраску, называется *плеохроизмом*.

Оси эллипсоидов абсорбции двусных минералов — большая, средняя и малая — имеют длину, совершенно независимую от длины осей эллипсоида оптической индикатриссы и, вообще говоря, с ними не совпадают.

Впрочем, если оси эллипсоида оптической индикатриссы для различных цветов располагаются в кристалле одинаково, т. е. совпадают, то и оси эллипсоида абсорбции для различных цветов будут совпадать не только между собою, но и с осями эллипсоида оптической индикатриссы. В этом случае не только скорость распространения света, но и его поглощаемость оказываются симметричными относительно трех главных оптических сечений кристалла.

В этих случаях, зная расположение осей эллипсоида оптической индикатриссы в плеохроичном минерале, мы на Федоровском столике легко можем исследовать характер плеохроизма.

Обычно определяют:

а) окраску минерала, соответствующую направлению, совпадающему с направлением колебаний света, обладающего наибольшей скоростью в минерале или наименьшим показателем преломления  $N_p$ ,

б) окраску, соответствующую световым колебаниям лучей средней скорости, обладающих средним показателем преломления  $N_m$ ,

с) окраску, соответствующую колебаниям лучей, которые распространяются с наименьшей скоростью, т. е. обладают наибольшим показателем преломления  $N_g$ .

Если мы имеем перед собой сетку, на которой нанесено положение плоскостей симметрии эллипсоида и осей симметрии, то, совместив одну ось эллипсоида, например  $N_m$ , с оптической осью микроскопа, а затем вращением столика около оси  $A$  приведя ось эллипсоида, например  $N_p$ , в плоскость колебания лучей в поляризаторе (при выключенном анализаторе) и заметив окраску минерала, мы получим окраску минерала, соответствующую направлению, совпадающему с направлением колебаний света, обладающего наибольшей скоростью (т. е. наименьшим показателем преломления  $N_p$ ).

Далее вращением столика около оси  $A$  совмещаем с плоскостью колебания лучей в поляризаторе другую ось эллипсоида  $N_g$ , перпендикулярную к оптической оси микроскопа, и при таком положении препарата замечаем окраску минерала.

Таким образом мы получим окраску минерала, соответствующую колебаниям света, которые распространяются с наименьшей скоростью и обладают следовательно наибольшим показателем преломления  $Ng$ .

Если наклоним препарат так, что ось  $Nm$  приведем в плоскость колебания лучей в поляризаторе, а ось  $Ng$  или  $Np$  совместим с оптической осью микроскопа, то заметим окраску минерала, соответствующую световым колебаниям лучей, распространяющихся в кристалле с средней скоростью, т. е. обладающих средним показателем преломления  $Nm$ .

Тогда характер плеохроизма запишется, например, следующим образом:  
по  $Np$  — соломенно-желтый,  
 $Nm$  — желтовато-зеленый,  
 $Ng$  — синевато-зеленый.

Здесь приведен характер плеохроизма для обычной роговой обманки.

Установленный таким образом характер плеохроизма является важнейшей оптической константой при определении плеохроирующих минералов.

Пусть мы имеем перед собою сетку, на которой нанесено положение эллипсоида в исследуемом плеохроирующем минерале. Наименования осей симметрии определены. Исследуем характер плеохроизма.

Вращаем восковку около центра сетки (см. приложение 1), чтобы одна из плоскостей симметрии, проходящая через ось  $Ng$  эллипсоида, совместилась с меридианом сетки, и читаем ее координаты:  $N = 30^\circ$ ,  $H = 20^\circ R$ .

Столик в основном положении, а в поле зрения микроскопа в пересечении нитей окуляра исследуемое зерно, положение эллипсоида, в котором только что нанесено на сетку. Ставим соответствующие лимбы столика на отсчеты  $N = 30^\circ$ ,  $H = 20^\circ R$ . Совместим ось  $Ng$  с оптической осью микроскопа.

Непосредственно из сетки видим, что для этого следует наклонить препарат около оси  $I$ , совместив 14-е деление лимба оси  $I$  с нулем нониуса. Выполняем указанные операции. Ось  $Ng$  совмещена с оптической осью микроскопа, а ось  $Np$  эллипсоида при таком положении препарата будет в плоскости симметрии микроскопа, в котором, допустим, происходят колебания лучей в поляризаторе. Замечаем при выключенном анализаторе окраску минерала. Пусть окраска при этом будет светложелто-зеленая. Пишем: по  $Np$  — светложелто-зеленая.

Вращаем столик на  $90^\circ$  около оси  $A$ , теперь будет лежать в плоскости колебания лучей в поляризаторе ось  $Nm$  эллипсоида. Замечаем приобретенную минералом окраску при таком положении препарата.

Пусть окраска будет фиолетовая.

Записываем: по  $Nm$  — фиолетовая.

Далее совмещаем с оптической осью микроскопа ось  $Np$  или  $Nm$ , если это возможно, а ось  $Ng$  приводим в плоскость колебания лучей в поляризаторе.

В нашем примере этого сделать нельзя, тем не менее с некоторым приближением мы можем выяснить характер плеохроизма и по оси  $Ng$ .

Приводим столик в основное положение.

Вращаем восковку около центра сетки, чтобы вторая плоскость, проходящая через ось  $Ng$ , совместилась с меридианом сетки, и читаем ее координаты:  $N = 295^\circ$ ,  $H = 13^\circ R$ . Ставим на эти отсчеты соответствующие лимбы столика. При таком положении препарата, для того чтобы ось  $Nm$  совместилась с оптической осью микроскопа, препарат нужно наклонить около оси  $I$  от себя на  $70^\circ$ .

Наклоняем препарат около оси  $I$  в сторону от себя, по возможности на больший угол, насколько позволит столик (обычно  $60^\circ$ ). При этом ось  $Ng$  будет лежать в плоскости колебания лучей в поляризаторе под небольшим углом к плоскости, перпендикулярной к направлению лучей, т. е. к оптической оси микроскопа ( $10^\circ$ ).

Замечаем окраску минерала. Пусть она будет ультрамариново-синяя. Пишем: по  $Ng$  — ультрамариново-синяя.

Таким образом характер плеохроизма будет:

по  $Np$  — светложелто-зеленая,

$Nm$  — фиолетовая,

$Ng$  — ультрамариново-синяя.

Такой характер плеохроизма соответствует минералу глаукофану из группы амфиболов.

Исследование характера абсорбции минералов существенно не будет отличаться от изложенного выше.

Только при исследовании абсорбции света определенной длины волны придется пользоваться монохроматическим светом; при этом отмечают, по какой оси эллипсоида абсорбция света максимальная, средняя и минимальная, что записывается таким образом:

$$Ng > Np > Nm.$$

Это означает, что по оси  $Ng$  свет поглощается больше, чем по оси  $Np$ , а по  $Np$  больше, чем по  $Nm$ .

### § 30. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИЧЕСКОЙ ОРИЕНТРОВКИ МОНОКЛИННЫХ АМФИБОЛОВ (роговых обманок) И ПИРОКСЕНОВ.

Большинство амфиболов и пироксенов кристаллизуются в моноклинной системе, часто в виде призм, удлинённых по кристаллографической оси  $c$  [001].

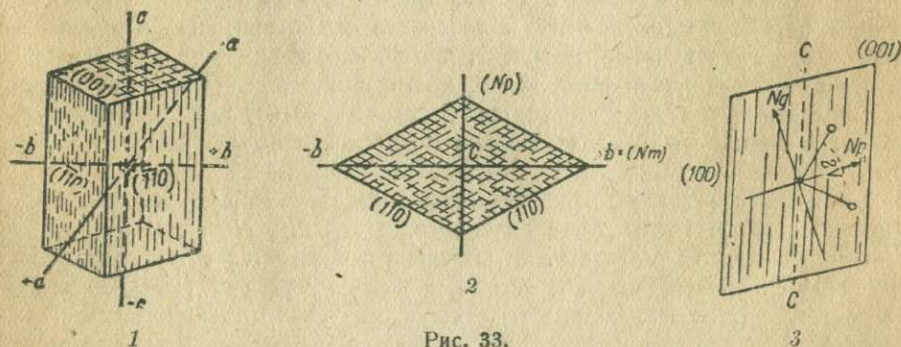


Рис. 33.

Все они обладают совершенной спайностью по призме (110), т. е. по двум направлениям, параллельным граням (110) и  $(\bar{1}\bar{1}0)$ , которые образуют в амфиболах двугранный угол в  $124^\circ$ , а в пироксенах  $87-88^\circ$ .

Обычно параллельно ребрам этой призмы (110) располагается третья кристаллографическая ось  $c$  [001] (рис. 33, 1).

Следовательно в шлифе, в зависимости от направления разреза, будем наблюдать спайность или в одном направлении — в разрезах, параллельных

кристаллографической оси  $c$ , или в двух направлениях — в разрезах, наклонных к оси  $c$ .

В разрезах, перпендикулярных к оси  $c$ , два направления спайности образуют ромб, характерные углы которого в амфиболах (тупые) равняются  $124^\circ$  (рис. 33,2) а в пироксенах (острые) —  $87-88^\circ$ .

Параллельно длинной диагонали ромба располагается кристаллографическая ось  $b$ , а перпендикулярная к ней плоскость симметрии, символ которой (010), будет проходить через короткую диагональ ромба.

Эллипсоид показателей преломления (оптической индикатриссы) в них располагается следующим образом.

Средняя ось  $Nm$  эллипсоида показателей преломления совпадает с кристаллографической осью  $b$ , что символически обозначается так:

$$Nm = b.$$

Следовательно плоскость оптических осей эллипсоида будет совпадать с плоскостью симметрии кристалла, символ которой (010).

Ось  $Ng$  оптической индикатриссы, лежащая в плоскости симметрии кристалла (010), образует с кристаллографической вертикальной осью [001], т. е. с ребром призмы (110), угол, колеблющийся в зависимости от химического состава в роговых обманках от  $4^\circ$  до  $20^\circ$ , а в пироксенах от  $39^\circ$  до  $94^\circ$ .

Вот этот угол, образованный направлением оси  $Ng$  с направлением вертикальной кристаллографической оси  $c$  [001], является важнейшей оптической константой для амфиболов и пироксенов, которая обозначается символически

$$cNg = X^\circ, \text{ или } \angle Ng [001] = X^\circ.$$

При таком расположении эллипсоида оптической индикатриссы в моноклинных амфиболах и пироксенах в разрезах, перпендикулярных к плоскости симметрии и параллельных оси  $c$ , будем наблюдать прямое погасание; в разрезах, перпендикулярных к плоскости симметрии, но не параллельных оси  $c$  — симметричное погасание, и наконец в разрезах, параллельных оси  $c$ , но не перпендикулярных к плоскости симметрии — косое погасание.

К последним разрезам относится разрез по (010), т. е. параллельный плоскости симметрии, а следовательно и плоскости оптических осей эллипсоида.

В этом разрезе лежат: кристаллографическая ось  $c$ , совпадающая с направлением наблюдаемой в нем спайности, и оси  $Ng$ ,  $Np$  (рис. 33,3).

Измерив в таком разрезе угол погасания с осью  $cNg$  относительно наблюдаемой спайности, получим истинную величину\* угла  $cNg = X^\circ$ , которая характеризует оптическую ориентировку исследуемого амфибола или пироксена.

Таким образом угол  $cNg = X^\circ$  есть не что иное, как угол погасания с осью  $Ng$ , замеренный относительно спайности, наблюдаемой в разрезе, параллельном грани (010).

При работе на обычном поляризационном микроскопе этот характерный угол погасания ( $cNg = X^\circ$ ) в моноклинных амфиболах и пироксенах может быть получен только при наличии в шлифе разрезов, параллельных грани (010).

Такие разрезы в шлифе легко могут быть обнаружены благодаря тому, что с плоскостью (010), как уже нам известно, совпадает плоскость опти-

ческих осей, в которой лежат оси эллипсоида показателей преломления  $Ng$  и  $Np$ .

Известно, что в направлении, перпендикулярном к плоскости оптических осей, кристаллы обладают максимальным двойным лучепреломлением, которое равно  $(Ng - Np)$ .

При одинаковой толщине  $d$  шлифа разность хода лучей  $\Gamma$  при прохождении их через различно ориентированные зерна амфиболов и пироксенов будет наибольшей в тех из них, разрезы которых проходят по  $(010)$ , и в этом случае равна  $\Gamma = d(Ng - Np)$ . А это значит, что зерна с разрезами, параллельными  $(010)$ , из всех пироксенов (и амфиболов), наблюдаемых в шлифе, будут иметь наиболее высокую интерференционную окраску. Изменяя угол погасания с осью  $c$  относительно спайности в таких зернах, получим приблизительно искомую величину угла  $cNg = X^\circ$ .

При отсутствии в шлифе зерен с разрезами, параллельными  $(010)$ , на обычном поляризационном микроскопе величину  $cNg$  не получим.

На Универсальном столике Федорова эта константа  $cNg$ , т. е. оптическая ориентировка моноклинных амфиболов и пироксенов (аналогично и других моноклинных минералов), может быть легко установлена почти при любом разрезе чисто графическим путем, построением на сетке, без измерения угла погасания, а если нужно, то для проверки в некоторых случаях можно измерить и угол погасания, наблюдая его в микроскоп.

В зависимости от направления разреза зерна могут быть *два случая определения оптической ориентировки* моноклинных амфиболов и пироксенов на Универсальном столике Федорова.

I. Наблюдаем в зерне *два* направления спайности.

Имеем перед собою стереографическую сетку, на которой нанесено положение эллипсоида оптической индикатриссы и определены наименования осей симметрии эллипсоида  $Ng$ ,  $Np$  и  $Nm$ .

Наносим на ту же сетку положение обеих плоскостей спайности, как указано в § 20. Они изобразятся в стереографической проекции дугами больших кругов сетки.

Линия пересечения обеих плоскостей спайности  $(110)$  и  $(\bar{1}\bar{1}0)$  будет ребро призмы  $[001]$ , которому параллельна вертикальная кристаллографическая ось  $c$ , проекция направления которой на сетке будет в точке пересечения проведенных дуг больших кругов (спайностей) в точке  $c$ . Через эту точку  $c$  или же вблизи ~~ее~~, в пределах ошибок наблюдения ( $\pm 2^\circ$ ) должна проходить плоскость оптических осей эллипсоида  $NgNp(010)$ .

Измеряем дугу большого круга, заключенную между точками  $c$  и  $Ng$ , т. е. угол, образованный осью  $Ng$  эллипсоида с кристаллографической осью  $c$ .

Таким образом получим искомый угол  $cNg = X^\circ$ . В нашем примере  $cNg = 15^\circ$  (см. приложение 9).

II. Наблюдаем в зерне *одно* направление спайности.

На сетку предварительно должно быть нанесено положение эллипсоида оптической индикатриссы и определено наименование ее осей  $Ng$ ,  $Np$  и  $Nm$ .

Наносим на ту же сетку положение наблюдаемой плоскости спайности, как указано в § 20.

Нанесена плоскость спайности  $(110)$  или  $(\bar{1}\bar{1}0)$ .

Из предыдущего изложения мы знаем, что в моноклинных амфиболах и пироксенах плоскость оптических осей лежит (большой частью) в плоскости симметрии кристалла  $(010)$ .

Следовательно линия пересечения плоскости оптических осей ( $Ng \ Np$ ) (010) с нанесенной только что плоскостью спайности (110) или ( $\bar{1}\bar{1}0$ ) и будет направление кристаллографической оси  $c$ , проекция направления которой на сетке будет в точке  $c$ .

Измеряем дугу большого круга между точками  $c$  и ( $Ng$ ), т. е. угол между кристаллографической осью  $c$  и осью эллипсоида  $Ng$ .

Полученный угол и будет:  $cNg = X^\circ$ .

В рассматриваемом нами примере  $cNg = 41^\circ$  (см. приложение 10).

Для измерения углов погасания роговых обманок и пироксенов без нанесения на восковку очень удобный способ был предложен Д. С. Коржинским<sup>1</sup>. Он применим в тех случаях, когда имеются двойники по (100), а так как эти двойники здесь весьма обычны, может быть приложен почти всегда. Этот метод состоит в следующем.

Находим двойник исследуемого минерала (роговой обманки или пироксена). Годные для измерения двойники будут отличаться тем, что следы обеих систем спайности (110) и след двойникового шва (100) будут почти параллельны или пересекаться под острыми углами. Ставим двойниковый шов параллельно вертикальной нити окулярного креста (вращением около оси  $N$ ) и, наклоняя около оси  $H$ , совмещаем полюс шва с осью  $I$  (шов совместится с плоскостью симметрии микроскопа). При этом шов будет наиболее тонким и отчетливым, а оба индивида будут иметь одинаковую интерференционную окраску и при вращении около  $I$  будут вести себя как один кристалл. Вращая столик около  $I$ , будем наблюдать различные сечения зоны  $\perp$  (100) и легко можем измерять углы погасания в них (см. § 23). Остается найти нужное нам сечение, а именно плоскость  $NgNp$ , т. е. обычно (010).

Нужно отметить, что  $c \perp$  (010) совпадает  $Nm$ , т. е. когда  $\perp$  (010) станет  $\perp$  оси микроскопа, оба индивида погаснут. Искомое сечение при этом будет вертикально.

Таким образом, если при повороте вокруг  $I$  оба индивида погаснут, нужно для получения искомого сечения повернуть столик на  $90^\circ$  (истинный). Если употребляются низкопреломляющие сегменты, то, вводя поправку на показатель преломления, для роговых обманок можно применять (практически) поворот на  $100^\circ$ , а для пироксенов на  $105^\circ$ . Поставив нужное сечение ( $NgNp$ ), измеряем углы погасания от следа двойникового шва до  $Ng$  для обоих индивидов и берем среднее. Положение  $Ng$  определяем кварцевым клином или гипсовой пластинкой.

Если поворот около  $I$  от момента потемнения на такой большой угол невозможен, то данный двойник для этого метода не годится. Чтобы скорее найти подходящий двойник, следует брать зерна с высокими интерференционными цветами.

Если после установки шва  $\perp$   $I$  потемнение при вращении около  $I$  получить нельзя, то это значит, что для отыскания подходящего сечения столик нужно наклонить около  $I$  меньше чем на  $45-50^\circ$ . В этом случае наклоняем столик около  $I$  и через некоторые промежутки измеряем (см. § 23), или хотя бы прикидываем угол погасания (всегда до большей оси сечения эллипсоида). Если  $2V$  положительно, искомый угол будет соответствовать минимальному, а если отрицательно — то максимальному из этих углов по-

<sup>1</sup> Углы погасания на Универсальном столике Федорова...". Изв. Геол. ком. вып. XLVII, № 5, 1928 г.

гасания. Для быстрого нахождения максимума или минимума отмечаем два отсчета по лимбу  $I$ , при которых углы погасания приблизительно равны. Искомое сечение (нужно помнить, что оно будет плоскостью симметрии минерала) будет делить угол между двумя данными положениями пополам, т. е. нужный отсчет по лимбу  $I$  получим как средний из двух отмеченных отсчетов. Поставив лимб на этот отсчет, измеряем углы погасания для обоих индивидов с точностью до  $\frac{1}{2}^\circ$  и берем среднее.

Данный способ не требует нанесения эллипсоида на сетку и при некотором навыке в нахождении нужного зерна отнимает всего несколько минут. Что касается точности, то он не только не уступает полному измерению минерала, но и превосходит его, так как здесь отпадает погрешность установки осей симметрии эллипсоида и спайности. Точность установки нужного сечения и шва на результат влияют очень мало (ошибка в установке сечения около оси  $I$  на  $10^\circ$  дает ошибку в результате на  $0^\circ,5$ , а неточность установки шва до  $5^\circ$  совершенно скрадывается).

Так как точность определения углов погасания полным нанесением минерала на сетку всего  $2-3^\circ$ , а иногда вкрадываются и более грубые ошибки, можно особо рекомендовать не пожалеть труда на усвоение предложенного метода, который, давая более точные результаты, съэкономит много времени.

Кроме угла погасания для роговых обманок и пироксенов важно знать угол спайной призмы (110):  $(\bar{1}\bar{1}0)$ .

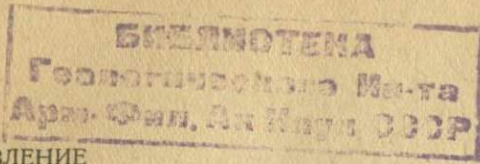
В обоих приведенных выше примерах угол спайности можем измерить непосредственно на сетке, а при благоприятном разрезе для проверки наблюдать и получить истинную его величину при помощи микроскопа.

Для этой цели стоит только в первом случае измерить тупой угол между плоскостями спайностей, что делается следующим образом: вращаем восковку около центра сетки, следя за тем, чтобы центр бумажки не сместился с центра сетки, и помещаем точку  $c$  на горизонтальный диаметр сетки. Принимаем точку  $c$  за полюс, находим его экватор, т. е. отсчитываем от точки  $c$  через центр сетки  $90^\circ$ , и проводим через эту точку дугу большого круга. Измеряем дугу  $ab$ , заключенную между плоскостями спайностей, изображенных на сетке дугами больших кругов. Полученный угол и будет угол спайности ( $56^\circ$  или  $180^\circ - 56^\circ = 124^\circ$ ).

Во втором случае измеряем точно таким же образом острый угол между плоскостью оптических осей (010) и нанесенной плоскостью спайности, т. е.  $\sphericalangle ab = 44^\circ$ .

Удвоенная величина полученного угла и будет угол спайности, т. е.  $88^\circ$ .

Аналогичным образом может быть определена оптическая ориентировка и других минералов.



ОГЛАВЛЕНИЕ

Стр.  
3

Предисловие автора . . . . .

**Микроскопическое исследование породообразующих минералов по методу Е. С. Федорова.**

1.	Описание устройства Универсального столика . . . . .	5
2.	Проверка столика и установка его в основное положение . . . . .	7
3.	О роли сферических стеклянных сегментов столика и поправках в углах на разность между показателями преломлений сегментов и исследуемого минерала . . . . .	12
4.	Определение показателей преломления минералов по методу В. В. Никитина . . . . .	16
5.	Определение анизотропности минерала . . . . .	19
6.	Различение одноосного минерала от двуосного . . . . .	20
7.	Определение осности минерала . . . . .	23
8.	Определение положения главных сечений трехосного эллипсоида и осей симметрии . . . . .	25
9.	Нанесение найденных главных сечений и осей симметрии на сетку Вульфа . . . . .	29
10.	Определение наименования осей симметрии эллипсоида оптической индикатриссы и измерение угла оптических осей . . . . .	31
11.	Определение положения эллипсоида вращения и осей симметрии . . . . .	37
12.	Определение знака одноосного минерала . . . . .	40
13.	Определение разности хода лучей Г в двупреломляющих пластинках минерала компенсатором Берека . . . . .	41
14.	Градуировка компенсатора Бабинэ и определение им разности хода лучей . . . . .	46
15.	Кварцевый клин, его градуировка и определение им разности хода . . . . .	49
16.	Определение толщины шлифа по кварцу . . . . .	50
17.	Определение цены деления шкалы окулярного микрометра и толщины шлифа по трещинке в зерне . . . . .	54
18.	Определение силы двойного лучепреломления одноосных кристаллов . . . . .	59
19.	Определение силы двойного лучепреломления двуосных кристаллов . . . . .	63
20.	Нанесение кристаллографических граней и плоскостей спайности на стереографическую сетку и определение их индексов . . . . .	67
21.	Определение кристаллографических элементов двойников и нанесение их на сетку . . . . .	70
22.	Определение химического состава плагиоклазов по двойникам . . . . .	74
23.	Определение плагиоклазов по методу максимального угла погасания в зоне, перпендикулярной к грани (010) . . . . .	80
24.	Метод характерного погасания . . . . .	82
25.	Определение угла оптических осей и характера двойного лучепреломления по формуле Малляра . . . . .	91
26.	Определение угла оптических осей по методу В. В. Никитина . . . . .	94
27.	Определение щелочных существенно-калиевых полевых шпатов . . . . .	97
28.	Исследование роговых обманок и пироксенов . . . . .	99
29.	Исследование плеохроизма при помощи Универсального столика . . . . .	100
30.	Определение оптической ориентировки моноклиных амфиболов (роговых обманок) и пироксенов . . . . .	103

Приложения: 8 таблиц; сетка Вульфа; 10 приложений к ней (см. в конце книги).

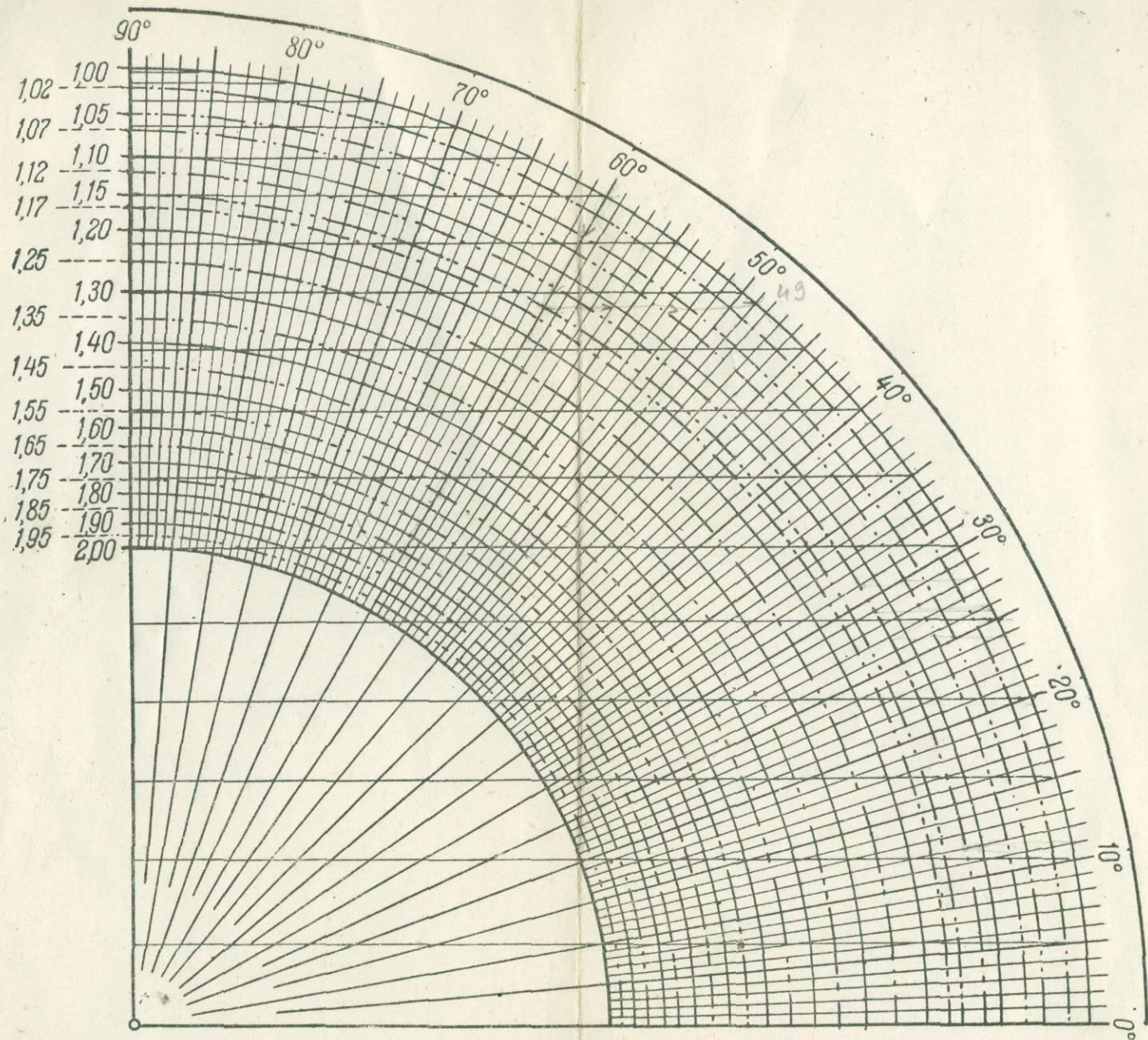


Таблица 1.

Диаграмма для графического определения поправок углов наклона столика на разность показателей преломления минерала и сегментов.

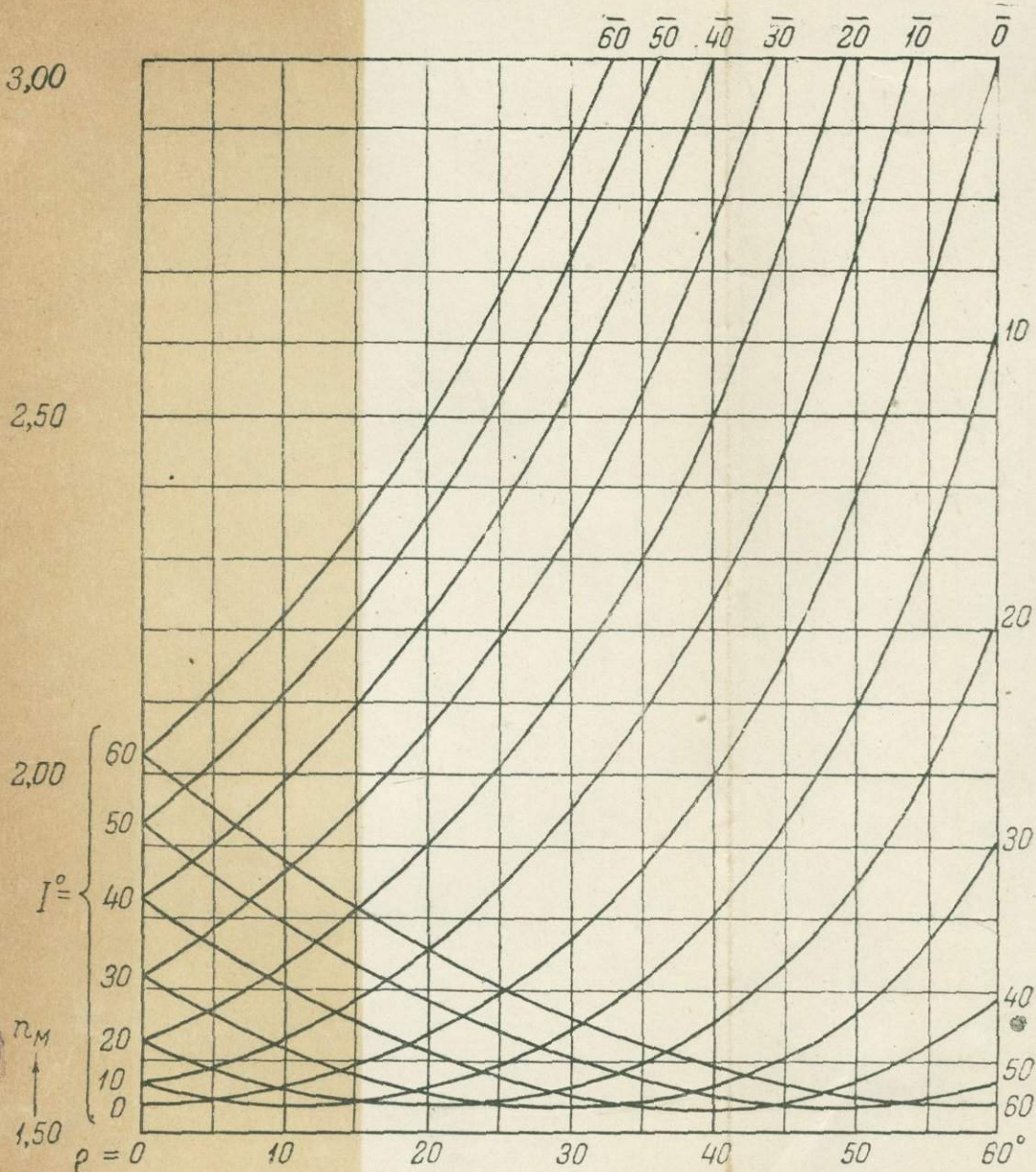


Таблица 2. — Диаграмма для графического определения показателей преломления по методу В. В. Никитина.

А. К. Подногин.

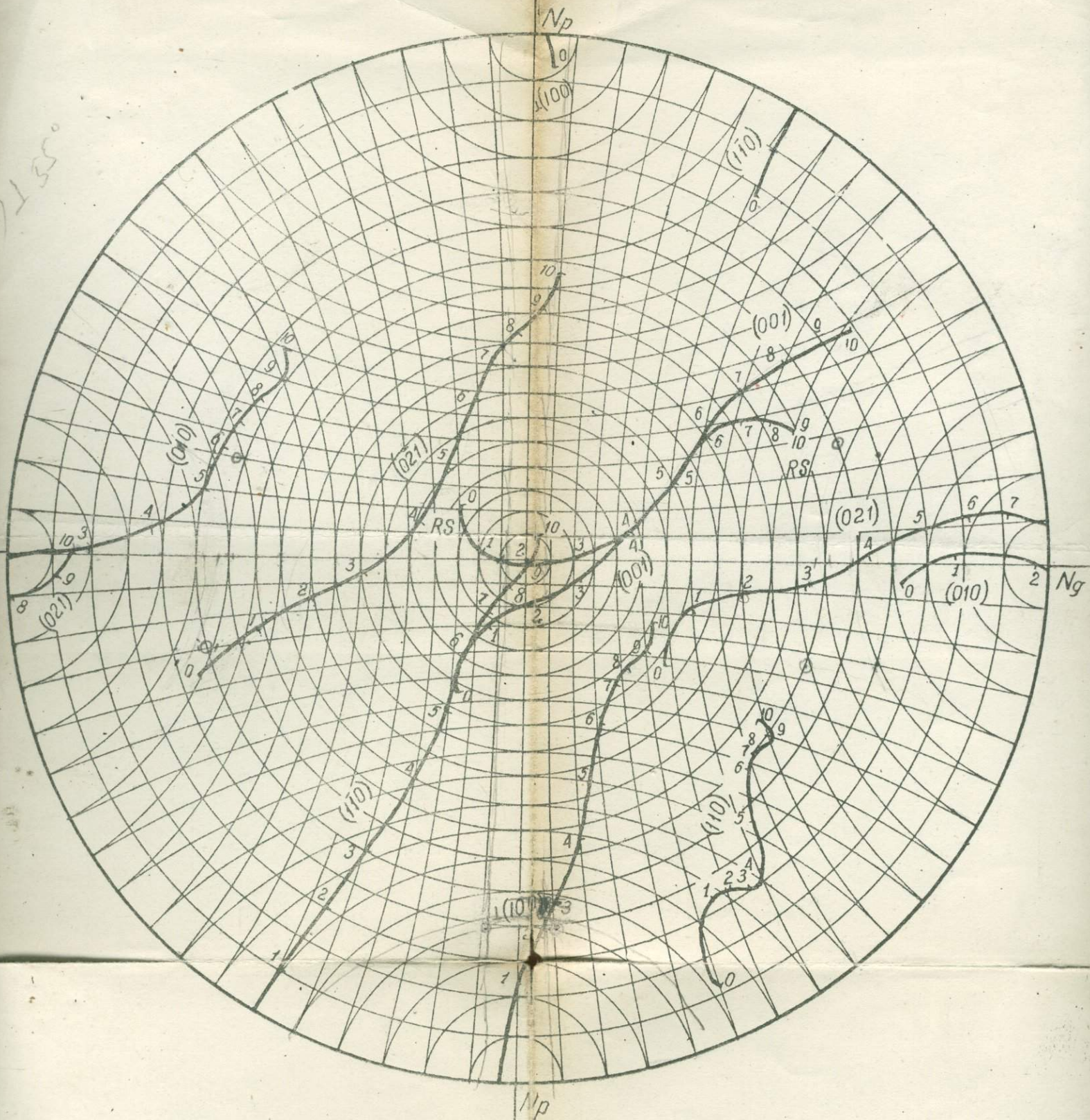


Таблица 3. — Диаграмма полюсов граней плагиоклазов, отнесенных к осям  $N_g$ ,  $N_m$  и  $N_p$  оптической индикатриссы.

К. Полюгин.

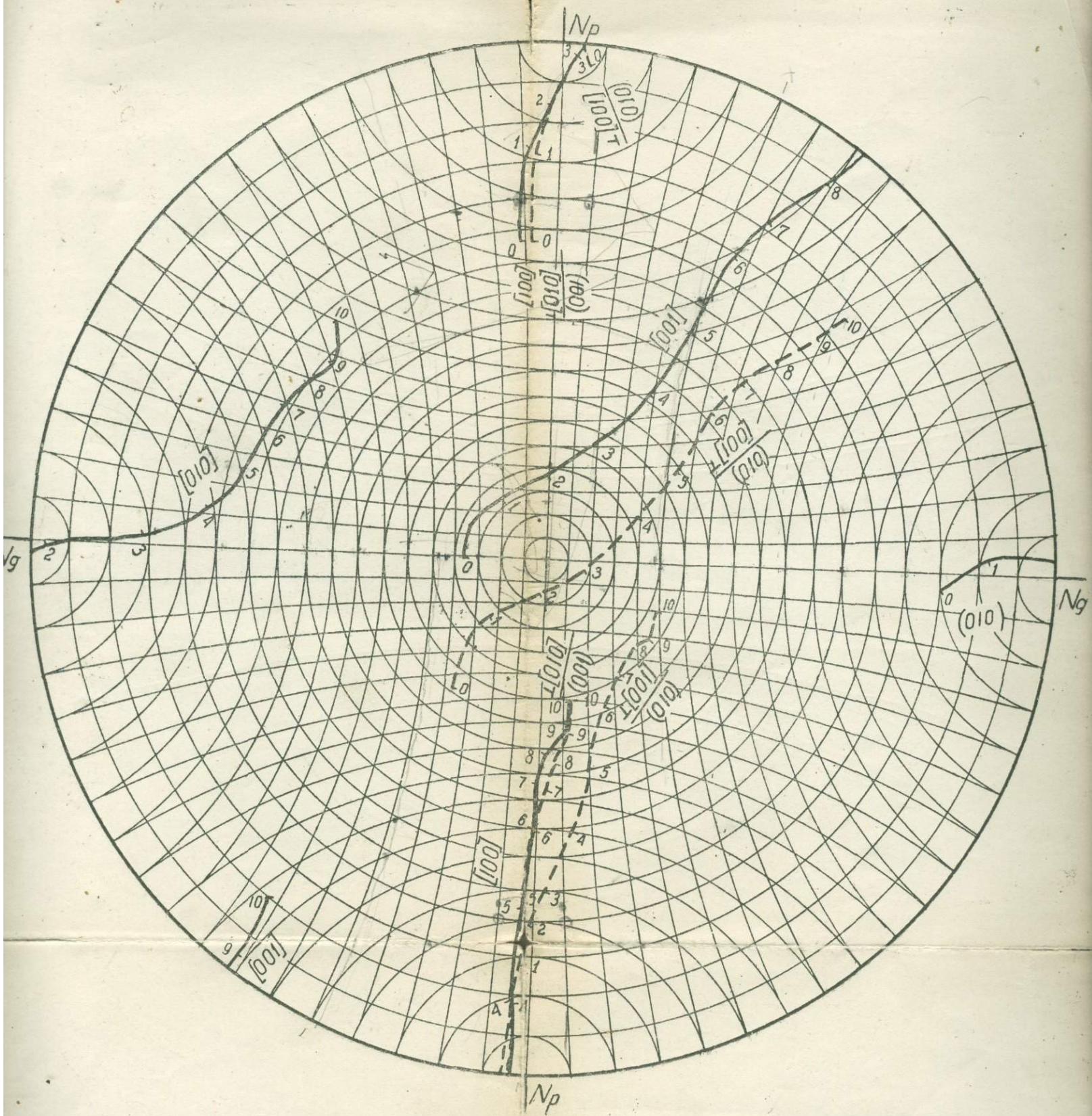


Таблица 4. — Диаграмма двойниковых осей осевых и следных законов (ребра и  $\perp$  к ребрам) плагиоклазов, отнесенных к осям  $N_g$ ,  $N_m$  и  $N_p$  оптической индикатриссы.

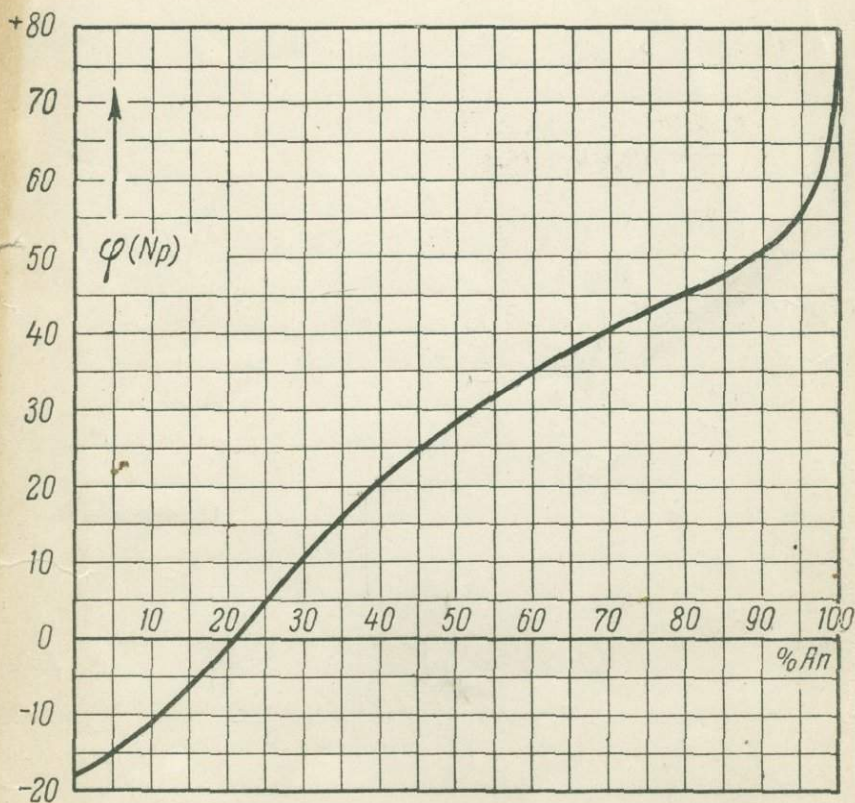


Таблица 5.

Кривая максимального угла погасания плагиоклазов в зоне  $\perp$  (010).

А. К. Подногин.

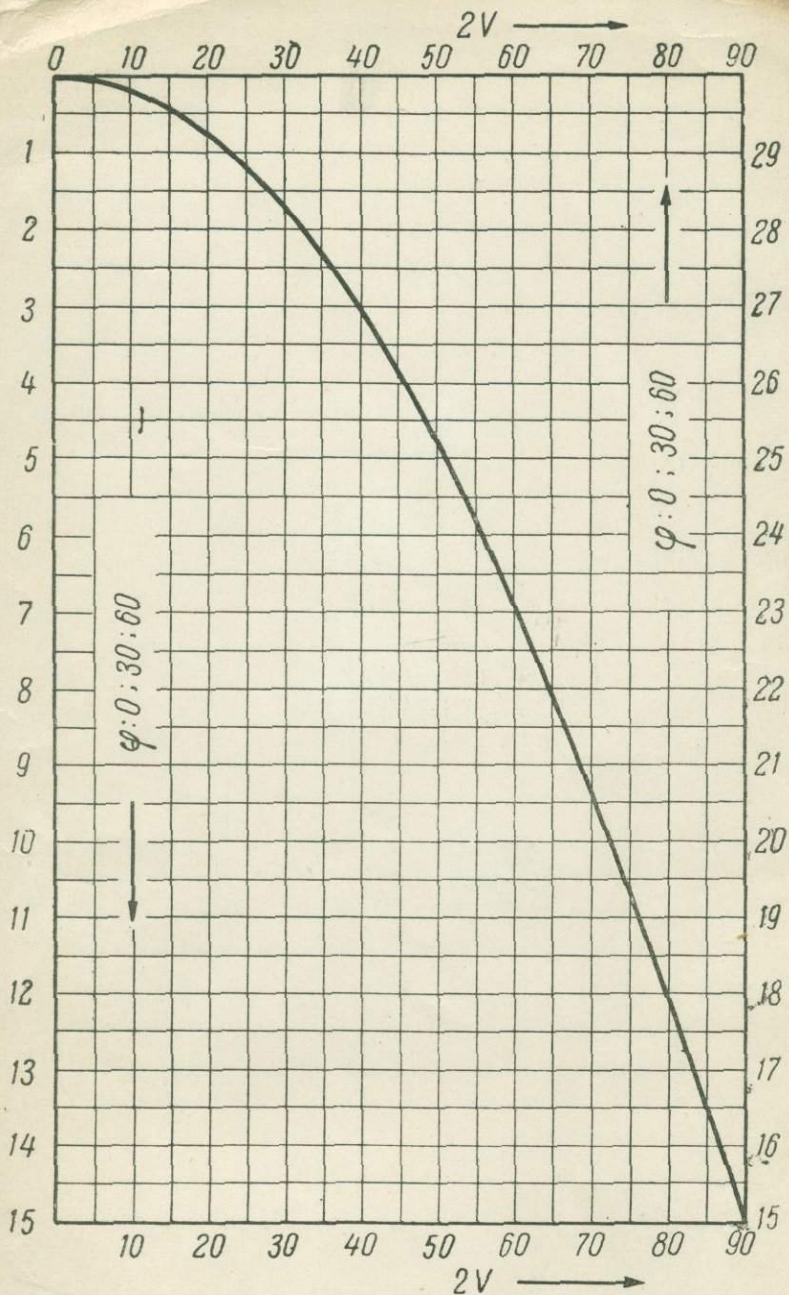


Таблица 6.

Диаграмма для графического определения величины  $2V$  по углу характерного погасания.



Процентное содержание анорита.

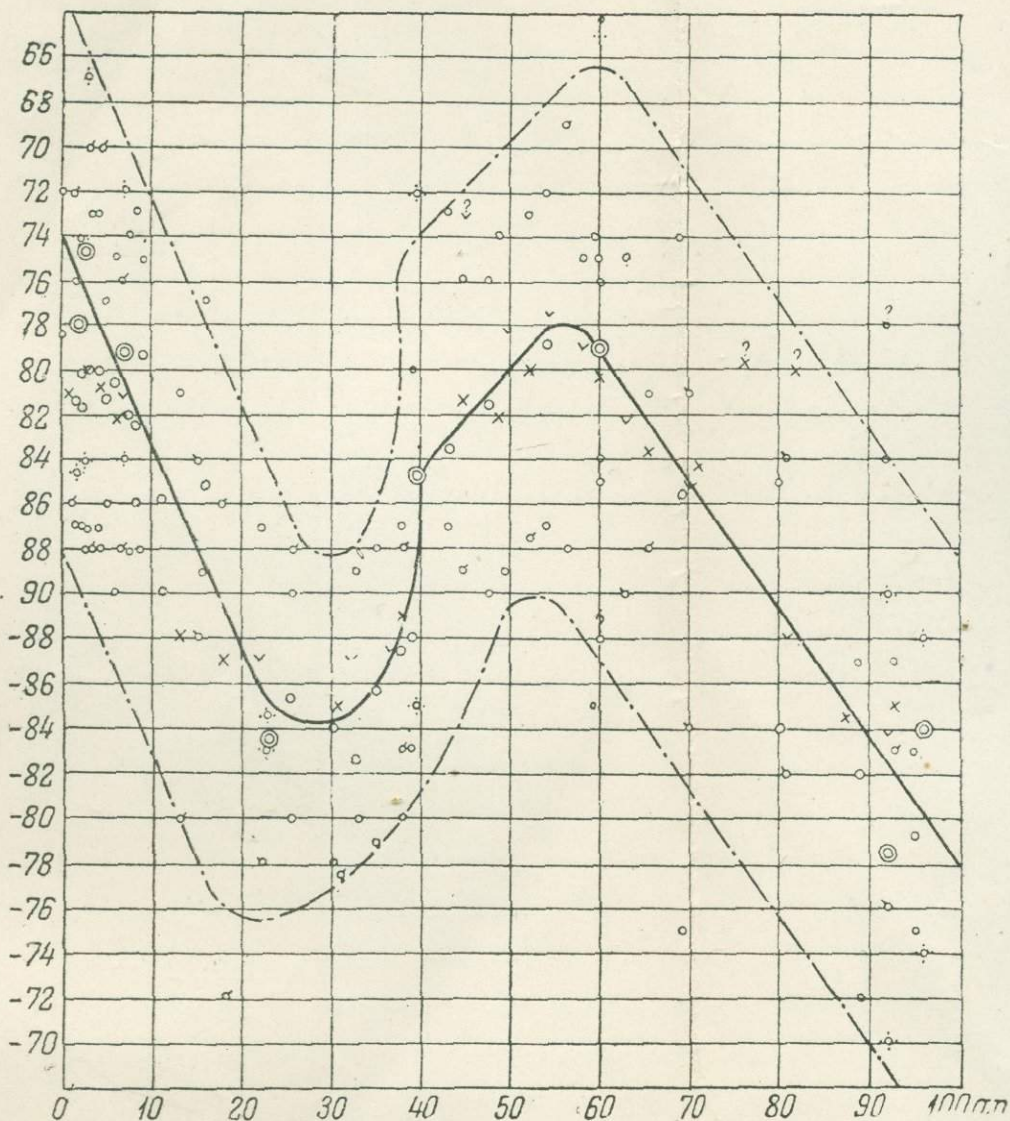
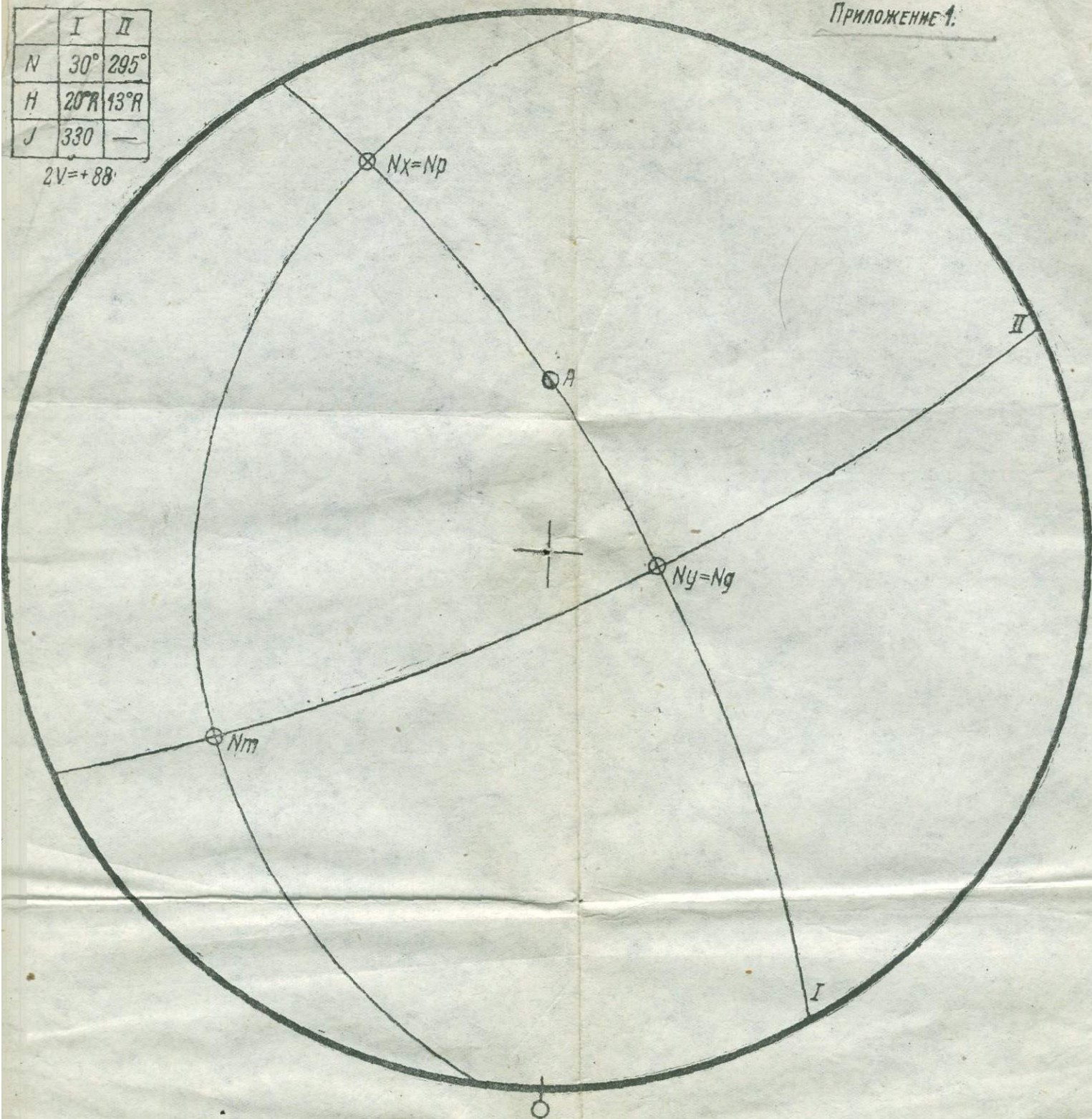


Таблица 8. — Диаграмма угла оптических осей  $2V$  плагиоклазов. Угол оптических осей  $2V$ .

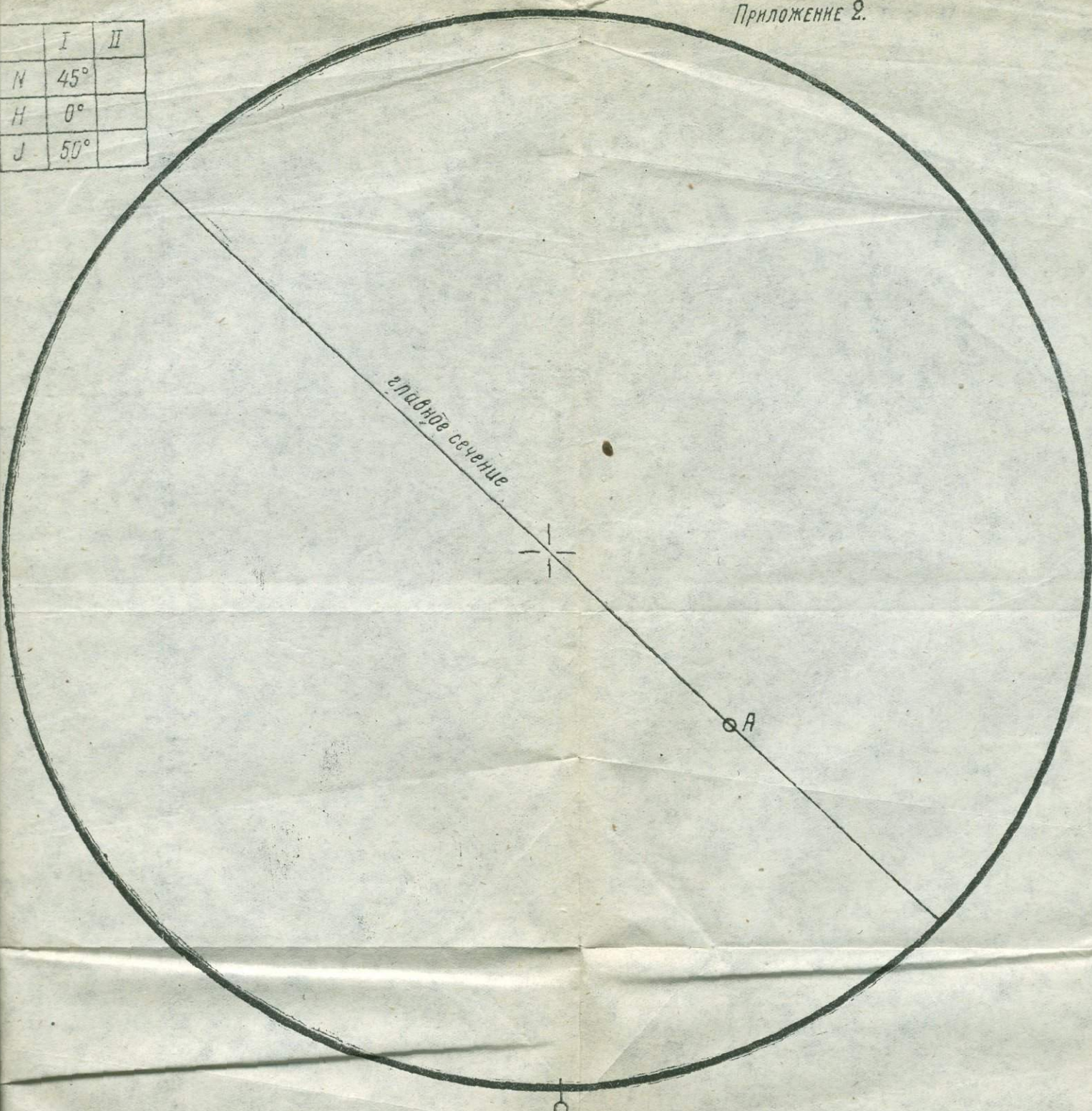
А. К. Подногиев.

	I	II
N	30°	295°
H	20°R	13°R
J	330	—

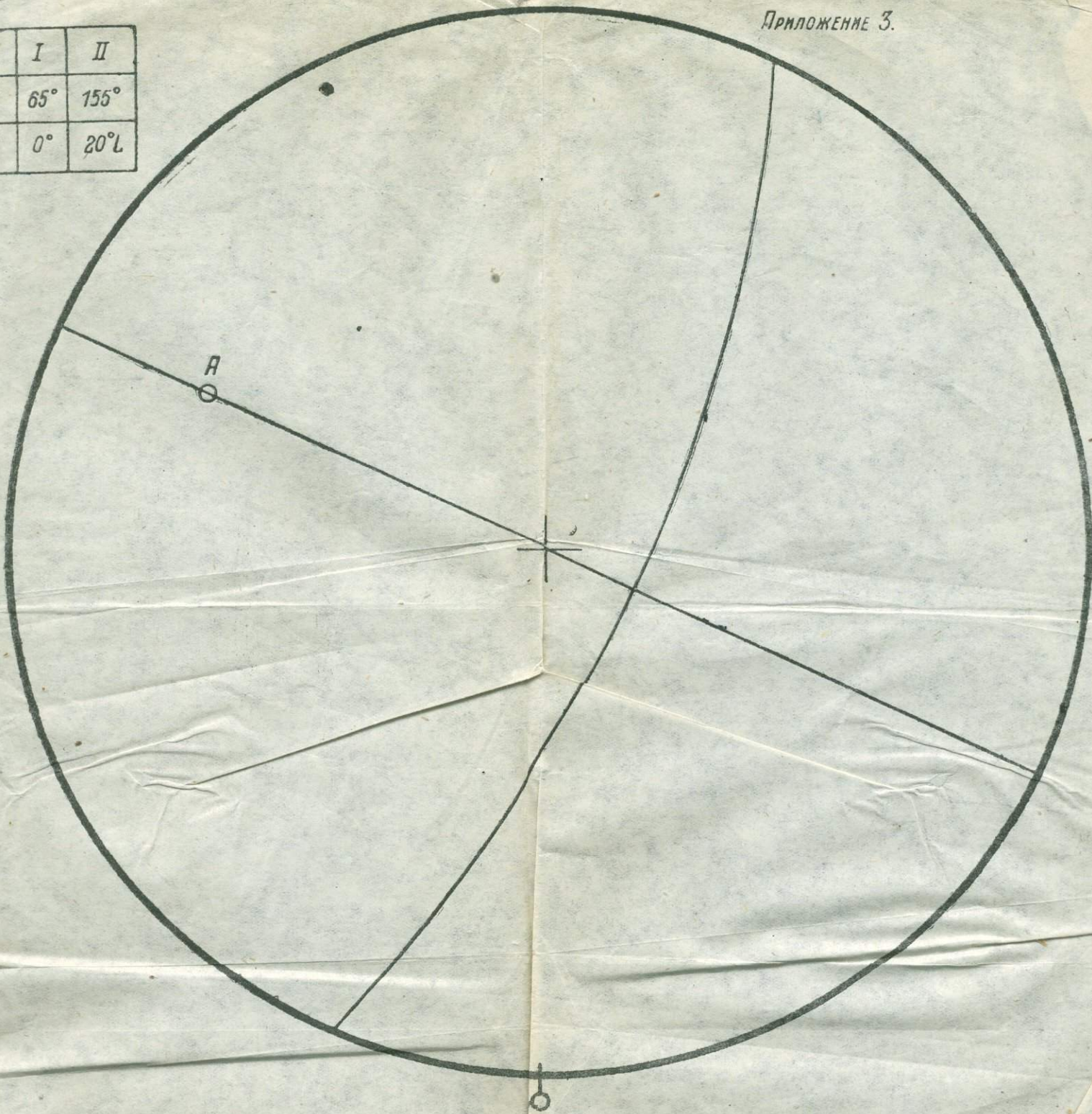
2V = +88



	I	II
N	45°	
H	0°	
J	50°	

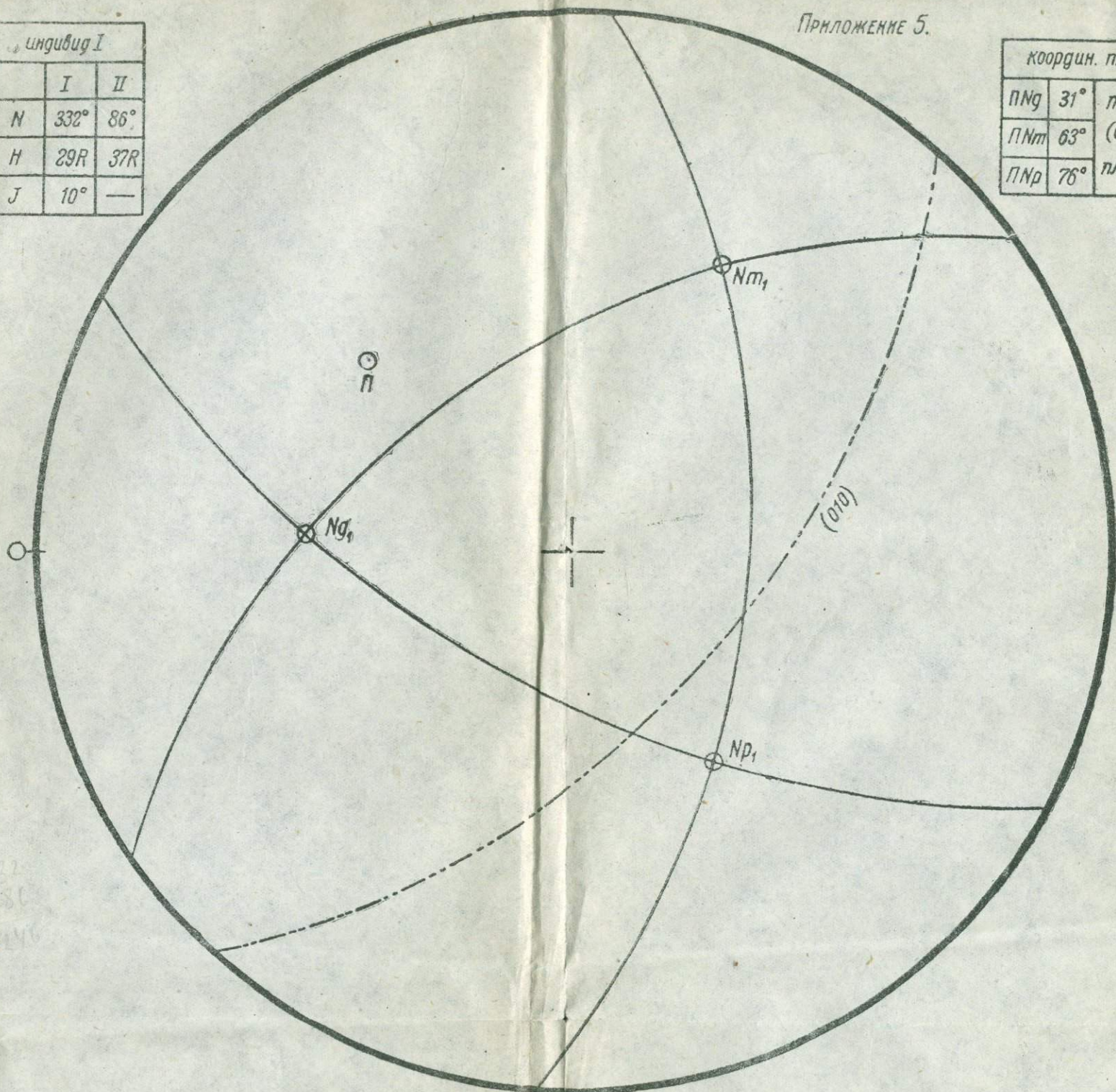


	I	II
N	65°	155°
H	0°	20°L

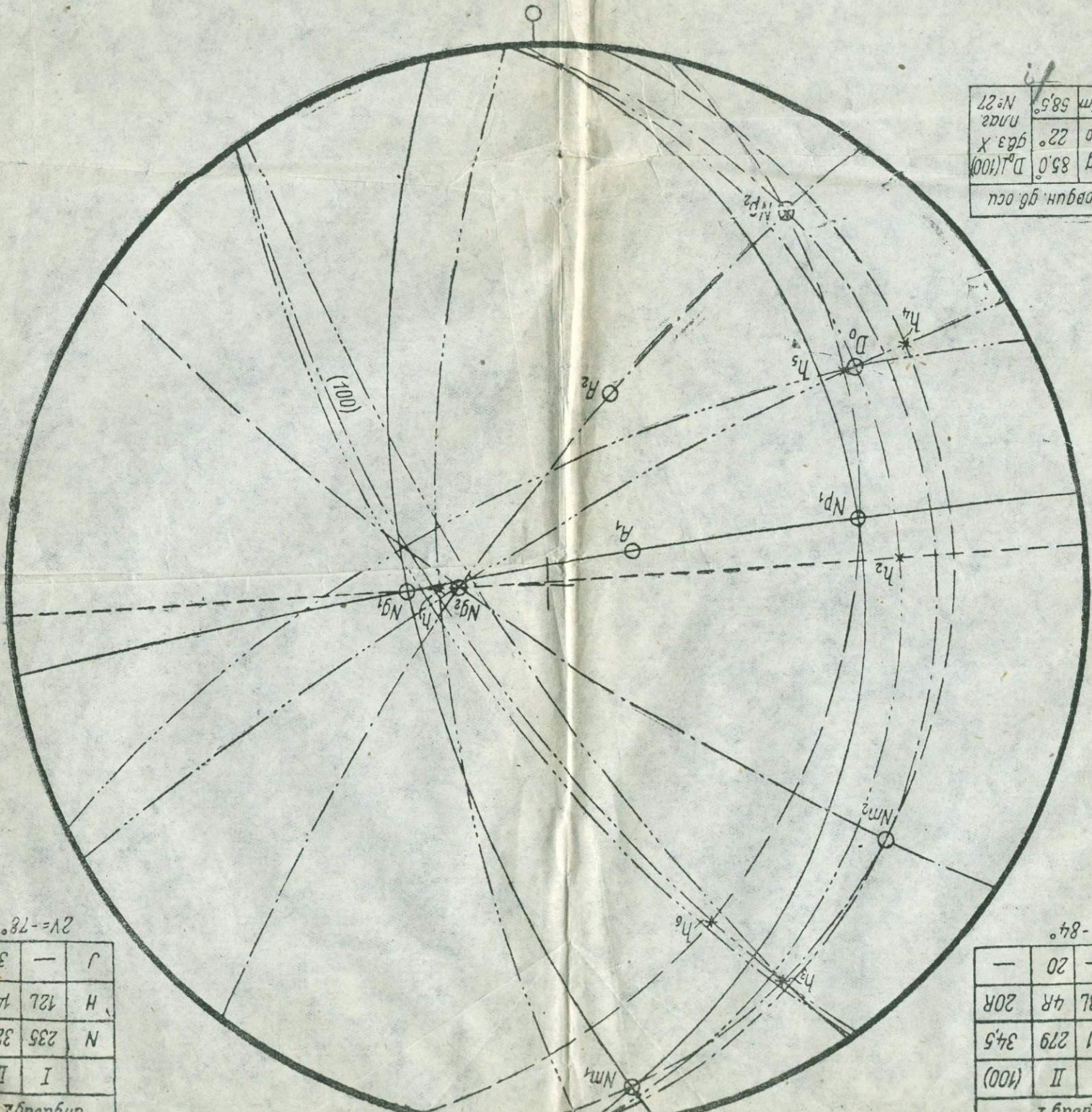


индивид I		
	I	II
N	332°	86°
H	29R	37R
J	10°	—

координ. пл. сп.		
ПNg	31°	пл. сп.
ПNm	63°	(010)
ПNp	76°	пл. №57



Кордин. гр. осц	
$D_0 N_0$ 85,0	$D_0 N_0$ 22° гр. X
$D_0 N_m$ 58,5	мас
№ 27	



$2V = -84^\circ$

I II (100)	N 191 279 34,5	H 281 4R 20R	J — 20 —
------------	----------------	--------------	----------

$2V = -78^\circ$

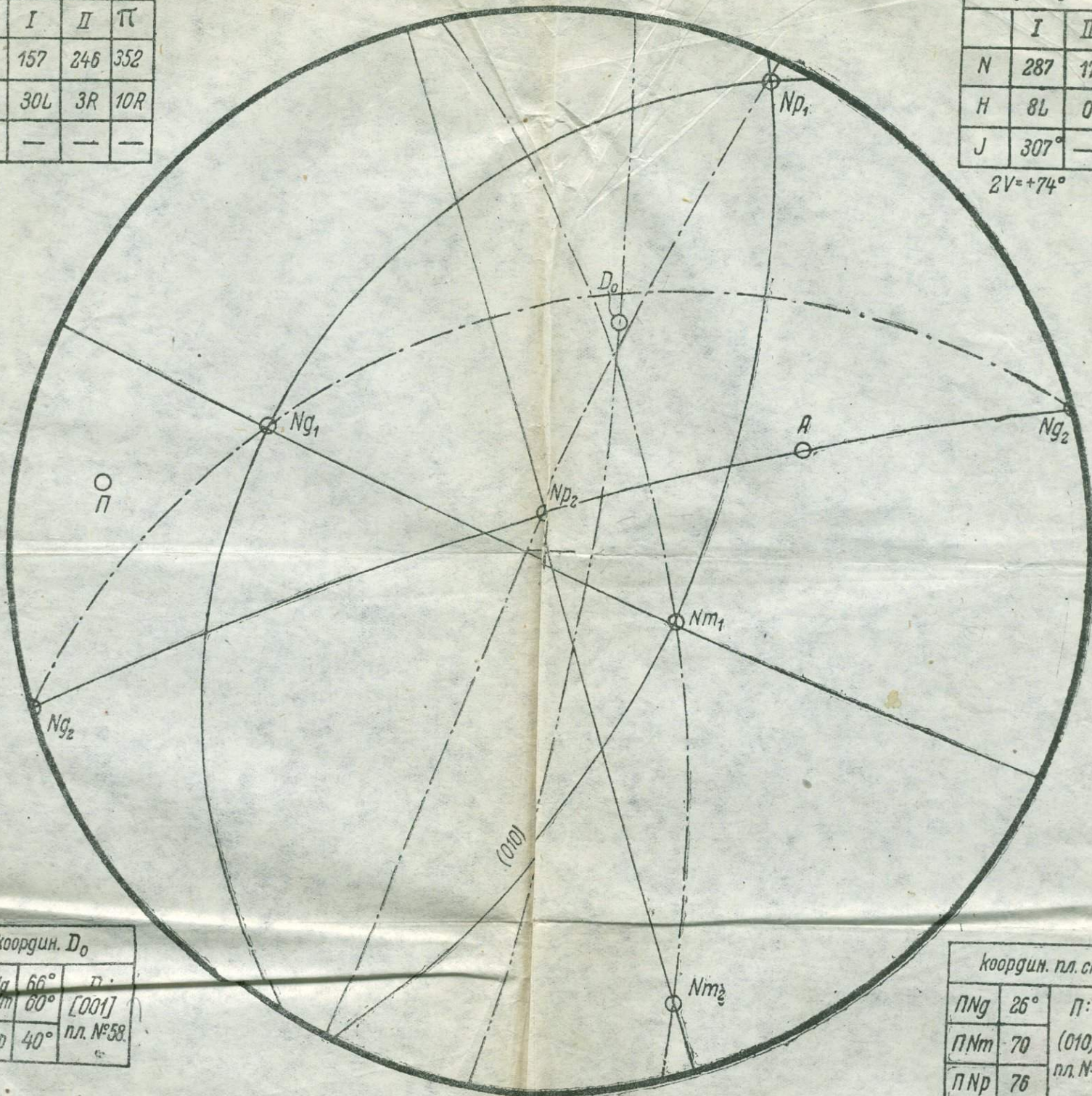
I II	N 235 323	H 121 14R	J — 39 —
------	-----------	-----------	----------

Приложение 7.

индивид I			
	I	II	III
N	157	246	352
H	30L	3R	10R
J	—	—	—

индивид II		
	I	II
N	287	17
H	8L	0
J	307°	—

$2V = +74^\circ$

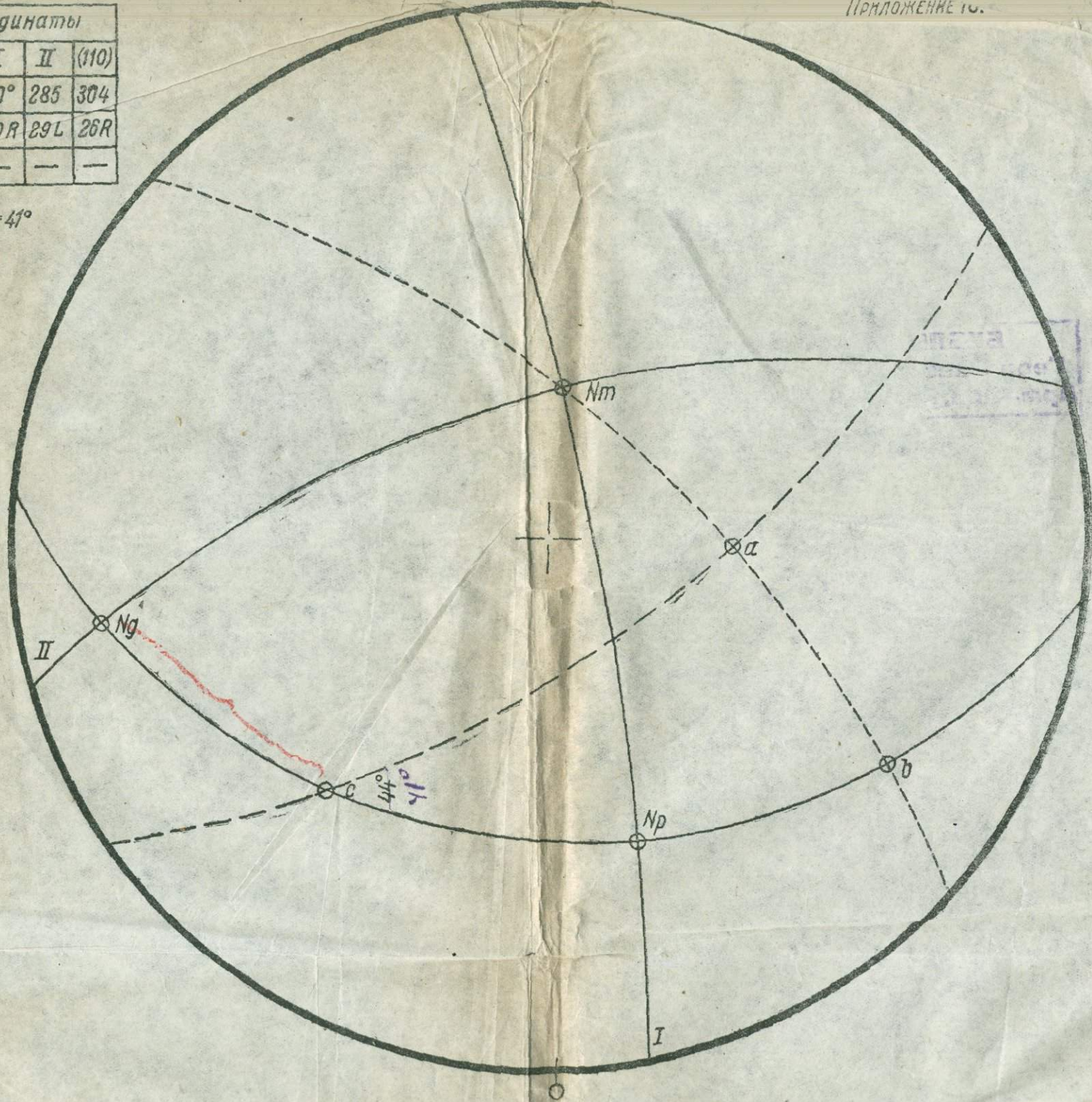


координ. $D_0$		
$D_0 Ng$	$66^\circ$	$\pi$
$D_0 Nm$	$60^\circ$	$[001]$
$D_0 Nr$	$40^\circ$	пл. №58.

координ. пл. сп.		
$\pi Ng$	$25^\circ$	$\pi$
$\pi Nm$	70	$(010)$
$\pi Nr$	76	пл. №56

координаты			
	I	II	(110)
N	10°	285	304
H.	10R	29L	26R
J	—	—	—

$cNg = 41^\circ$

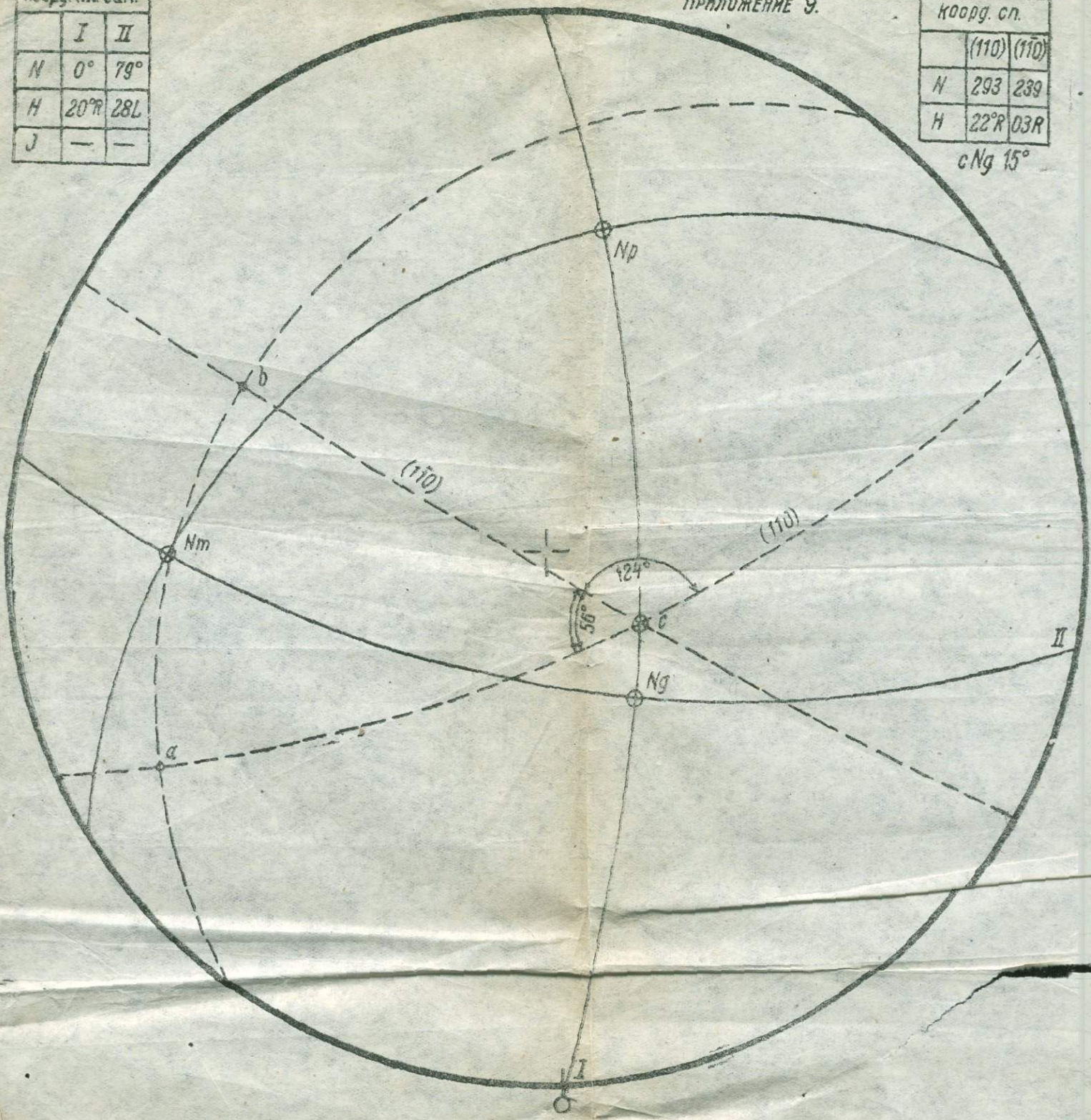


Приложение 9.

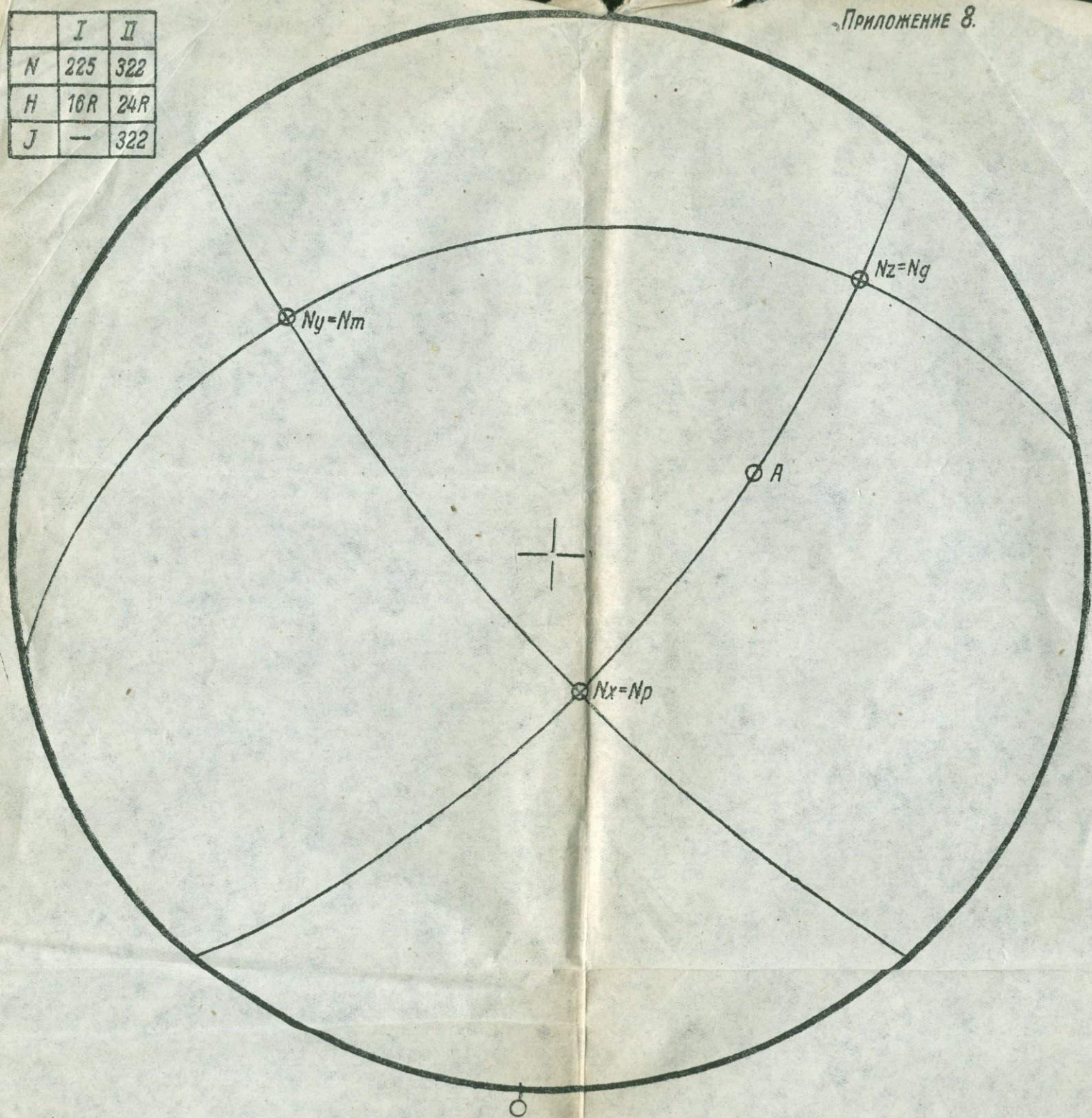
коорд. пл. сим.		
	I	II
N	0°	79°
H	20°R	28L
J	—	—

коорд. сл.		
	(110)	( $\bar{1}\bar{1}0$ )
N	293	239
H	22°R	03R

cNg 15°



	I	II
N	225	322
H	16R	24R
J	—	322



3 р. 50 к., переплет 75 к.

IP-65-5-2.

634