

М. А. Усовъ.

Горный Инженеръ, стипендіатъ Томскаго Технологическаго Института
ИМПЕРАТОРА НИКОЛАЯ II.

ФЕДОРОВСКІЙ

ИЛИ

УНИВЕРСАЛЬНО - ОПТИЧЕСКІЙ МЕТОДЪ

ИЗСЛѢДОВАНІЯ

ПОРОДООБРАЗУЮЩИХЪ МИНЕРАЛОВЪ,

ВЪ ОСОБЕННОСТИ

ПОЛЕВЫХЪ ШПАТОВЪ.

Съ 10 таблицами.



ТОМСКЪ.

Типо-литографія Сибир. Т—ва Печатнаго Дѣла, уг. Дворянск. ул. и Ямск. пер. соб. д.
1910.

О Г Л А В Л Е Н І Е.

| | |
|------------------------------|-----|
| Предисловіе | VII |
| Списокъ литературы | XI |

Первая часть.

Основные приемы универсально-оптического метода изслѣдованія.

Глава I. Федоровскій или универсальный столикъ.

| | |
|---|---|
| § 1. Общее описаніе Федоровскаго столика | 1 |
| § 2. Шаровые сегменты | 3 |
| § 3. Значеніе шаровыхъ сегментовъ и поправка на преломленіе . . | 4 |
| § 4. Наклеиваніе препарата | 7 |
| § 5. Установка и повѣрка Федоровскаго столика | 8 |

Глава II. Способы проектированія результатовъ измѣреній на Федоровскомъ столикѣ.

| | |
|---|----|
| § 6. Основанія стереографической проекціи | 12 |
| § 7. Задача 1. Найти полюсъ данной дуги большого круга | 15 |
| § 8. Задача 2. Огложить уголъ на данной дугѣ большого круга отъ данной точки | 15 |
| § 9. Задача 3. Построить дугу по тремъ точкамъ, изъ которыхъ двѣ лежатъ на концахъ одного діаметра | 16 |
| § 10. Стереографическая линейка | 18 |
| § 11. Круговая линейка | 18 |
| § 12. Задача 4. Провести дугу большого круга черезъ двѣ данныя точки. Задача 5. Раздѣлить уголъ между двумя точками. Задача 6. Измѣрить уголъ между точками | 19 |
| § 13. Трехногій циркуль | 19 |
| § 14. Задача 7. Найти проекцію дуги малаго круга | 20 |
| § 15. Примѣненіе прозрачныхъ стереографическихъ сѣтокъ | 21 |
| § 16. Полусфера В. В. Никитина. | 22 |

Глава III. Основные приемы работы на Федоровскомъ столикѣ.

| | |
|---|----|
| § 17. Основы кристаллооптики двуосныхъ минераловъ | 24 |
| § 18. Установка плоскостей упругости | 26 |
| § 19. Способы опредѣленія полноты погасанія препарата | 27 |

IV

| | |
|--|----|
| § 20. Вычерчиваніе проекціи плоскостей упругости | 29 |
| § 21. Выравниваніе результатовъ измѣреній при установкѣ плоскостей упругости | 32 |
| § 22. Опредѣленіе положенія плоскости оптическихъ осей | 34 |
| § 23. Опредѣленіе осей упругости | 35 |
| § 24. Опредѣленіе положенія кристаллографическихъ плоскостей | 38 |
| § 25. Опредѣленіе положенія направленія въ минералѣ | 40 |

Вторая часть.

Опредѣленіе оптическихъ константъ породообразующихъ минераловъ на Федоровскомъ столикѣ.

Глава I. Опредѣленіе оптическихъ константъ, выражающихъ свойства минераловъ, какъ физическихъ тѣлъ.

| | |
|---|----|
| § 26. Опредѣленіе вида сингоніи | 43 |
| Опредѣленіе угла между оптическими осями и оптического знака двѣхъ осей двѣхъ осей минерала | |
| § 27. а) При произвольномъ сѣченіи шлифа | 45 |
| § 28. в) При сѣченіи шлифа, близкомъ къ плоскости n_g n_p | 48 |
| § 29. Опредѣленіе оптического знака однооснаго минерала | 50 |
| § 30. Показатель преломленія | 52 |

Глава II. Опредѣленіе величины двупреломленія.

| | |
|---|----|
| § 31. Основанія способовъ опредѣленія величины двупреломленія | 54 |
| Описаніе приборовъ для измѣренія разности хода лучей: | |
| § 32. Вращающійся компенсаторъ Никитина | 56 |
| § 33. Кварцевые клиновые компенсаторы | 61 |
| § 34. Слюдяной компенсаторъ Федорова | 62 |
| § 35. Компараторъ М. Леви. | 63 |
| Измѣреніе толщины шлифа. | |
| § 36. Способъ Шона | 64 |
| § 37. Способъ Никитина | 66 |
| Опредѣленіе величины двупреломленія: | |
| § 38. а) Прямымъ путемъ | 68 |
| § 39. в) Помощью вспомогательнаго минерала | 69 |
| § 40. Опредѣленіе величины двупреломленія по способу М. Леви. | 71 |

Глава III. Опредѣленіе отношенія между оптическими и кристаллографическими элементами минераловъ.

Измѣреніе двойниковъ.

| | |
|--|----|
| § 41. Образованіе и типы двойниковъ | 72 |
| § 42. Опредѣленіе элементовъ двойниковаго образованія | 78 |
| § 43. Значеніе двойниковыхъ элементовъ въ дѣлѣ опредѣленія минераловъ. | 82 |

| | |
|--|----|
| Опредѣленіе минераловъ при помощи плоско- | |
| стей спайности. | |
| § 44. Значеніе координатъ полюса спайности | 85 |
| § 45. Углы погасанія | 87 |

Т р е т ь я ч а с т ь .

Опредѣленіе полевыхъ шпатовъ.

Известково-натровые полевые шпаты или плагіоклазы.

| | |
|--|----|
| § 46. Изоморфизмъ плагіоклазовъ. | 89 |
|--|----|

Г л а в а I. Федоровскій методъ опредѣленія плагіоклазовъ.

| | |
|--|-----|
| § 47. Общія основанія метода | 92 |
| § 48. Законы двойниковыхъ образованій плагіоклазовъ | 94 |
| § 49. Анализъ двойниковъ | 99 |
| § 50. Построеніе двойниковой діаграммы | 100 |
| § 51. Анализъ двойниковой діаграммы | 105 |
| § 52. О способѣ опредѣленія плагіоклазовъ помощью координатъ по- | |
| люса слѣда спайности. | 107 |

Г л а в а II. Дополнительные способы опредѣленія плагіоклазовъ.

| | |
|--|-----|
| § 53. Уголъ между оптическими осями | 109 |
| § 54. Величина двупреломленія | 110 |
| § 55. Опредѣленіе плагіоклазовъ по принципу Fouqué | 112 |
| § 56. Опредѣленіе плагіоклазовъ помощью полюса плоскости спай- | |
| ности | 114 |
| § 57. Опредѣленіе новыхъ двойниковыхъ законовъ плагіоклазовъ . | 115 |

Г л а в а III. Калиевонатровые полевые шпаты.

| | |
|---|------------|
| § 58. Изоморфизмъ калиевонатровыхъ полевыхъ шпатовъ | 118 |
| Основныя константы и способы опредѣленія | |
| калиевонатровыхъ полевыхъ шпатовъ. | |
| § 59. Общее | 124 |
| § 60. Морфологическія свойства | 124 |
| § 61. Углы погасанія | 126 |
| § 62. Двойниковыя образованія | 128 |
| § 63. Углы между оптическими осями | 130 |
| § 64. Лучепреломленіе | 131 |
| <i>Калиевобаріевые полевые шпаты</i> | <i>132</i> |
| <i>Цермитовыя сростанія полевыхъ шпатовъ</i> | <i>133</i> |

| | |
|---|------------|
| <i>Приложеніе. Подробный примѣръ опредѣленія одного плагіоклаза .</i> | <i>137</i> |
| <i>Таблицы.</i> | |

ПРЕДИСЛОВІЕ.

Петрографическія изслѣдованія до послѣдняго времени состояли преимущественно въ опредѣленіи структуры и общаго минералогическаго состава горныхъ породъ.

Примѣняемые при этомъ оптическіе методы, связанные съ употребленіемъ одного простаго поляризаціоннаго микроскопа, даютъ возможность находить только приблизительное значеніе константъ минераловъ, почему для ближайшаго опредѣленія данной породы необходимо подвергнуть её еще химическому анализу. Конечно, это обстоятельство сильно затрудняетъ точное и быстрое изслѣдованіе большого петрографическаго матеріала, не говоря уже о томъ, что химическій анализъ не всегда даетъ надежные результаты.

Другое дѣло, если у насъ имѣется методъ, при помощи котораго можно точно находить различныя константы порообразующихъ минераловъ въ любомъ зернѣ послѣднихъ. Въ этомъ случаѣ намъ будетъ извѣстна истинная природа каждой составной части породы, вслѣдствіе чего микроскопическія изслѣдованія иногда могутъ не только замѣнить химическій анализъ, но и дать болѣе опредѣленныя указанія относительно принадлежности этой породы къ тому или другому типу.

Кромѣ указаннаго значенія при опредѣленіи горныхъ породъ, такой методъ значительно расширяетъ сферу изученія минераловъ, какъ отдѣльныхъ физическихъ системъ, и такимъ образомъ еще больше сближаетъ петрографію съ минералогіей.

Въ настоящее время существуетъ два главныхъ метода, удовлетворяющихъ болѣе или менѣе поставленнымъ выше условіямъ. Это—методъ *Федорова* и методъ *Becke*. Первый основанъ на примѣненіи параллельнаго, второй— преимущественно сходящагося свѣта. Первый состоитъ главнымъ образомъ въ опредѣленіи пространственныхъ отношеній между различными элементами минераловъ, какъ оптическими, такъ и кристаллографическими; второй имѣетъ дѣло исключительно съ производными оптическихъ элементовъ, получаемыми не рѣдко искусственнымъ путемъ.

Изъ этого нетрудно видѣть, что первый методъ болѣе приспособленъ къ опредѣленію главныхъ константъ минераловъ, характеризующихъ простыя свойства послѣднихъ и потому имѣющихъ для петрографа наибольшее значеніе. Поэтому методъ Федорова по всей справедливости называется универсально - оптическимъ методомъ изслѣдованія порообразующихъ минераловъ.

Впрочемъ, универсальный характеръ этого метода ограничивается тѣмъ обстоятельствомъ, что, благодаря нѣкоторымъ особенностямъ прибора, на примѣненіи котораго покоится самый методъ и который носитъ названіе Федоровскаго или универсальнаго столика, изслѣдованію могутъ подвергаться лишь не особенно мелкія зерна минераловъ. Но это обстоятельство является чуть ли не единственной слабой стороной Федоровскаго метода и въ немъ только онъ уступаетъ методу *Becke*.

Не смотря на свое преимущество, первый методъ далеко не имѣетъ того распространенія, какъ послѣдній; нужно сказать, что онъ не перешелъ еще границъ своего отечества. Мало того, многіе русскіе люди, занимающіеся петрографіей, отправляясь въ заграничныя командировки, имѣютъ иногда главною своею цѣлью ознакомиться съ методомъ *Becke*, не изучивши еще того, что является достояніемъ русскаго генія.

Причиною такого явленія служить, по всей вѣроятности, отсутствіе подходящаго руководства по данному методу, изученіе котораго представляетъ немалыя затрудненія.

Дѣйствительно, изъ приводимаго ниже списка литературы мы видимъ, что у насъ имѣется собственно только два сочиненія съ болѣе или менѣе систематическимъ изложеніемъ метода; это—„*Universal methode und Feldspathstudien*“ (1896—98 гг.) Е. С. Федорова—творца метода, и „*Опредѣленіе плагиоклазовъ по новѣйшему способу Федорова*“ (1898 г.) его ученика Е. Стратановичъ.

Но первая работа относится еще ко времени разработки метода, почему послѣдній изложенъ въ ней академически, не достаточно систематично и для современнаго его развитія не полно. Вторая работа имѣетъ собственно частный характеръ, представляя лишь болѣе популярное изложеніе нѣкоторыхъ положеній предыдущаго сочиненія.

Такимъ образомъ можно сказать, что руководства по Федоровскому методу у насъ еще не имѣется.

Въ предлагаемой ниже работѣ я имѣлъ въ виду прежде всего восполнить, насколько возможно, этотъ пробѣлъ въ петрографической литературѣ.

Въ первыхъ двухъ частяхъ этой работы систематически изложены общія основанія метода въ современномъ его развитіи, причемъ детально разобраны существенные приемы оптическаго изслѣдованія на универсальномъ столикѣ наиболѣе совершеннаго типа.

Третья часть работы посвящена исключительно разбору оптическихъ свойствъ и способовъ опредѣленія полевыхъ шпатовъ; она не только служитъ иллюстраціей большинства приемовъ изслѣдованія, изложенныхъ въ первыхъ двухъ частяхъ, но имѣетъ и самостоятельное значеніе, такъ какъ полевые шпаты являются самыми существенными составными частями горныхъ породъ и такъ какъ въ настоящее время Федоровскій методъ занимается главнымъ образомъ опредѣленіемъ этихъ минераловъ.

Въ третьей части заключаются и наиболѣе важные результаты работы.

Такъ, провѣрена и значительно расширена Федоровская двойниковая діаграмма, служащая основаніемъ при опредѣленіи плагіоклазовъ, и разобраны возможные случаи пользованія ею;

приспособленъ къ универсальному методу способъ опредѣленія полевыхъ шпатовъ *Fouqué*, причемъ построены особыя діаграммы примѣняемыхъ при этомъ угловъ погасанія;

пересмотромъ данныхъ о калиевонатровыхъ полевыхъ шпатахъ выведенъ изодиморфный характеръ этихъ соединений, что дало возможность выдвинуть и поставить на практическую почву вопросъ объ опредѣленіи этихъ интересныхъ минераловъ, имѣющихъ въ естественной классификаціи горныхъ породъ, по всей вѣроятности, не меньшее значеніе, чѣмъ столь любимые петрографами плагіоклазы.

Въ концѣ работы приложенъ подробный примѣръ опредѣленія одного плагіоклаза съ указаніемъ всѣхъ послѣдовательныхъ приѣмовъ изслѣдованія на примѣняемомъ при этомъ универсальномъ столикѣ.

При составленіи предлагаемой работы, кромѣ преслѣдованія вышеуказанной цѣли, я имѣлъ еще въ виду слѣдующее.

Въ настоящее время мною заканчивается обработка при Геологическомъ Кабинетѣ Томскаго Технологическаго Института Джунгарскихъ коллекцій проф. В. А. Обручева. Примѣняя Федоровскій методъ при обработкѣ такого разнообразнаго матеріала, я натолкнулся на многіе вопросы, разрѣшеніе которыхъ привело къ нѣкоторымъ интереснымъ результатамъ, коснувшимся какъ самаго метода, такъ и способовъ опредѣленія полевыхъ шпатовъ.

Имѣя въ виду, что изданіе матеріаловъ Джунгарскихъ экспедицій затянется на довольно продолжительное время, и что все-равно необходимо предпослать составляемому мною петрографическому очерку С. З. Джунгаріи описаніе примѣнявшагося при обработкѣ коллекцій метода, я рѣшилъ сдѣлать это отдѣльно, расширивши только рамки этой задачи по приведеннымъ выше соображеніямъ.

Въ заключеніе считаю пріятнымъ долгомъ выразить искреннюю благодарность своему наставнику уважаемому профессору В. А. Обручеву, всячески содѣйствовавшему мнѣ при всѣхъ моихъ работахъ, и моему другу лаборанту П. П. Гудкову, которому я обязанъ своимъ знакомствомъ съ излагаемымъ мною методомъ и который не оставлялъ меня своими совѣтами.

М. Усовъ.

Томскъ, 24 сентября 1910 г.

СПИСОКЪ ЛИТЕРАТУРЫ.

Сообразно съ важною затронутыхъ въ работѣ вопросовъ, списокъ литературы раздѣленъ на три части.

По универсально оптическому методу изслѣдованія этотъ списокъ является, по всей вѣроятности, исчерпывающимъ.

Что касается двухъ другихъ группъ, то въ нихъ вошли только тѣ сочиненія, которыя были приняты во вниманіе при составленіи предлагаемой работы, причемъ по двойниковымъ образованиямъ литература указана болѣе или менѣе полностью, а по полевымъ шпатамъ приведены наиболѣе важныя работы, въ особенности касающіяся способовъ опредѣленія этихъ минераловъ.

Порядокъ расположенія отдѣльныхъ статей принятъ вездѣ хронологическій.

Для экономіи мѣста названія чаще упоминаемыхъ журналовъ приведены въ такомъ сокращенномъ видѣ.

| | |
|---|------------------|
| Annales de chimie et de physique | Ann. ch. et. ph. |
| Bulletin de la Société chimique de France | Bull. chim. fr. |
| Bulletin de la Société minéralogique de France . . . | Bull. min. fr. |
| Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences | C. R. |
| Записки Императорскаго СПб. Минералогическаго О-ва. | Зап. М. О. |
| Записки Горнаго Института Императрицы Екатерины II. | Зап. Г. И. |
| Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geologie und Palaeontologie | N. J. |
| Sitzungsberichte der Königl. Akademie der Wissenschaften in Wien | Wien. Ak. |
| Tschermack's mineralogische und petrographische Mittheilungen | T. M. P. M. |
| Zeitschrift für Krystallographie und Mineralogie . . | Z. f. Kr. |

Федоровскій или универсально-оптический методъ.

1. *E. v. Fedorow*. Universalmethode in der Mineralogie und Petrographie. *Z. f. Kr.* 21—22. 1893-94.
2. *E. v. Fedorow*. Universalmethode und Feldspathstudien.
I Metodische Verfahren. *Z. f. Kr.* 26, 1896, 225.
II Feldspathbestimmungen. *Z. f. Kr.* 27, 1897; 337.

- III. Die Feldspäthe des Bogoslowsk' schen Bergreviers. Z. f. Kr. 29, 1898; 604.
3. *E. С. Федоровъ*. Основанія петрографіи. 1897; 59—86.
 4. *F. Stöber*. Ueber die empfindliche Quarzdoppelplatte. Z. f. Kr. 29, 1898; 22.
 5. *E. Стратановичъ*. Опредѣленіе плагиоклазовъ по новѣйшему способу Федорова. Зап. М. О. 1898.
 6. *E. v. Fedorow*. Biegungsachse der Feldspäthe. T. M. P. M. 18, 1899; 360.
 7. *W. Nikitin*. Beitrag zur Universalmethode. Zur Bestimmung der Doppelbrechung. Z. f. Kr. 33 B, 1900; 145.
 8. *E. С. Федоровъ*. Кристаллографіи. 1901; 366—383.
 9. *E. С. Федоровъ* и *В. В. Никитинъ*. Богословскій Горный Округъ. 1901; 107—171.
 10. *E. v. Fedorow*. Ueber die Anwendung des Dreispitzzirkels für krystallographische Zwecke. Z. f. Kr. 37, 1902; 138.
 11. *E. v. Fedorow*. Axendispersionsarten und ihre Bestimmung. *Ibidem*. s. 343.
 12. *E. Федоровъ*. Послѣдніе шаги въ дѣлѣ универсально-оптическихъ изслѣдованій. Примѣненіе къ полевымъ шпатамъ. Зап. М. О. 40, 1903, 221.
 13. *E. Федоровъ*. Опредѣленіе показателей преломленія въ тонкихъ шлифахъ. *Ibidem*, 305.
 14. *L. Duparc* et *F. Pearce*. Traité de technique minéralogique et pétrographique. Genève. 1907, 281-300.
 15. *A. Болдыревъ*. Кристаллы динитробромбензола etc. Зап. Г.И. 1907, I; 25.
 16. *В. В. Никитинъ*. Нѣкоторые новые приборы и приемы универсально оптическаго метода изслѣдованія. Зап. Г. И. 1907, I, 43.
 17. *В. В. Никитинъ*. Опредѣленіе величины двупреломленія. *Ibidem*, 373.

Двойниковыя образованія.

18. *Haidy*. Traité de minéralogie. 1801, 2; 599.
19. *G. Tschermack*. Zur Theorie der Zwillingskrystalle. T. M. P. M. 2, 1880; 499.
20. *W. Brögger*. Mineralien der südnorwegischen Augitsyenite. Z. f. Kr. 16, 1890; 38.
21. *A. Cesaro*. Zur Theorie der Zwillinge. 1893. Ref. Z. f. Kr. 25, 1896; 385.
22. *P. Groth*. Physikalische Krystallographie. 1895. 278—599.
23. *G. Tschermack*. Lehrbuch der Mineralogie. 1897; 94.
24. *V. Goldschmidt*. Ueber nicht parallele Verknüpfung der Krystallpartikel. Z. f. Kr. 29, 1898; 361.
25. *W. Barlow*. Geometrische Untersuchung über eine mechanische Ursache der Homogenität etc. Z. f. Kr. 29, 1898; 521.

26. *H. Baumhauer*. Beiträge zur Kenntniss und Theorie der Zwillingsbildung an Krystallen. *Z. f. Kr.* 31, 1899; 252.
27. *P. Gaubert*. Contribution à l'étude de la formation et de l'accroissement des cristaux. *Bull. min. fr.* 25, 1902; 223.
28. *C. Viola*. Beitrag zur Zwillingsbildung. *Z. f. Kr.* 36, 1902; 234.
29. *J. Beckenkampff*. Ueber Zwillingsbildung von Krystallmassen und von Molekülen. *Z. f. Kr.* 36, 1902; 466.
30. *C. Viola*. Beitrag zur Zwillingsbildung. *Z. f. Kr.* 38, 1903; 67.
31. *G. Friedel*. Sur les macles. *C. R.* 139, 1904; 465, 618.
32. *G. Tschermack*. Einheitliche Ableitung der Krystallisations- und Zwillingsgesetze. *Z. f. Kr.* 39, 1904; 456.
33. *P. Pawlow*. Ueber die Bedingungen der Bildung von Krystallen verschiedener Form in einem flüssigem Medium. *Z. f. Kr.* 41, 1906; 144.
34. *B. Вернадский*. Къ физической теоріи кристаллическихъ двойниковъ. *Изв. Ак. Наукъ.* 1907; 335.
35. *A. Johnsen*. Untersuchungen über Krystallzwillinge und der Zusammenhang mit anderen Erscheinungen. *N. J. B.-B.* 23, 1907; 237.
36. *A. Johnsen*. Tschermack's Zwillingstheorie und das Gesetz der Glimmerbildung. *Centralblatt für Min. etc.* 1907; 400.
37. *V. Goldschmidt*. Ueber Heterozwillinge und einachsige Verwachsungen. *Z. f. Kr.* 42, 1907; 582.
38. *Ф. Левинсонъ-Лессинъ*. Къ вопросу о кристаллическихъ двойникахъ. *Изв. СПб. Политехн. И-та.* 9, 1908; 511.

Полевые шпаты.

39. *A. des Cloiseaux*. *Manuel de minéralogie.* I, 1862; 294.
40. *Klein*. Ueber den Feldspath v. M-te Gibebe auf Pantellaria. *N. J.* 1879; 518.
41. *G. Tschermack*. Die Feldspathstudien. *Wien. Ak.* 50, 1864; 566.
42. *A. Streng*. Feldspathstudien. *N. J.* 1871; 598.
43. *G. Tschermack*. Die Form und die Verwandlung des Labradorits von Verespatak. *Min. Mitt.* 1874; 269.
44. *A. Des Cloiseaux*. Mémoire sur les qualités biréfringentes caractéristiques des quatre principaux feldspaths tricliniques et sur un procédé pour les distinguer immédiatement les uns des autres. *Ann. ch. et ph.* 4, 1875; 5.
45. *A. Des Cloiseaux*. Examen microscopique de l'orthose et de divers feldspaths tricliniques. *C. R.* 82, 1876; 1017.
46. *A. Des Cloiseaux*. Mémoire sur l'existence, les propriétés optiques et cristallographiques et la composition chimique du microcline, nouvelle espèce de feldspath triclinique à base de potasse, suivi de remarques sur l'examen microscopique de l'orthose et de divers feldspaths tricliniques. *Ann. ch. et ph.* 9, 1876; 433.

47. *J. Szabo*. Ueber eine neue Methode die Feldspäthe auch in Gesteinen zu bestimmen. Budapest. 1876.
48. *G. vom Rath*. Zwillingsverwachsung der triklinen Feldspäthe nach dem sogen. Periklin—Gesetze und über eine darauf gegründete Unterscheidung derselben. N. J. 1876; 689.
49. *E. Mallard*. Sur l'isomorphisme des feldspaths tricliniques. Bull. min. fr. 4, 1881; 96.
50. *M. Schuster*. Bemerkungen zu E. Mallard's Abhandlung „Sur l'isomorphisme etc.“ Nachtrag zur optische Orientirung der Plagioklase. T. M. P. M. 2, 1882; 189.
51. *M. Schuster*. Ueber die optische Orientirung der Plagioklase. T. M. P. M. 3, 1883; 155.
52. *A. Des Cloiseaux*. Nouvelles recherches sur l'écartement des axes optiques, l'orientation de leur plane et leurs bissectrices et de leurs divers genres de dispersion dans l'albite et l'oligoclase. Bull. min. fr. 6, 1883; 89.
53. *A. Des Cloiseaux*. Oligoclases et andésines. Bull. min. fr. 7, 1884; 249
54. *H. Förstner*. Ueber die Feldspäthe von Pantellaria. Z. f. Kr. 8, 1884 125.
55. *A. Beutell*. Beiträge zur Kenntniss der schlesischen Kalinatronfeld; späthe. Z. f. Kr. 8, 1884; 351.
56. *J. Jddings*. Obsidian cliff of Jellowstone National park. 7-th Annual Report U. S. G. Survey. 1885; 267.
57. *A. Offret*. De la variation sous l'influence de chaleur des indices de réfraction de quelques espèces minérales, dans l'étendue du spectre visible. Bull. min. fr. 13, 1889; 405.
58. *J. Hyland*. Ueber die Gesteine des Kilimandscharo und dessen Umgebung. T. M. P. M. 10, 1889; 249.
59. *E. v Fedorow*. Ueber eine merkwürdige Eigenschaft des Anorthits. T. M. P. M. 12, 1891; 443.
60. *Pockels*. Ueber die Berechnung der optischen Eigenschaften isomorpher Mischungen aus denjenigen der gemischten reinen Substanzen. N. J. B.—B. 8, 1893; 117.
61. *F. Becke*. Ueber die Bestimmbarkeit der Gesteinsgemengtheile, besonders der Plagioklase, auf Grund ihres Lichtbrechungsvermögen. Wien. Akad. 102, 1893; 358.
62. *F. Becke*. Bestimmung kalkreicher Plagioklase durch Interferenzbilder von Zwillingen. T. M. P. M. 14, 1894; 415.
63. *F. Fouqué*. Contribution à l'étude des feldspaths des roches volcaniques. Bull. min. fr. 17, 1894; 283.
64. *M. Lévy*. Etude sur la détermination des feldspaths dans les plaques minces. 1894.
65. *N. Ussing*. Mineralogisch-petrographische Untersuchungen von grönländischen Nephelinsyeniten und verwandten Gesteinen. Meddelse om Grönland. H. 14; 1894. T. 1.

66. *M. Lévy*. Recherches des axes optiques dans un mineral pouvant être considéré, comme un mélange de deux minéraux déterminés. Application aux plagioclases et à la verification de la loi de Tschermack. Bull. min. fr. 18, 1895; 79.
67. *F. Wallerant*. Calcul des constantes optiques d'un mélange des substances isomorphes. Application aux feldspaths. Bull. min. fr. 19, 1896; 169.
68. *E. v. Fedorow*. Die zu den optischen Axen normalen Schnitte der Plagioklase. Z. f. Kr. 25, 1896; 94.
69. *G. Becker*. Reconnaissance of the Gold fields of Southern Alaska with some notes on general geology. Plagioclase determination. 18-th Annual Report of the U. S. G. Survey. 1896-7; P. III, 30.
70. *A. Lacroix*. Minéralogie de la France et de ses colonies. II, 1897; 23.
71. *C. Hintze*. Handbuch der Mineralogie II, 1897; 1332.
72. *C. Viola*. Ueber Feldspathbestimmung. Z. f. Kr. 30, 1899; 23.
73. *C. Viola*. Zur Kenntniss des Anorthits vom Vesuv. Z. f. Kr. 31, 1899; 484
74. *F. Becke*. Die Orientirung der optischen Axe A in Anorthit. T. M. P. M. 18, 1899; 201.
75. *E. v. Fedorow*. Constatierung der optischen Anomalien in Plagioklasen. Z. f. Kr. 31, 1889.
76. *E. v. Fedorow*. Mikroskopische Bestimmung des Periklingesetzes. Z. f. Kr. 32, 1900.
77. *B. Тарасенко*. Матеріалы для сужденія о химическомъ строеніи известково-натровыхъ плагиоклазовъ. Зап. Кіев. О-ва Естеств. 16, 1900; 365.
78. *F. Becke*. Optische Orientirung des Albits von Amelia, Virginia. T. M. P. M. 19, 1900; 321.
79. *A. Даврскій*. Плагиоклазовоавгитовыя породы между Енисеемъ и Леной. Труды О-ва Естеств. при Имп. Казанск. Ун-тѣ. 34, вып. 1, 1900; 42—56.
80. *F. Becke*. Optische Orientirung des Oligoklas-Albits. T. M. P. M. 20, 1901; 55.
81. *L. Duparc* et *F. Pearce*. Sur les données optiques relatives à la maille du péricline. C. R. 133, 1901; 60.
82. *C. Viola*. Ueber die optische Orientirung des Albits und das Tschermack'sche Gesetz. T. M. P. M. 20, 1901; 199.
83. *G. Wulff*. Untersuchungen im Gebiete der optischen Eigenschaften isomorpher Krystalle. Z. f. Kr. 36, 1902; 1.
84. *O. Wenglein*. Ueber Perthitfeldspäthe. Kiel, 1903.
85. *H. Tertsch*. Optische Orientirung von Feldspäthen der Oligoklas-Gruppe. T. M. P. M. 22, 1903; 159.
86. *J. Strandmark*. Bidrag till Kännedom om Celsian och andra Baryt-fältspäter. Geol. Fören. i Stockholm Förhandl. 26, 1903.
87. *G. Tschermack*. Ueber die chemische Constitution der Feldspäthe. Wien. Ak. 112, 1903.

88. *F. Becke.* Ueber Mineralbestand und Struktur der krystallinischen Schiefer. Wien. Ak. 75, 1903; 55.
89. *F. Suess.* Ueber Perthitfeldspäthe aus krystallinischen Schiefergesteine. Jahrbuch d. K. k. geol. Reichsanstalt. 54, 1904; 417.
90. *L. Duparc.* Sur une nouvelle variété d'orthose. C. R. 138, 1904; 714.
91. *F. Becke.* Die optischen Eigenschaften der Plagioklase. T. M. P. M. 25, 1906, 1.
92. *F. Becke.* Zur Physiographie der Gemengtheile der krystallinen Schiefer. Wien, 1906.
93. *F. Neugebauer.* Die Krystaltracht von einfachen Krystallen und Karlsbader Zwillinge des Orthoklases. T. M. P. M. 25, 1906; 413.
94. *В. В. Никитинъ.* Случай вторичнаго нарастанія первичныхъ полевыхъ шпатовъ порфира. Одна новая комбинація двойниковыхъ законовъ четверника. Двойники по 1-ой оси и перпендикулярно къ ней. Зап. Г. И. I 1907; 236.
95. *Ph. Barbier.* Recherches sur la composition chimique des feldspaths potassiques. Bull. min. fr. 31, 1908; 152.
96. *Barbier et Prost.* Sur l'existence d'un feldspath sodique monoclinique, isomorphe de l'orthose. Bull. chim. fr. III, 1908; 894.
97. *F. Gonnard.* Notes cristallographiques sur les feldspaths potassiques. Bull. min. fr. 31, 1908; 276.
98. *F. Gonnard.* Sur l'analogie de certaines macles d'orthose nouvelles de Four la Brouque et des macles d'orthose signalées par Tschermack. Bull. min. fr. 31, 1908; 292.
99. *R. Brauns.* Sanidin von Leilenkopf bei Niederlützingen. N. J. 1909; 1. 43.
100. *F. Angel.* Ueber einen Natronsanidin von Mitrovitza. N. J. B.—B. 30, 1910; 254.
101. *А. Заварицкий.* Петрографическія наблюденія въ окрестностяхъ Міасскаго завода. Зап. Г. И. III, 1910; 59.

Также №№ 2, 5, 9, 12, 20 и 30.

ПЕРВАЯ ЧАСТЬ.

Основные приемы универсально-оптического изслѣдованія.

Г л а в а I.

Федоровскій или универсальный столикъ.

§ 1. *Общее описаніе Федоровскаго столика.*

Федоровскій, или универсальный столикъ о трехъ осяхъ въ усовершенствованномъ видѣ представляетъ небольшихъ размѣровъ приборъ, умѣщающійся на предметномъ столикѣ обыкновеннаго поляризаціоннаго микроскопа и позволяющій придавать пластинкѣ изслѣдуемаго минерала всевозможныя положенія, что достигается вращеніемъ препарата около нѣсколькихъ осей прибора.

На нижней доскѣ послѣдняго (фиг. 1 и фотогр. табл. I), прикрѣпленной къ столику микроскопа особыми винтами, стоятъ двѣ плоскія колонки S , которыя поддерживаютъ главную ось J , несущую собственно столикъ прибора.

Эта ось приводится во вращеніе при помощи шлянки J^1 и закрѣпляется нажимнымъ винтомъ i ; уголъ вращенія около оси измѣряется на вертикальномъ кругѣ K , нониусъ котораго n^1 нанесенъ на верху прилежащей колонки.

Самый столикъ состоитъ изъ нѣсколькихъ частей, вращающихся другъ относительно друга. Самая внутренняя часть представляетъ стеклянный кругъ G , на который накладывается изслѣдуемый шлифъ. Этотъ кругъ вправленъ въ металлическое кольцо, вмѣстѣ съ которымъ допускаетъ вращеніе въ своей плоскости, причемъ углы отсчитываются на обхватывающемъ градусномъ кольцѣ при помощи особаго индекса—черты, нанесенной на внутреннемъ металлическомъ кольцѣ.

Вращеніе производится при помощи винтиковъ особаго стекляннаго шарового сегмента, накладываемаго на шлифъ.

Вся эта система, представляющая какъ бы одно цѣлое, прикрѣплена къ другому кольцу R на шарнирахъ H , вслѣдствіе чего возможны вращенія ея около оси, располагающейся на плоскости внутренняго круга и проходящей черезъ эти шарниры; вращеніе производится простымъ наклоненіемъ той или другой половины системы, а наклонное положеніе удерживается закрѣпленіемъ нажимного винта h . Способъ отсчета угловъ наклоненія около этой оси нѣсколько сложенъ и будетъ описанъ ниже.

Кольцо K вмѣстѣ съ предыдущей системой вращается въ своей плоскости; вращеніе нужно производить, придерживаясь только за узкій зазубренный край m , не рѣзко отдѣляющійся отъ вмѣщающаго его нижняго кольца u , наглухо соединеннаго съ осью J ; оба кольца скрѣпляются нажимнымъ винтомъ r . Для опредѣленія угла вращенія кольца K на немъ нанесены градусныя дѣленія, а нониусъ n^2 соединенъ съ осью J и находится у второй колонки.

И такъ, Федоровскій столикъ даетъ возможность подвергать изслѣдуемый шлифъ вращенію вокругъ четырехъ осей, изъ которыхъ только одна ось J (immobile) является неподвижной, другія же оси мѣняютъ свое положеніе относительно частей прибора.

Ось вращенія кольца K , т.-е. перпендикуляръ къ плоскости этого кольца, оставаясь все время нормальной къ главной оси J , мѣняетъ свое положеніе съ вращеніемъ послѣдней; эта ось называется M (mobile).

Ось, проходящая черезъ шарниры, всегда остается въ плоскости кольца K и стекляннаго круга, но можетъ образовывать любой уголъ съ осью J ; она носитъ названіе H (Hülfachs).

Ось поворотовъ внутренняго стекляннаго круга въ его собственной плоскости, будучи всегда перпендикулярна къ оси H , можетъ быть расположена произвольно относительно первыхъ двухъ осей. Е. Стратановичъ придалъ ей названіе N (normal), какъ остающейся всегда нормальной къ плоскости шлифа, находящагося на стеклянномъ кругѣ.

Изъ этихъ четырехъ осей въ работѣ находятся большею частью только три: N , H , и J , почему самый приборъ называется „универсальнымъ столикомъ о трехъ осяхъ“.

Наконецъ, въ соединеніи съ обыкновеннымъ микроскопомъ весь приборъ можетъ вращаться около оси послѣдняго.

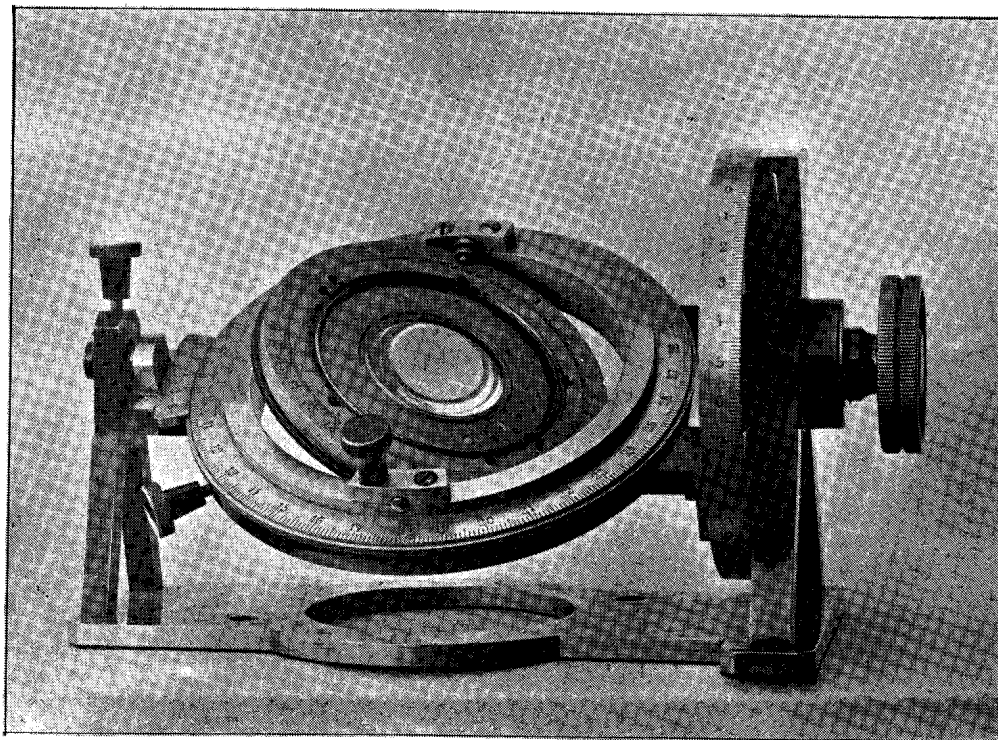
Несмотря на нѣкоторую сложность прибора, работа съ нимъ уже послѣ небольшой практики идетъ быстро, безъ замедленій, такъ какъ всѣ части расположены подъ руками; всѣ трущіяся части прибора въ исполненіи механика Fuess'a пригнаны хорошо и требуютъ рѣдкой смазки. Конечно, какъ всякій болѣе или менѣе сложный приборъ, Федоровскій столикъ долженъ содержаться въ надлежащей чистотѣ, но уходъ за нимъ требуетъ такъ мало времени, что ни въ коемъ случаѣ не можетъ вліять на быстроту работы.

Существеннымъ и притомъ неустранимымъ недостаткомъ Федоровскаго столика нужно считать невозможность работать при сильныхъ увеличеніяхъ, что обуславливается слѣдующими обстоятельствами.

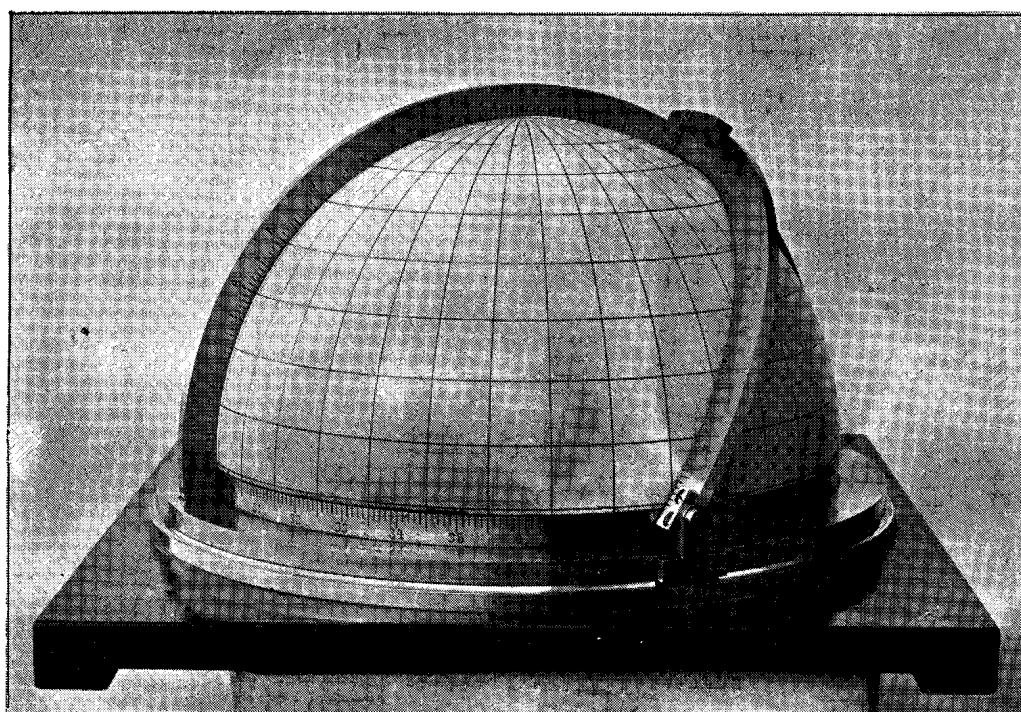
1) Толщина стеклянныхъ сегментовъ, накладываемыхъ на препаратъ, превышаетъ фокусное разстояніе объективовъ свыше № 4¹⁾.

2) Благодаря вращеніямъ прибора около осей H и J , труба микроскопа должна быть поднята достаточно высоко. Вполнѣ свободное обращеніе со столикомъ возможно только при объективѣ № 0, имѣющемъ ма-

¹⁾ Въ настоящее время, насколько мнѣ извѣстно, снова вводятся сегменты діаметромъ въ 8 м/м, вѣланые въ металлическую оправу. Они позволяютъ примѣнять иногда болѣе сильныя объективы.



Федоровскій или универсальный столикъ (около $\frac{3}{4}$ нат. в.).



Гемисфера Никитина (около $\frac{2}{5}$ нат. в.).

лую высоту и большое фокусное разстояніе; при незначительныхъ поворотахъ около упомянутыхъ осей можно еще пользоваться объективами №№ 1—3.

Изъ сказаннаго слѣдуетъ, что Федоровскій столикъ приспособленъ для работы лишь въ параллельномъ свѣтѣ, что, впрочемъ, не ограничиваетъ значенія его, какъ универсальнаго прибора, потому что и при этомъ условіи онъ даетъ возможность опредѣлять всѣ существенные элементы кристалловъ.

§ 2. Шаровые сегменты.

Весьма важною составною частью Федоровскаго столика являются шаровые сегменты, положеніе которыхъ схематически показано на фигурѣ 2-ой.

Устраиваются они такимъ образомъ, чтобы центры ихъ были общіе и совпадали съ центромъ креста, прочерченнаго на стеклянномъ кругѣ столика, причемъ для удобства работы съ болѣе сильными объективами верхнему сегменту придають обыкновенно меньшіе размѣры. Такъ какъ послѣдній накладывается на шлифъ, то онъ является переменнымъ, тогда какъ нижній сегментъ можетъ быть установленъ разъ на долгое время.

Въ старыхъ конструкціяхъ столика оба сегмента прикрѣплялись только при помощи глицерина. Это приклеиваніе, конечно, непрочно, такъ какъ сегменты могутъ быть смѣщены неосторожнымъ движеніемъ или сползають отъ собственной тяжести при крутомъ наклонѣ прибора. Чтобы избѣгнуть этого неудобства, въ новѣйшихъ приборахъ сегментамъ стали придавать слѣдующее устройство¹⁾.

Нижній сегментъ *A* (фиг. 3) снабженъ плоскимъ металлическимъ кольцомъ такого діаметра, чтобы оно свободно входило въ кольцевую обойму универсальнаго столика, поддерживающую вращающійся стеклянный кругъ.

Для прикрѣпленія этого сегмента на плоскость его помѣщается небольшая капля глицерина или другой подходящей жидкости, послѣ чего сегментъ вкладывается въ обойму и слегка прижимается къ стеклянному кругу.

Прилипаніе прочно удерживаетъ его на мѣстѣ и нужно замѣтное усиліе, чтобы оторвать его отъ стекла за ручки *pp*.

Оправа верхняго сегмента содержитъ винтики *bb*, при помощи которыхъ онъ прикрѣпляется къ металлическому внутреннему кольцу столика, имѣющему соотвѣтствующія гнѣзда (на фотографіи ихъ показано нѣсколько паръ).

Шайбочки этихъ винтиковъ, находящіяся подъ оправой сегмента, сдѣланы для того, чтобы винтики могли свободно вращаться въ послѣдней, не выпадая изъ нея.

Съ другой стороны онѣ предохраняють отъ раздавливанія шлифъ, прижимаемый къ внутреннему кругу сегментомъ.

¹⁾ В. В. Никитинъ. Нѣкоторые новые приборы etc. Записки Горнаго Института I, 1907; 43.

§. 3. Значеніе шаровыхъ сегментовъ и поправка на преломленіе.

Вращеніе около осей столика позволяетъ придавать изслѣдуемому минералу почти любое положеніе. Но одного этого еще недостаточно, чтобы возможно было произвести самое наблюденіе; для этого необходимо преодолѣть слѣдующія затрудненія:

1) Вслѣдствіе различнаго преломленія стекла, изслѣдуемаго минерала и воздуха, при наклоненіи уже сравнительно на небольшой уголъ происходитъ полное внутреннее отраженіе и въ трубу микроскопа поступаютъ лишь лучи, отраженные отъ поверхности шлифа.

2) Если и нѣтъ полнаго внутренняго отраженія, все-же зерно минерала сдвигается со своего мѣста въ полѣ зрѣнія микроскопа, отчего страдаетъ точность наблюденій.

3) Наконецъ, благодаря тому же преломленію, при измѣреніи угловъ наклона около осей *J* и *H* прибора получаются величины, не соотвѣтствующія дѣйствительнымъ.

Все эти затрудненія исчезаютъ съ примѣненіемъ шаровыхъ сегментовъ. Разсмотримъ систему, состоящую изъ послѣднихъ, стекляннаго круга, предметнаго и покровнаго стеколъ и минерала. Чтобы вся система была болѣе или менѣе однородной, необходимо удалить воздушные прослойки, что достигается прослаиваніемъ всѣхъ перечисленныхъ частей какой-нибудь тяжелой жидкостью, имѣющей подходящій показатель преломленія; жидкость эта, какъ мы видѣли, требуется и для прикрѣпленія самихъ сегментовъ.

Если система является однородной, то, какъ показано на фигурѣ 4-ой, центральный пучокъ лучей A^1A^2 , входя нормально въ нижній сегментъ и выходя также нормально изъ верхняго сегмента, нисколько не измѣнится въ своемъ направленіи, на какой бы уголъ ни былъ повернутъ столикъ около оси *J*. Очевидно, мощность этого почти не преломляющагося пучка лучей будетъ прямо пропорціональна радіусу шаровыхъ сегментовъ.

Если же взять систему въ цѣломъ, то она будетъ дѣйствовать на проходящій свѣтъ, какъ двояковыпуклое стекло, и послѣдній изъ параллельнаго становится сходящимся, но схождение это, изображенное на фигурѣ преувеличенно, настолько не велико даже въ предѣлахъ поля зрѣнія при объективѣ № 0, что явленій, свойственныхъ сходящемуся свѣту, т.-е. образованія чернаго креста и т. п. не наблюдается¹⁾, и только при употребленіи болѣе сильныхъ объективовъ замѣчается ослабленіе освѣщенія.

Впрочемъ, вліяніе послѣдняго обстоятельства въ значительной степени компенсируется примѣненіемъ особаго конденсора, система линзъ котораго имѣетъ большое фокусное разстояніе, соотвѣтствующее высотѣ универсальнаго столика.

¹⁾ *E. v. Fedorow. Universalmethode und Feldspathstudien, Z. f. Kr. 1896 s. 233.*

Вслѣдствіе сходимости лучей свѣта объектъ кажется увеличившимся, что, конечно, только желательно; это увеличеніе обратно пропорціонально радіусу сегментовъ. вмѣстѣ съ тѣмъ самый препаратъ кажется прозрачнѣе, свѣжѣе и чище, такъ какъ устраняется частичное разсѣиваніе свѣта, происходящее при обыкновенныхъ наблюденіяхъ на микроскопѣ вслѣдствіе шероховатой поверхности шлифа.

Такимъ образомъ при однородности всей системы сегменты уничтожаютъ вредные результаты преломленія свѣта; нужно только обратить вниманіе, что для бѣльшей точности наблюденій изслѣдуемое зерно должно находиться въ главномъ центрѣ прибора, совпадающемъ обычно съ пересѣченіемъ креста, прочерченнаго на стеклянномъ кругѣ.

Но какъ же достигается вышеупомянутая однородность системы?

Такъ какъ Федоровскій столикъ до самаго послѣдняго времени примѣняется главнымъ образомъ для опредѣленія полевыхъ шпатовъ, то сегменты дѣлаются изъ стекла, имѣющаго показатель преломленія $n = 1.524$, равной наименьшему показателю преломленія этихъ минераловъ, что, какъ увидимъ ниже, является наиболѣе удобнымъ. Въ качествѣ связывающей и склеивающей жидкости употребляется глицеринъ, имѣющій приблизительно то же преломленіе. При болѣе точныхъ работахъ нужно и стеклянные пластинки шлифовъ готовить съ такимъ же показателемъ преломленія.

Впрочемъ, при обыкновенныхъ петрографическихъ изслѣдованіяхъ не нужно требовать безусловной однородности системы, такъ какъ отклоненія въ сотыхъ доляхъ показателя преломленія не оказываютъ почти никакого вліянія на результаты измѣреній. Но въ томъ случаѣ, когда изслѣдуется минераль съ показателемъ преломленія, значительно отличающимся отъ вышеприведеннаго, однородность системы сильно нарушается, и происходитъ замѣтное отклоненіе лучей свѣта отъ первоначальнаго направленія, вслѣдствіе чего измѣренные углы наклона будутъ или больше настоящихъ, если минераль имѣетъ болѣе высокій показатель преломленія, чѣмъ сегменты, или меньше настоящихъ—при обратномъ отношеніи.

Привести эти углы къ настоящимъ можно или вычисленіемъ или помощью діаграммы, построенной Е. С. Федоровымъ¹⁾.

Въ самомъ дѣлѣ,

$$\sin x = \frac{n}{n'} \sin \alpha, \text{ гдѣ}$$

n^1 —показатель преломленія минерала, который можно найти приблизительно въ соответствующихъ таблицахъ, если извѣстенъ видъ даннаго минерала; если же послѣдній не извѣстенъ, то надлежащій результатъ достигается путемъ приближеній.

n —показатель преломленія сегментовъ, равный обыкновенно 1.524.

1) *E. v. Fedorow. Universalmethode und Feldspathstudien. I Z. f. Kr. 1896; Taf. IV*

a —наблюденный уголъ.

x —истинный искомый уголъ.

Построение и примѣненіе вышеупомянутой діаграммы (фиг. 6) основаны на приведенной формулѣ и могутъ быть пояснены слѣдующимъ образомъ¹⁾.

Изъ формулы видно, что $\sin x$ есть катетъ прямоугольнаго треугольника съ гипотенузою $\frac{n}{n^1}$ и угломъ, противолежащимъ этому катету, равнымъ α .

Проведемъ двѣ концентрическія окружности радіусовъ $OR = 1$ и $OR^1 = \frac{n}{n^1}$ (фиг. 5). Если $\angle AOB = \alpha$, то изъ прямоугольнаго \triangle -ника AOB видно, что

$$AB = \frac{n}{n^1} \sin \alpha.$$

Проведемъ теперь прямую AA^1 , параллельную OC ; тогда, очевидно,

$$AB = A^1B^1 = \sin \angle A^1OB^1 = \frac{n}{n^1} \sin \alpha = \sin x.$$

На основаніи этого, діаграмма представляетъ квадрантъ, въ которомъ проведенъ рядъ концентрическихъ дугъ, радіусы которыхъ равны соотвѣтствующему значенію $\frac{n}{n^1} < 1$.

Чтобы придать діаграммѣ болѣе цѣлесообразный видъ, противъ каждой дуги ставится значеніе обратной величины радіуса, ибо въ случаѣ $n = 1$ не нужно дѣлать предварительныхъ вычисленій.

Кромѣ этого діаграмма содержитъ вспомогательные радіусы и прямыя, параллельныя начальному горизонтальному радіусу, черезъ каждыя 5° .

Чтобы показать, какъ нужно пользоваться діаграммой, положимъ, что требуется найти истинный уголъ по измѣренному углу въ 60° для минерала съ показателемъ преломленія $n^1 = 1.716$. Если показатель преломленія сегментовъ $n = 1.524$, то $\frac{n^1}{n} = 1.126$.

Проведемъ черезъ дѣленіе 60° радіусъ до пересѣченія съ дугой, соотвѣтствующей этому значенію $\left(\frac{n^1}{n}\right)$, и изъ точки пересѣченія—горизонтальную прямую, которая пройдетъ черезъ дѣленіе $50^\circ 15'$, чему и будетъ равняться искомый уголъ.

$$\text{По формулѣ } \sin x = \frac{n}{n^1} \sin \alpha$$

$$x = 50^\circ 16'.$$

¹⁾ L. Duparc et F. Pearce. Traité de technique minéralogique et pétrographique 1907. p. 298.

Такъ нужно пользоваться діаграммой, когда n меньше n^1 , что встрѣчается наиболѣе часто. Если же показатель преломленія сегментовъ больше такового въ изслѣдуемомъ минералѣ, то нужно взять отношеніе $\frac{n}{n^1}$ и находить истинное значеніе угла обратнымъ порядкомъ, т. е. отъ горизонтальной прямой, проходящей черезъ соотвѣтствующее градусное дѣленіе, къ радіусу, который и укажетъ искомый уголъ.

Итакъ, тѣмъ или другимъ порядкомъ однородность системы прибора достигается вообще довольно легко. Тѣмъ не менѣе углы наклоненія препарата на практикѣ не могутъ превышать известной величины, потому что при очень крутомъ наклонѣ въ поле зрѣнія входитъ металлическая обойма сегмента, да и пластинка минерала кажется очень узкой и толстой, что сильно затрудняетъ наблюденія или дѣлаетъ ихъ невозможными.

Обыкновенно верхнему сегменту придаютъ діаметръ = 14 *mm.* съ предѣльнымъ угломъ наблюденій въ каждую сторону въ 68°.

§ 4. Наклеиваніе препарата.

Изъ предыдущаго описанія прибора слѣдуетъ, что препаратъ, подлежащій изслѣдованію на Федоровскомъ столикѣ, долженъ быть подготовленъ надлежащимъ образомъ.

Прежде всего, въ виду ограниченной площади внутренняго стекляннаго круга и—главное—сегментовъ, шлифъ долженъ имѣть опредѣленные размѣры и форму, чтобы каждое зерно препарата могло быть помещено въ центрѣ поля зрѣнія. Удобнѣе всего готовить шлифы на круглыхъ пластинкахъ діаметромъ въ 20 *mm.*, хотя можно примѣнять и квадратныя стекла того же размѣра.

Толщина всего шлифа опредѣляется тѣмъ, чтобы при наложеніи верхняго сегмента центръ послѣдняго совпалъ съ центромъ внутренняго круга.

Впрочемъ, для достиженія этого подъ ушками находятся особыя шайбочки, толщина которыхъ и должна равняться толщине препарата, чтобы послѣдній прижимался сегментомъ и не могъ сходить съ опредѣленнаго мѣста.

Передъ наложеніемъ шлифа въ плоскости послѣдняго, стекляннаго круга и шарового сегмента должны быть хорошо вычищены при помощи платка или—лучше—замши. Затѣмъ на шлифъ со стороны пластинки изслѣдуемаго вещества, на которую лучше не наклеивать покровнаго стекла, въ центрѣ ея накладывается стеклянной палочкой капля глицерина размѣромъ въ 2—3 *mm.* Шлифъ быстро перевертывается и осторожно накладывается на внутренній кругъ; при постепенномъ надавливаніи глицеринъ расходуется подъ шлифомъ, вытѣсняя воздухъ. Послѣ этого шлифъ можно передвигать по кругу до надлежащей установки.

Затѣмъ такая-же капля глицерина накладывается на плоскость сегмента, послѣдній быстро перевертывается и привинчивается къ кругу равномерно обоими винтиками. Если при этомъ шлифъ сдвинется съ мѣста, то можно ослабить немного винтики и передвинуть его какимъ-нибудь острымъ предметомъ, напимѣръ, остриемъ карандаша, и затѣмъ закрѣпить сегментъ окончательно. Когда глицерина положено достаточное количество, это передвиженіе происходитъ легко безъ нарушенія связи между отдѣльными плоскостями; но съ другой стороны не должно быть и слишкомъ много глицерина, такъ какъ тогда онъ будетъ вытекать изъ подъ переслаиваемыхъ имъ предметовъ и попадетъ между трущимися частями прибора, что вредно для послѣдняго, да и препаратъ будетъ соскальзывать передъ наложеніемъ сегмента. При небольшомъ навыкѣ наклеиваніе препарата дѣлается быстро—скорѣе, чѣмъ можно рассказать объ этомъ, а это обстоятельство, конечно, имѣетъ особенное значеніе при обработкѣ большого матеріала.

Послѣ снятія шлифа всѣ части, смоченныя глицериномъ, должны быть тщательно и осторожно вытерты.

§ 5. Установка и повѣрка Федоровскаго столика.

Работа съ Федоровскимъ столикомъ въ существенныхъ чертахъ сводится къ приведенію различныхъ плоскостей, наблюдаемыхъ въ изслѣдуемомъ минералѣ, въ плоскость симметріи ¹⁾ микроскопа и къ совмѣщенію различныхъ направленій съ оптической осью послѣдняго.

Это достигается при различныхъ манипуляціяхъ легче всего въ томъ случаѣ, когда главная ось столика J окажется перпендикулярной къ плоскости симметріи микроскопа, а ось H совмѣстится съ этой послѣдней. Далѣе, для точности опредѣленій необходимо, чтобы всѣ оси универсальнаго микроскопа пересѣкались въ одной точкѣ, съ которой совмѣщается изслѣдуемое зерно препарата, сохраняющее такимъ образомъ свое мѣсто при всѣхъ вращеніяхъ.

Наконецъ, оси J и H должны быть перпендикулярны къ оси M , которая въ свою очередь при совмѣщеніи плоскости внѣшняго кольца K съ плоскостью внутренняго круга должна совпадать съ осью N .

Всѣ эти условія требуютъ цѣлаго ряда предварительныхъ поправокъ и повѣрокъ, которыя можно расположить въ нижеслѣдующемъ порядкѣ.

1) Сначала обычнымъ способомъ повѣряется простой поляризационный микроскопъ, въ которомъ оптическая и геометрическая оси трубы и ось вращенія предметнаго столика должны совпадать.

¹⁾ *Плоскость симметріи микроскопа*, дѣлящая послѣдній на двѣ симметричныя части, заключаетъ въ себѣ главное сѣченіе одного изъ николей, обыкновенно поляризатора, а также одну нить окулярнаго креста, которую мы будемъ называть вертикальной, считая другую нить горизонтальной; такія-же названія будутъ придаваться и вѣтямъ креста внутренняго круга столика.

2) Универсальный столикъ прикрѣпляется къ столику микроскопа такъ, чтобы при одномъ какомъ-нибудь положеніи перваго съ центромъ креста нитей окуляра совпалъ центръ креста, прочерченнаго на поверхности стекляннаго круга.

3) Прежде чѣмъ приступить къ повѣркамъ, нужно придать столику известную установку, которую будемъ считать предварительной.

а) Внутренній кругъ поворачивается около оси H такъ, чтобы поверхность его была наравнѣ съ внѣшнимъ кольцомъ R , т. е. чтобы оси M и N совпали.

б) Противъ 0° нониуса внѣшняго кольца ставится 9 (т. е. $90'$) дѣленіе послѣдняго; при этомъ положеніи ось H должна быть болѣе или менѣе нормальна къ оси J .

в) Ось J устанавливается въ вертикальной плоскости, перпендикулярной къ плоскости симметріи микроскопа, для чего прибѣгаютъ къ такому приѣму. Повертываютъ столикъ микроскопа такъ, чтобы ось J на глазъ была перпендикулярна къ означенной плоскости, затѣмъ вращеніемъ прибора около этой оси *отъ себя* приводятъ блестящій край внѣшняго кольца, представляющій какъ-бы слѣдъ верхней поверхности послѣдняго, въ совмѣщеніе съ центромъ окулярнаго креста, а чтобы разсмотрѣть этотъ край, т. е. чтобы уменьшить фокусное разстояніе объектива № 0, при которомъ только и возможна работа, вдвигаютъ въ трубу линзу Бертрана; наконецъ, осторожнымъ вращеніемъ около оси микроскопа приводятъ разсматриваемый край въ совпаденіе съ горизонтальною нитью окулярнаго креста (фиг 7) и въ такомъ положеніи закрѣпляютъ нажимной винтъ микроскопа, замѣтивши поправку на лимбѣ послѣдняго. Столикъ микроскопа обыкновенно и остается въ такомъ положеніи почти во все время работы.

г) Закрѣпляютъ ось J въ такомъ положеніи, при которомъ оси M и N совпадаютъ съ осью микроскопа, причемъ 0° нониуса вертикальнаго круга долженъ болѣе или менѣе совпадать съ 0° послѣдняго.

4) Какъ было сказано выше, всѣ оси универсальнаго столика должны пересѣкаться въ одной точкѣ, представленной центромъ креста, прочерченнаго на поверхности стекляннаго круга. Прежде и легче всего провѣрить ось H . Такъ какъ эта ось реальна и вполне доступна, то повѣрку можно сдѣлать чисто механическимъ путемъ: ось должна лежать на продолженіи вертикальной вѣтви указаннаго креста.

5) Когда сдѣлана предыдущая повѣрка, можно узнать, перпендикулярна-ли ось J плоскости симметріи микроскопа. Для этого внутренній кругъ наклоняютъ около оси H и, пользуясь опять линзой Бертрана, совмѣщаютъ верхній блестящій край этого круга съ вертикальною нитью окулярнаго креста, для чего иногда приходится повернуть столикъ около оси M . Требуемое условіе выполнено, если при вращеніи около оси J край не сходитъ съ нити, въ противномъ случаѣ нужно пол-

ложить что-нибудь подъ нижнюю доску прибора на надлежащей сторонѣ. Это ясно изъ того, что ось J уже установлена въ вертикальной плоскости, перпендикулярной плоскости симметріи микроскопа.

6) Во время предыдущей повѣрки отмѣчается поправка для градуснаго внѣшняго кольца K , при которой ось H будетъ дѣйствительно нормальна къ оси J .

7) Прохожденіе оси N черезъ центръ креста внутренняго круга можно повѣрить при помощи циркуля. Если одну ножку его поставить въ центръ креста, то окружность, описанная другой ножкой при подходящемъ радіусѣ, должна совпадать съ периферіей круга, такъ какъ послѣдняя служитъ окружностью вращенія.

8) Теперь можно найти поправку для вертикальнаго круга. Для этого нужно воспользоваться способомъ, предложеннымъ проф. Е. С. Федоровымъ¹⁾. „Изъ окуляра вывинчивается верхняя линза, сверху наставляется трубочка съ Гауссовскимъ стеклышкомъ, и на эту трубочку накладывается подходящая лупа. Гауссовское стеклышко поворачивается до тѣхъ поръ, пока отраженный отъ него внутри микроскопа свѣтъ, направленный отъ лампы сбоку, не появится на бумажкѣ, положенной на стеклянный кругъ столика. Тогда бумажка убирается, и вставляется на пути луча Бертрановская линза, которая подвигается вдоль оси микроскопа, пока въ верхнюю лупу не будетъ видно отраженнаго отъ столика изображенія окулярнаго креста. Это произойдетъ, очевидно, тогда, когда система изъ объектива и линзы Бертрана будетъ имѣть своимъ главнымъ фокусомъ центръ окулярнаго креста. Въ этомъ случаѣ лучи, вышедшіе изъ этой точки, примутъ по выходѣ изъ объектива параллельное положеніе и, отразившись отъ стекла, снова дадутъ дѣйствительное изображеніе креста въ его же плоскости“. Въ общемъ случаѣ крестъ и его изображеніе не совпадаютъ; это значитъ, что поверхность внутренняго круга не перпендикулярна оси микроскопа, или ось N не совпадаетъ съ послѣдней.

Совпаденіе этихъ осей достигается въ два приѣма.

а) Сначала вращеніемъ оси J приводятъ въ совмѣщеніе горизонтальныя нити креста и его изображенія. Отсчетъ на вертикальномъ кругѣ дастъ поправку для послѣдняго.

в) Предыдущимъ приѣмомъ ось N приведена въ вертикальную плоскость, перпендикулярную плоскости симметріи микроскопа. Для окончательнаго совмѣщенія оси N и оси микроскопа внутренній кругъ наклоняется около оси H , пока вертикальныя нити креста и его изображенія также не сольются. Данное положеніе оси N можно тоже зафиксировать на вертикальномъ кругѣ. Для этого столикъ поворачивается около оси M на 90° въ ту сторону, чтобы двугранный уголъ, образованный поверхностями внутренняго круга и внѣшняго кольца, былъ обращенъ

¹⁾ *Е. Федоровъ*. Опредѣленіе показателей преломленія въ тонкихъ шлифахъ. Зан. И. Сиб. Мин. О-ва 40, 1903; стр. 313.

къ наблюдателю. Затѣмъ вращеніемъ около оси J блестящее ребро внутренняго круга приводится въ совмѣщеніе съ горизонтальной нитью окулярнаго креста, причемъ пользуются, конечно, линзою Бертрана при обыкновенномъ состояніи микроскопа. Отсчетъ на вертикальномъ кругѣ, болѣе или менѣе близкій къ 90° , и будетъ фиксировать относительное положеніе правильно установленной оси N .

9) Остается заняться осью M . Такъ какъ при обычныхъ работахъ ею приходится пользоваться рѣдко и болѣею частью для вспомогательныхъ манипуляцій, то и нѣтъ особенной необходимости преслѣдовать безусловную точность ея установки. Повѣрка этой оси производится при помощи способа Е. С. Федорова.

Столикъ устанавливается такъ, чтобы окулярный крестъ совпалъ со своимъ изображеніемъ. Если теперь вращать внѣшнее кольцо R , то при правильномъ устройствѣ оси M не должно быть расхожденіе крестовъ.

Измѣнить неправильное устройство этой оси нельзя: здѣсь все дѣло зависитъ отъ механика, изготовившаго приборъ.

10) Наконецъ, нужно еще повѣрить правильность наложенія на стеклянный кругъ шаровыхъ сегментовъ. Въ столикахъ усовершенствованнаго типа эти сегменты, какъ мы видѣли, прикрѣпляются при помощи особыхъ винтиковъ и такимъ образомъ остаются неподвижными. Если при наложеніи сегментовъ совмѣщенные до этого кресты окулярный и стекляннаго круга не разошлись, то сегменты придѣланы правильно, т.-е. ихъ центры совпадаютъ съ главнымъ центромъ прибора. Обыкновенно столикъ всегда удовлетворяетъ этому условію.

Сказаннымъ исчерпываются установки и повѣрки столика.

При работахъ, не требующихъ особенной точности, напримѣръ, при общемъ опредѣленіи минераловъ въ шлифахъ большой коллекціи горныхъ породъ, можно ограничиться тѣмъ, что сказано въ пунктахъ 1, 2, 3, 5 и 6-омъ.

Главное же условіе, которому долженъ удовлетворять Федоровскій столикъ—особенно для цѣлей петрографическихъ изслѣдованій, заключается въ томъ, чтобы вращающіяся части были хорошо пригнаны другъ къ другу, такъ какъ ничто такъ не замедляетъ работы и не утомляетъ работающаго, какъ тугой или неправильный ходъ при вращеніи около многочисленныхъ осей прибора.

Относительно точности установки столика и производимыхъ на немъ измѣреній нужно сказать, что хотя нониусы лимбовъ (кромѣ внутреннаго лимба и даютъ возможность прочесть $5'$, тѣмъ не менѣе при обработкѣ петрографическаго матеріала эта точность рѣдко доходитъ до $\frac{1}{4}^\circ$.

Г л а в а II.

Способы проектированія результатовъ измѣреній на Федоровскомъ столикѣ.

§ 6. Основанія стереографической проекціи

Работы на Федоровскомъ столикѣ ведутся параллельно съ графическимъ изображеніемъ получаемыхъ данныхъ; это необходимо не только для различныхъ построеній, которыми разрѣшаются многіе вопросы, но и для направленія послѣдующей работы.

Такъ какъ универсальный столикъ является въ сущности гониометромъ, то проекція, которой приходится пользоваться для графическаго изображенія результатовъ измѣреній, должна удовлетворять тѣмъ условіямъ, чтобы углы сохраняли свою величину, и чтобы различныя построенія дѣлались легко и быстро, ибо только въ послѣднемъ случаѣ данный методъ получаетъ практическое значеніе въ петрографіи. Представленнымъ условіямъ лучше всего удовлетворяетъ стереографическая проекція, которая и была принята Е. С. Федоровымъ въ самомъ началѣ разработки имъ метода.

Общія основанія примѣненія стереографической проекціи заключаются въ слѣдующемъ.

Представимъ себѣ шаръ произвольнаго радіуса (фиг. 8), черезъ центръ котораго O проходятъ всѣ плоскости и направленія, наблюдаемыя въ кристаллѣ; реально можно принять, что этотъ центръ совпадаетъ съ центромъ столика.

Всѣ эти плоскости и направленія въ пересѣченіи съ поверхностью шара дадутъ соотвѣтственно дуги большихъ круговъ и точки, причѣмъ измѣреніе угловъ въ кристаллѣ можно замѣнить измѣреніемъ проекцій этихъ угловъ на сферѣ. Если принять $ACBD$ за экваторіальную плоскость, а CS^1DS за плоскость перваго меридіана, то положеніе каждаго направленія опредѣлится двумя сферическими координатами его проекціи, называемой также плюсомъ направленія: долготой, считаемою по экватору отъ точки C по часовой стрѣлкѣ до меридіана, проходящаго черезъ данный полюсъ, и высотой послѣдняго относительно точки S^1 . Такимъ образомъ для прямой OE координатами явятся долгота=дугѣ CK и высота=дугѣ ES^1 .

Такъ какъ плоскость опредѣляется двумя прямыми, то положеніе ея отмѣчается аналогичнымъ образомъ. Для этого возьмемъ слѣдъ экваторіальной плоскости на данной плоскости и прямую пересѣченія послѣдней съ плоскостью, перпендикулярною этому слѣду. Такъ какъ эти прямыя взаимно-перпендикулярны, то плоскость будетъ вполне опредѣлена долготою первой прямой и высотой второй прямой.

Такъ, координатами плоскости $HLJF$ будутъ $CABH$ и FS^1 .

Описанный способъ проектированія на сферу, называемый *линейнымъ*, иногда замѣняется другимъ, въ нѣкоторыхъ случаяхъ болѣе удоб-

нымъ. Послѣдній состоитъ въ томъ, что проектируется не плоскость, а перпендикуляръ къ ней, причемъ проекція этого перпендикуляра называется полюсомъ плоскости, а вмѣсто прямой проектируется плоскость, къ ней перпендикулярная. Очевидно, этотъ способъ проектированія, носящій названіе *гномоническаго*, выгоднѣе примѣнять тогда, когда наблюдаются главнымъ образомъ плоскости, напримѣръ, при гониометрическихъ изслѣдованіяхъ кристалловъ.

Итакъ, первое приближеніе къ разрѣшенію вопроса о проектированіи данныхъ наблюденій на Федоровскомъ столикѣ уже сдѣлано нами. Нужно сказать, что непосредственное проектированіе на сферу разрѣшается примѣненіемъ особаго фарфороваго полушарія Никитина, которое будетъ описано ниже. Употребленіе его, однако, неудобно въ нѣкоторыхъ отношеніяхъ и не всегда допустимо; поэтому, чтобы можно было производить построеніе на бумагѣ, нужно перейти отъ проекціи на сферѣ къ проекціи на плоскости.

Для этого за плоскость проекціи (картинную плоскость), или плоскость бумаги, примемъ экваторіальную плоскость AOB , съ которой, между прочимъ, принято совмѣщать плоскость шлифа.

За точку зрѣнія возьмемъ одинъ изъ полюсовъ этой плоскости, напримѣръ, S . Соединяя тогда точку зрѣнія съ проекціями, находящимися на верхней полусферѣ, прямыми линіями или коническими поверхностями, мы въ пересѣченіи послѣднихъ съ картинной плоскостью получимъ стереографическія проекціи данныхъ элементовъ.

Среди этихъ проекцій различаютъ граммастереографическія и гномостереографическія проекціи соответственно линейному или гномоническому способамъ проектированія.

Стереографическая проекція обладаетъ свойствами, весьма удобными для нашихъ цѣлей. Дѣйствительно — какъ сказано выше—всѣ элементы измѣреній на Федоровскомъ столикѣ опредѣляются двумя координатами. Одну изъ послѣднихъ—долготу—можно непосредственно отложить на какой-нибудь окружности, которая представитъ экваторъ.

Обыкновенно такія окружности діаметромъ въ 20 *см.* съ нѣкоторыми вспомогательными системами линій въ видѣ т. н. сѣтокъ употребляются уже готовыми (см. таблицы).

Если на этой сѣткѣ нанесены черезъ извѣстное число градусовъ діаметры, являющіеся собственно проекціями меридіанальныхъ плоскостей, и концентрическія окружности, соотвѣтствующія полярнымъ параллелямъ, то, руководствуясь послѣдними, легко отложить и вторую координату. Для удобства послѣдующихъ построеній на сѣтку накладываются еще двѣ экваторіально-стереографическія системы, представляющія проекціи меридіановъ и параллелей на двѣ взаимно перпендикулярныя меридіанальныя плоскости при точкахъ зрѣнія, находящихся на экваторѣ.

На сѣткахъ видно, что линейное разстояніе между параллелями постепенно увеличивается по мѣрѣ приближенія къ периферіи.

Дѣйствительно, если AB представляетъ картинную плоскость съ точкой зрѣнія S (фиг. 9), и если радиусъ сферы принять за 1-цу, то

$$\begin{aligned} a_1 &= \operatorname{tg} \alpha, & a_1 + a_2 &= \operatorname{tg} 2\alpha; \\ a_2 &= \operatorname{tg} 2\alpha - \operatorname{tg} \alpha, & a_1 + a_2 + a_3 &= \operatorname{tg} 3\alpha; \\ a_3 &= \operatorname{tg} 3\alpha - \operatorname{tg} 2\alpha & . & . & . & . & . \\ & . & . & . & . & . & . \\ a_n &= \operatorname{tg} n\alpha - \operatorname{tg} (n-1)\alpha. \end{aligned}$$

Такъ какъ tg возрастаетъ скорѣе угла, то и отрѣзки a также увеличиваются къ периферіи.

Хотя линейныя разстоянія и искажаются въ проекціи, но угловыя величины, благодаря градусной сѣткѣ, могутъ быть измѣрены съ большою степенью точности.

Другимъ важнымъ свойствомъ стереографической проекціи является сохраненіе формы окружности, хотя положеніе геометрическаго центра послѣдней мѣняется. Пусть BC (фиг. 9) представляетъ діаметръ окружности, проведенной на сферѣ. Лучи, соединяющіе точку зрѣнія S со всѣми точками этой окружности, образуютъ конусъ SBC , пересѣкающійся съ картинною плоскостью по нѣкоторой замкнутой кривой DEB . Плоскость FEG , проведенная черезъ центръ этой фигуры параллельно кругу CB , пересѣчетъ поверхность конуса, очевидно, также по окружности. Нетрудно видѣть, что сѣченіе FG и DB одинаково наклонены къ образующимъ конуса; поэтому, если FG представляетъ окружность, то и DB будетъ окружностью, что и требовалось доказать.

Центръ послѣдней окружности E не можетъ быть проекціей центра окружности BC , ибо $DE = EB$, а изъ предыдущаго мы знаемъ, что проекціи одинаковыхъ дугъ, проведенныхъ на сферѣ не равны между собою.

Нужно только замѣтить, что если BC представляетъ діаметръ окружности, а AS^1BS является одной изъ меридіанальныхъ плоскостей, то проекція центра этой окружности и геометрической центръ проекціи послѣдней должны находиться на одномъ діаметрѣ стереографической сѣтки.

Единственнымъ серьезнымъ недостаткомъ описанной проекціи является то обстоятельство, что въ предѣлахъ окружности сѣтки изображаются только элементы, находящіеся по одну сторону картинной плоскости. Конечно легко получить проекціи точекъ, принадлежащихъ и къ другой гемисферѣ— какъ показано на фигурѣ, но дѣлать построенія и измѣренія въ этомъ случаѣ становится весьма затруднительнымъ или даже невозможнымъ, такъ какъ линейныя разстоянія между проекціями сильно увеличиваются, а для точекъ, лежащихъ около точки зрѣнія, становятся безконечно большими. Впрочемъ, при изученіи оптическихъ свойствъ минераловъ это неудобство почти исчезаетъ въ виду того, что такія свойства не зависятъ отъ направленія вектора, и картинная плоскость раздѣляетъ кристаллъ на двѣ совершенно симметричныя половины.

Познакомившись съ основаніями стереографической проекціи, перей-

демъ къ рѣшенію задачъ на построеніе, которыя могутъ встрѣтиться при графическомъ изображеніи результатовъ измѣреній на Федоровскомъ столикѣ.

Всѣ случаи необходимыхъ построений можно свести къ рѣшенію слѣдующихъ семи задачъ.

§ 7. *Задача 1. Найти полюсъ данной дуги большого круга (таблица VI).*

Пусть данная дуга большого круга будетъ CED . Какъ сказано выше, полюсомъ плоскости называется проекція нормали къ послѣдней. Очевидно, эта нормаль должна находиться въ плоскости, перпендикулярной данному кругу, но такая плоскость явится не чѣмъ инымъ, какъ меридіанальной плоскостью, которая на сѣткѣ изобразится однимъ изъ ея діаметровъ. Послѣдній найти очень легко, такъ какъ онъ будетъ перпендикуляренъ діаметру CD , какъ прямой, лежащей въ плоскости даннаго круга, и положеніе его опредѣлится, если отъ какого-нибудь конца этого діаметра CD отсчитать 90° по окружности сѣтки.

На проведенномъ черезъ полученную точку діаметрѣ и долженъ находиться искомый полюсъ P . Чтобы опредѣлить мѣсто послѣдняго, нужно отъ точки E , какъ прямой пересѣченія разбираемыхъ плоскостей, отсчитать 90° , пользуясь полярными параллелями.

Изъ построения можно замѣтить, что полюсъ находится всегда на сторонѣ вогнутой части дуги. Кромѣ того отсчетъ по параллелямъ можно вести не отъ точки E , а отъ конца меридіана G , откладывая уголъ, который образуетъ эта точка E съ центромъ сѣтки.

Въ частномъ случаѣ, когда данная плоскость является меридіанальной и изображается въ проекціи діаметромъ, полюсъ ея будетъ лежать на окружности сѣтки.

§ 8. *Задача 2. Отложить извѣстный уголъ на данной дугѣ большого круга отъ данной точки (таблица VI).*

Положимъ, что на дугѣ CED отъ точки L нужно отложить отъ себя 32° . Для этого полюсъ дуги P соединяемъ прямою съ данной точкой L , откладываяемъ отъ точки пересѣченія ея съ окружностью сѣтки дугу $L^1T^1 = 32^\circ$ и, соединяя точки T^1 и P прямой, въ пересѣченіи послѣдней съ дугой находимъ точку T^1 , отстоящую отъ точки L на заданное число градусовъ.

Для доказательства обратимся къ схематическому чертежу 10-му ¹⁾.

Если точки S и F расположены симметрично относительно большихъ круговъ s и f , то, очевидно, дуги послѣднихъ L^1T^1 и LT будутъ равны между собою. Теперь представимъ себѣ, что точка S будетъ точкой зрѣнія стереографической проекціи, плоскость s —картинной плоскостью

¹⁾ Г. Вульфъ. Руководство по кристаллографіи. Варшава. 1904. стр. 20

послѣдней, а точка F будетъ изображать полюсъ данной плоскости f . И въ этомъ случаѣ точки S и F останутся симметричными относительно своихъ плоскостей, такъ какъ каждая изъ нихъ отстоитъ на 90° отъ всѣхъ точекъ окружности пересѣченія соответствующей плоскости со сферой, а потому и равенство дугъ не измѣнится.

Отсюда можно вывести слѣдующее положеніе:

плоскости, проходящая черезъ точку зрѣнія стереографической проекціи и черезъ полюсъ данной плоскости, отрѣзаетъ на окружностяхъ пересѣченія послѣдней и картинной плоскости со сферой дуги, равныя между собою.

Но въ стереографической проекціи плоскости, проходящая черезъ точку зрѣнія, изображаются прямыми линіями, почему и возможно показанное построеніе.

Очевидно, такимъ же путемъ можно опредѣлить уголъ между двумя точками, лежащими на данной дугѣ большого круга.

§ 9. Задача 3. Построить дугу по тремъ точкамъ, изъ которыхъ двѣ представляютъ концы діаметра, на который будетъ опираться дуга, а третья лежитъ на діаметрѣ, перпендикулярномъ первому (таб. VI).

Если обратиться къ условіямъ первой задачи, то данными точками будутъ какъ разъ C , D и E .

Прежде всего строимъ полюсъ P . Соединяя послѣдній съ точкою C (или D) прямой, мы отсѣкаемъ на окружности сѣтки дугу DP^1 . Затѣмъ откладываемъ дугу $P^1K = \text{дугѣ } DP^1$ и, соединяя точки K и C прямой, мы въ пересѣченіи послѣдней съ продолженіемъ діаметра EP найдемъ точку Q , какъ геометрической центръ искомой дуги.

Доказать это построеніе можно слѣдующимъ образомъ.

Изобразимъ на фигурѣ 11-ой то, что нанесено на сѣткѣ. Прежде всего отмѣтимъ, что искомый центръ дуги долженъ находиться на прямой EE^1 , какъ перпендикулярной къ хордѣ, стягивающей данную дугу, и дѣляющей её пополамъ.

Положимъ, что діаметральной точкой окружности, къ которой принадлежитъ дуга, будетъ точка E^1 . Дѣляя прямую EE^1 пополамъ, находимъ положеніе искомага центра Q и радіусъ окружности $EQ = \frac{EE^1}{2}$. Соединивши затѣмъ точки P и Q съ точкой C , докажемъ, что $x = 2\alpha$.

Изъ прямоугольнаго треугольника OCQ находимъ, что $OQ = tg x$. Съ другой стороны

$$O = EQ - OE = \frac{EE^1}{2} - OE.$$

$$\text{Такимъ образомъ } tg x = \frac{EE^1}{2} - OE.$$

Найдемъ значенія $\overline{EE^1}$ и \overline{OE} .

Изъ прямоугольнаго треугольника EOC имѣемъ, что $OE = tg$ угла ECO . Если представить себѣ, что плоскость MN является картинной плоскостью стереографической проекціи, то дуга $LP^1 = 90^\circ$,

$$\text{а } \angle ECO = \frac{90^\circ - 2\alpha}{2}, \text{ и}$$

$$OE = tg \frac{90^\circ - 2\alpha}{2} = \frac{1 - \sin 2\alpha}{\cos 2\alpha}. \text{ Далѣе}$$

изъ прямоугольнаго треугольника OCE^1 , въ которомъ уголь OCE^1 , какъ опирающійся на діаметръ EE^1 искомой окружности, будетъ прямой, находимъ, что

$$EE^1 = \frac{CE}{\sin OE^1C}. \text{ Но}$$

$$CE = \frac{1}{\cos \frac{90^\circ - 2\alpha}{2}}, \text{ а } \angle OE^1C = \angle ECO = \frac{90^\circ - 2\alpha}{2},$$

$$\text{такъ что } EE^1 = \frac{1}{\sin \frac{90^\circ - 2\alpha}{2} \cos \frac{90^\circ - 2\alpha}{2}}$$

Такимъ образомъ:

$$\begin{aligned} tg x &= \frac{1}{2 \sin \frac{90^\circ - 2\alpha}{2} \cdot \cos \frac{90^\circ - 2\alpha}{2}} = \frac{1 - \sin 2\alpha}{\cos 2\alpha} = \\ &= \frac{1}{\sin (90^\circ - 2\alpha)} = \frac{1 - \sin 2\alpha}{\cos 2\alpha} = \frac{1}{\cos 2\alpha} = \frac{1 - \sin 2\alpha}{\cos 2\alpha} = tg 2\alpha. \end{aligned}$$

Итакъ, $x = 2\alpha$.

Отсюда $\angle DCP^1 = \angle PCQ$ и—слѣдовательно— $\cup DP^1 = \cup P^1K$, что и нужно было доказать.

Какое же собственно значеніе имѣетъ отрѣзокъ PQ , представляющій разстояніе геометрическаго центра дуги отъ полюса послѣдней?

Если принять діаметръ MN за меридіальную плоскость и точку C .. за полюсъ ея, то, согласно предыдущей задачѣ,

$$\cup OP = \cup DP^1 \text{ и}$$

$$PQ = \cup P^1K, \text{ но такъ какъ}$$

$$\cup DP^1 = \cup P^1K, \text{ то и}$$

$$\cup OP = \cup PQ.$$

Такимъ образомъ точка Q находится отъ центра сѣтки на двойномъ полюсномъ разстояніи, что особенно наглядно представляется на фигурѣ 12-ой. Поэтому, если полюсъ дуги отстоитъ отъ центра сѣтки меньше, чѣмъ на 45° , то геометрической центръ этой дуги легко найти при помощи параллелей.

§ 10. Стереографическая линейка.

Описанный способ нахождения центра дуги большого круга обыкновенно применяется рѣдко, такъ какъ требуетъ затраты сравнительно большого количества времени, что при петрографическихъ работахъ весьма не желательно. Обыкновенно при рѣшеніи поставленной задачи пользуются такъ называемой стереографической линейкой, представляющей собственно скалу для центровъ дугъ, опирающихся на одинъ и тотъ же діаметръ сѣтки опредѣленнаго размѣра. За неимѣніемъ готовой, построить такую скалу очень легко самому работающему. Для этого начало прямой линіи, прочерченной на эталонѣ бумаги, совмѣщаютъ съ центромъ сѣтки и наносятъ на этой линіи при помощи описаннаго способа центры для дугъ, опирающихся на діаметръ, перпендикулярный этой прямой. Достаточно найти и отмѣтить центры для дугъ, взятыхъ черезъ каждые $2\frac{1}{2}^\circ$ или 5° .

На фигурѣ 13-ой представлена такая скала въ масштабѣ $\frac{1}{4}$.

Цифры, проставленныя вдоль скалы, указываютъ, на какое число градусовъ отклонена соответствующая дуга отъ горизонтальнаго экватора.

Съ другой стороны, согласно предыдущему, каждая отмѣтка представляетъ половину того числа градусовъ, на которое отвѣчающее ей дѣленіе отстоитъ отъ центра проекцій. Такимъ образомъ, стереографическая линейка можетъ быть употребляема съ указанной поправкой и для отложенія угловыхъ величинъ отъ центра сѣтки.

Представленная линейка является неполной. Во-первыхъ, на ней не показаны дѣленія между отмѣтками 0° и 45° . Это сдѣлано потому, что въ этомъ интервалѣ центры легко находятся при помощи полярныхъ параллелей, какъ показано выше.

§ 11. Круговая линейка.

Во-вторыхъ, на стереографической линейкѣ нѣтъ дѣленій свыше 75° , отвѣчающихъ очень пологимъ дугамъ, близкимъ къ вертикальной плоскости. Въ виду того, что радіусы такихъ дугъ получаются очень большими, послѣднія гораздо удобнѣе проводить при помощи особой круговой линейки, конструированной Е. С. Федоровымъ.

Она состоитъ изъ мѣдной основной доски *A* (фиг. 14) и вышлифованной упругой стальной пластинки *BC*. Эта пластинка изгибается посредствомъ выступовъ *D* и *E* поперечнаго стержня, на который надавливаетъ винтъ *F* при ввинчиваніи послѣдняго въ гайку *g*, прикрѣпленную къ доскѣ. Расстояніе выступовъ отъ точекъ опоры *h* пластинки выбраны такъ, чтобы это изгибаніе происходило по дугѣ круга съ точностью, достаточной для обыкновенныхъ чертежныхъ цѣлей, причемъ уголъ наклона дуги къ вертикальной плоскости не долженъ превышать 25° ; вообще же эта линейка можетъ быть изогнута еще на 5° .

Нужно имѣть въ виду, что указанная линейка съ постояннымъ разстояніемъ между выступами D и E годится лишь для проведенія дугъ большого круга на сѣткахъ діаметромъ въ 20 ст.

Поэтому, чтобы сдѣлать линейку примѣнимой и въ другихъ случаяхъ, устраиваютъ иногда означенные выступы передвижными.

За послѣднее время появилась еще одна конструкція круговой линейки, въ которой изгибаніе упругой пластинки производится сразу при поворачиваніи особаго эксцентрика, причѣмъ послѣдній соединенъ со стрѣлкой, указывающей на циферблатѣ уголъ изгибанія.

Эта линейка болѣе деликатнаго устройства, чѣмъ вышеописанная, и кромѣ того, наибольшій уголъ изгибанія пластинки не превышаетъ 20° , такъ что особыхъ преимуществъ, какъ намъ кажется, она не имѣетъ.

§ 12. Задача 4. Провести дугу большого круга черезъ двѣ данныя точки (таблица VI).

Даны двѣ точки L и T ; нужно провести черезъ нихъ дугу большого круга. Для этого принимаемъ данныя точки за полюсы и строимъ соотвѣтствующія дуги; построеніе основывается на предыдущихъ задачахъ и видно изъ таблицы.

Очевидно, точка пересѣченія проведенныхъ дугъ P представитъ проекцію прямой, перпендикулярной кривоскости, опредѣляемой точками L и T , какъ проекціями двухъ прямыхъ, т.-е. явится полюсомъ дуги, проходящей черезъ эти точки.

Задача 5. Раздѣлить уголъ между двумя точками (таблица VI).

Для рѣшенія задачи проводимъ черезъ данныя точки L и T дугу большого круга, если ея не было, изъ полюса этой дуги проектируемъ, согласно задачѣ 2-ой, данныя точки на окружность сѣтки и дѣлимъ отсѣченную на ней дугу $L^1 T^1$ въ требуемомъ отношеніи; точки пересѣченія съ другой LT прямыхъ, соединяющихъ точки дѣленія съ полюсомъ, раздѣляютъ уголъ между данными точками въ томъ же отношеніи.

Задача 6. Измѣрить уголъ между двумя точками.

По предыдущему, проводимъ черезъ данныя точки дугу большого круга и, проектируя послѣднія изъ полюса дуги на окружность сѣтки, прямо отсчитываемъ на ней искомый уголъ.

§ 13. Трехногий циркуль.

Въ практикѣ послѣднія три задачи рѣшаются гораздо проще примѣненіемъ трехногаго циркуля¹⁾, въ которомъ кромѣ двухъ обыкновенныхъ ножекъ, вращающихся на шарнирѣ, имѣется еще третья, спо-

¹⁾ *E. v. Fedorow. Ueber die Anwendung des Dreispitzzirkels für krystallographische Zwecke. Z. f. Kr. 37, 138.*

собная вращаться около двухъ взаимно перпендикулярныхъ осей, такъ что этимъ циркулемъ могутъ быть отмѣчены любыя три точки, находящіяся на сѣткѣ.

Для болѣе удобнаго совмѣщенія съ этими точками ножки циркуля дѣлаются составными и могутъ измѣнять свою длину.

Измѣреніе такимъ циркулемъ угла между двумя точками основывается на слѣдующемъ.

Очевидно, если данныя точки лежатъ на одномъ меридіанѣ экваторіальностереографической системы сѣтки, то уголъ между ними отсчитывается непосредственно по параллелямъ, нормальнымъ указанному меридіану. Съ другой стороны, этотъ уголъ останется безъ измѣненія, если перемѣстить точки такимъ образомъ, чтобы не измѣнились ни ихъ взаимное расположеніе, ни разстояніе ихъ отъ центра сѣтки. Поэтому, если одну ножку циркуля поставить въ центръ сѣтки, а двѣ другія совмѣстить съ данными точками, то при вращеніи циркуля около центральной ножки эти точки будутъ перемѣщаться согласно послѣднему условію. Поставивши ихъ на одинъ меридіанъ, мы сразу опредѣлимъ искомый уголъ. Такъ на таблицѣ VI точки L и T перемѣщены циркулемъ въ положеніе L_1 и T_1 , и уголъ между ними найденъ равнымъ 32° .

При помощи этого циркуля можно найти также полюсь дуги большаго круга, проходящей черезъ данныя точки. Для этого мы перемѣщаемъ эти точки на одинъ меридіанъ, ищемъ на діаметрѣ, перпендикулярномъ этому меридіану, полюсь дуги послѣдняго, переставляемъ затѣмъ третью ножку циркуля въ этотъ полюсь и, наконецъ, переносимъ весь циркуль осторожно въ положеніе, при которомъ первыя ножки совмѣстятся съ данными точками. Тогда третья ножка циркуля укажетъ полюсь искомой дуги, послѣ чего легко построить и послѣднюю.

На таблицѣ полюсь дуги меридіана, проходящаго черезъ точки L_1 и T_1 представляетъ точка P_1 , которая послѣ перестановки циркуля займетъ положеніе искомаго полюса P .

§ 14. Задача 7. Найти геометрическое мѣсто точекъ, отстоящихъ отъ данной точки на одинаковое число градусовъ (таблица VI).

Очевидно, данная точка представляетъ проекцію центра окружности, проведенной на сферѣ надлежащимъ образомъ. Выше было показано (§ 6), что эта проекція не совпадаетъ съ геометрическимъ центромъ проекціи окружности, но вмѣстѣ съ послѣднимъ находится въ одной меридіанальной плоскости. Такъ какъ эта плоскость изображается на сѣткѣ діаметромъ, то геометрической центръ искомой окружности долженъ лежать на діаметрѣ, проведенномъ черезъ данную точку.

Откладывая отъ послѣдней при помощи полярныхъ параллелей или стереографической линейки требуемое число градусовъ, мы получимъ на діаметрѣ двѣ противоположныя точки окружности, а раздѣливши пополамъ линейное разстояніе между этими точками, находимъ геоме-

трической центръ искомой окружности. Такъ, на таблицѣ геометрическое мѣсто точекъ, отстоящихъ отъ данной точки S на 40° , представляетъ окружность съ центромъ въ точкѣ R .

При описанномъ построеніи иногда не хватаетъ и стереографической линейки для того, чтобы найти одну изъ діаметрально противоположныхъ точекъ окружности. Въ этомъ случаѣ нужно прибѣгнуть къ построению, основанному на задачѣ 2-ой. Принимая діаметръ, проходящій черезъ данную точку, за меридіанальную плоскость, проектируемъ изъ полюса послѣдней эту точку на окружность сѣтки, гдѣ откладываемъ въ ту или другую сторону заданное число градусовъ. Соединяя затѣмъ полученное дѣленіе окружности сѣтки съ полюсомъ, мы находимъ въ пересѣченіи проведенной прямой съ діаметромъ искомую точку окружности.

§ 15. Примѣненіе прозрачныхъ стереографическихъ сѣтокъ.

Устройство сѣтки изъ трехъ стереографическихъ системъ, примѣненіе круговой и стереографической линейки и трехногого циркуля весьма упрощаютъ всѣ построенія съ стереографическими проекціями. Но иногда и этого бываетъ недостаточно; на примѣръ, почти невозможно измѣрить при помощи трехногого циркуля уголъ между двумя точками, лежащими близко къ концамъ одного діаметра. Такіе частные случаи построеній могутъ быть съ удобствомъ выполнены при помощи дополнительной стереографической сѣтки, нанесенной на прозрачной бумагѣ. Такія сѣтки, между прочимъ, приложены къ каждому экземпляру книгъ Е. С. Федорова „Основаніе петрографіи“ и „Кристаллографія“, и раньше вообще употреблялись при работахъ на универсальномъ столикѣ. Если прозрачную сѣтку наложить на рабочую сѣтку такъ, чтобы центры ихъ совпали, то при вращеніи первой всегда можно, на примѣръ, расположить данныя двѣ точки по одному меридіану этой сѣтки и такимъ образомъ сразу отсчитать уголъ между ними по экваторіальнымъ параллелямъ. Эта мысль—пользоваться двумя сѣтками, изъ которыхъ одна служитъ въ качествѣ шаблона, была высказана еще творцомъ метода, который спроектировалъ особую чертежную доску, позволяющую дѣлать всѣ построенія безъ какихъ-либо вспомогательныхъ принадлежностей.

Въ центральной части этой доски¹⁾ наравнѣ съ верхней поверхностью послѣдней находится свѣтлокрашенный вращающійся кругъ съ нанесенной на немъ черными линиями стереографической сѣткой обыкновеннаго размѣра (фиг. 15). Въ качествѣ рабочей примѣняется прозрачная сѣтка, которая накладывается на кругъ такъ, чтобы центры ихъ совпали, и при помощи кусочковъ воска прикрѣпляется къ самой доскѣ.

¹⁾ *E. v. Fedorow. Universalmethode und Feldspathstudien III. Z. f. Kr. 29, 1898. s. 619.*

Вращая нижній кругъ, можно поставить его въ такое положеніе, чтобы точки, помѣченныя на верхней сѣткѣ, помѣстились на одномъ меридіанѣ или діаметрѣ сѣтки круга или вообще размѣстились симметрично относительно нулевыхъ діаметровъ послѣдняго.

При такомъ положеніи очень легко не только производить различныя построенія надъ углами, но проводить и дуги большихъ круговъ—отъ руки.

Нужно сказать, что вмѣсто прозрачной сѣтки можно съ тѣмъ же успѣхомъ примѣнять простую кальку или восковку.

Конечно, этотъ способъ графическихъ рѣшеній вопросовъ универсально-оптического изслѣдованія менѣе точенъ, чѣмъ предыдущіе, такъ какъ не всегда центры сѣтокъ достаточно хорошо совмѣщаются, да и верхняя прозрачная сѣтка неминуемо будетъ коробиться въ разныхъ мѣстахъ. Тѣмъ не менѣе онъ обладаетъ точностью, вполне достаточною для обыкновенныхъ петрографическихъ работъ, и нужно только удивляться, почему о немъ почти нигдѣ не упоминается, а въ каталогахъ фирмъ, изготовляющихъ оптическіе приборы и принадлежности къ нимъ, нѣтъ указаній на счетъ описанной чертежной доски, схематической чертежъ которой сдѣланъ лишь на основаніи краткаго описанія Е. С. Федорова.

§ 16. Полусфера В. В. Никитина ¹⁾.

Первой стадіей при графическомъ изображеніи результатовъ измѣреній на Федоровскомъ столикѣ является проектированіе на сферу. Выше уже было указано, что это достигается примѣненіемъ фарфороваго полушарія Никитина.

На поверхности этого полушарія (фотогр. таблицы I) нарисована градусная сѣть черезъ 10° , а служащее основаніемъ металлическое кольцо раздѣлено на 360° .

При рѣшеніи задачъ на различныя построенія въ стереографической проекціи мы видѣли, что всегда почти приходится имѣть дѣло съ двумя перпендикулярными другъ къ другу плоскостями и направленіями.

На полусферѣ эти плоскости находятъ себѣ реальное выраженіе въ видѣ двухъ металлическихъ дугъ, которыя укрѣплены на горизонтальномъ кольцѣ, окаймляющемъ основаніе полусферы, и вмѣстѣ съ нимъ могутъ вращаться около вертикальной оси.

Одна изъ этихъ дугъ можетъ наклоняться до горизонтальнаго положенія, скользя вдоль перпендикулярной къ ней неподвижной дуги. Обѣ дуги несутъ на себѣ дѣленія отъ 0° до 90° въ обѣ стороны.

Разсмотримъ теперь, какъ рѣшаются на этомъ приборѣ вышеперечисленныя задачи.

¹⁾ В. В. Никитинъ. Нѣкоторые новыя приборы etc. Зап. Горн. Инст-та. I, 1907, 50.

Чтобы прочертить дугу большого круга, нужно совмѣстить основаніе подвижной металлической дуги съ соотвѣтствующимъ дѣленіемъ 10-ризонгальнаго лимба, играющаго роль окружности стереографической сѣтки, и, наклонивши эту дугу на опредѣленный уголъ, прочертить вдоль нея требуемую проекцію плоскости. Полюсъ послѣдней будетъ находиться у ребра неподвижной дуги и сразу можетъ быть отмѣченъ известнымъ намъ образомъ.

При этомъ построеніи нужно имѣть въ виду, чтобы ребра обѣихъ дугъ, вдоль которыхъ дѣлаются на сферѣ отмѣтки, были перпендикулярны другъ къ другу, что легко опредѣлить по слѣду ихъ на горизонтальномъ лимбѣ. Обыкновенно ребра дугъ, вдоль которыхъ нанесены градусныя дѣленія, удовлетворяютъ этому условію.

Отложить какой-нибудь уголъ на данной дугѣ большого круга чрезвычайно просто: для этого нужно только совмѣстить съ этой дугой подвижную металлическую дугу, и находящіяся на послѣдней градусныя дѣленія дадутъ возможность сразу отмѣтить требуемый уголъ.

Такимъ же точно образомъ можно раздѣлить данный уголъ въ требуемомъ отношеніи, провести дугу большого круга черезъ двѣ данныя точки и измѣрить уголъ между послѣдними.

И послѣдняя задача, касающаяся проведенія дугъ малаго круга около данной точки, рѣшается на полусферѣ очень просто, такъ какъ эта точка будетъ служить и геометрическимъ центромъ дуги. Для удобства проведенія окружностей Е. С. Федоровъ добавилъ къ полусферѣ особую площадку съ углубленіемъ для ножки циркуля; эта площадка можетъ передвигаться по неподвижной дугѣ и закрѣпляться на ней въ любомъ положеніи, соотвѣтствующемъ центру окружности.

Итакъ, всѣ построенія на полусферѣ дѣлаются гораздо проще и несравненно скорѣе, чѣмъ на стереографической сѣткѣ, но зато они являются менѣе точными вслѣдствіе грубости прибора и кромѣ того по самому существу способа проектированія не могутъ быть зафиксированы. Этими обстоятельствами опредѣляются и тѣ условія, при которыхъ полусфера можетъ найти себѣ примѣненіе.

Въ заключеніе нужно замѣтить, что линіи на фарфорѣ полусферы должны прочерчиваться только карандашомъ, и что уничтоженіе слѣдовъ не нужныхъ уже построеній производится мягкой тряпкой, увлажненной вазелиномъ.

Г л а в а III.

Основные приемы работы на Федоровскомъ столикѣ.

Перейдемъ теперь къ описанію самихъ работъ на Федоровскомъ столикѣ.

Какъ было указано ранѣе, сущность основныхъ приемовъ этихъ работъ сводится къ совмѣщенію съ плоскостью симметріи микроскопа опредѣленныхъ плоскостей и направленій, наблюдаемыхъ въ изслѣдуемомъ минералѣ. Изъ нихъ наибольшее значеніе имѣютъ плоскости осей упругости и оптическія оси, ибо послѣднія могутъ быть наблюдаемы въ любомъ зернѣ и кромѣ того, занимая вполне опредѣленное для каждаго минеральнаго вида положеніе относительно его кристаллографическихъ осей, являются наиболѣе важными оптическими элементами.

Поэтому основные приемы работы на Федоровскомъ столикѣ будутъ заключаться въ опредѣленіи положенія главнымъ образомъ плоскостей упругости и оптическихъ осей. Въ дальнѣйшемъ изложеніе этихъ приемовъ будетъ связано съ изученіемъ двуосныхъ минераловъ, такъ какъ послѣдніе представляютъ наиболѣе общій случай.

§ 17. Основы кристаллооптики двуосныхъ минераловъ.

Кристаллооптика двуосныхъ минераловъ является вообще довольно сложной. Между тѣмъ, при пользованіи универсальнымъ методомъ, не смотря на важность получаемыхъ результатовъ, всѣ представленія объ оптическихъ явленіяхъ могутъ быть значительно упрощены и, такъ сказать, схематизированы.

Если изобразить всевозможныя направленія въ двуосномъ минералѣ выходящими изъ одной точки, то геометрическое мѣсто концовъ радиусовъ-векторовъ, обозначающихъ большую часть величинъ, характеризующихъ распространеніе свѣтовой энергіи, представитъ эллипсоидъ о трехъ взаимно перпендикулярныхъ осяхъ.

Френель, создавшій теорію свѣта, какъ движенія частичекъ эфира, положилъ въ основаніе построенія такого эллипсоида упругость эфира. Эта величина, не смотря на свой болѣе или менѣе отвлеченный характеръ, является наиболѣе подходящей для указанной цѣли, потому что, согласно теоріи, она измѣряется въ плоскости, перпендикулярной направленію распространенія свѣта, т.-е. въ плоскости, въ которой колеблются частички эфира, а этимъ избѣгается возможность какихъ-либо недоразумѣній. Дѣйствительно, данная упругость эфира по направленію AB (фиг. 16) вполне характеризуетъ перпендикулярный къ послѣднему лучу OC . Если-бы, наоборотъ, мы задались какой-нибудь величиною, относящеюся къ самому лучу OC , на примѣръ, скоростью свѣта или показателемъ преломленія, то оставалось бы неяснымъ, по какому направленію, лежащему въ плоскости ADB , происходитъ колебаніе эфира.

Итакъ, въ основаніе всѣхъ кристаллооптическихъ представленій кладется Френелевскій эллипсоидъ, въ которомъ взаимно перпендикуляр-

ныя главныя оси наименьшей, средней и наибольшей упругости обозначаются соотвѣтственно черезъ α , β , γ ¹⁾, причемъ три плоскости, проходящія черезъ каждыя двѣ изъ этихъ осей называются главными плоскостями упругости или главными сѣченіями кристалла. Въ универсально-оптическомъ методѣ принято, впрочемъ, называть главныя оси эллипсоида по соотвѣтствующему показателю преломленія лучей, совпадающихъ съ этими осями.

При такомъ обозначеніи осей черезъ n_p (малая), n_m (средняя) и n_g (большая) видъ эллипсоида не мѣняется. Дѣйствительно, показатель преломленія, какъ извѣстно, обратно пропорціоналенъ скорости свѣта, а послѣдняя по формулѣ $v = \sqrt{\frac{e}{d}}$ прямо пропорціональна упругости эфира по направленію колебаній; такимъ образомъ показатель преломленія луча обратно пропорціоналенъ упругости эфира, измѣряемой по направленію, перпендикулярному къ этому лучу. Положимъ теперь, что лучъ распространяется по OB (фиг. 17). Колебанія эфира будутъ происходить въ плоскости $CDFE$, въ которой лежатъ оси наименьшей и средней упругости; слѣдовательно, по предыдущему, показатель преломленія одного изъ лучей, совпадающихъ съ данной осью, будетъ наибольшій. Поэтому ось наибольшей упругости γ и наибольшаго показателя преломленія n_g совпадаютъ. Съ тѣмъ же ограниченіемъ можно показать, что оси α и β отвѣчаютъ осямъ n_p и n_m .

Эллипсоидъ упругости даетъ возможность просто объяснить все явленія, происходящія въ двѣосномъ кристаллѣ.

Возьмемъ сѣченіе минерала, нормальное къ входящему въ послѣдній лучу свѣта. Это сѣченіе, отнесенное къ Френелевскому эллипсоиду, будетъ представлять въ общемъ случаѣ эллипсъ, радіусы—векторы котораго обозначаютъ упругость эфира по соотвѣтствующимъ направленіямъ. Такимъ образомъ лучъ, вошедшій въ кристаллъ, долженъ колебаться въ плоскости, характеризуемой неравномѣрнымъ напряженіемъ эфира по различнымъ направленіямъ.

Какъ показываютъ наблюденія, колебанія лучей могутъ происходить только по направленію осей эллипса, такъ что, если направленіе колебаній входящаго луча не совпадаетъ съ какой-нибудь изъ указанныхъ осей, то этотъ лучъ начинаетъ колебаться сразу по обѣимъ осямъ, разбиваясь такимъ образомъ на два луча, поляризованные во взаимно перпендикулярныхъ плоскостяхъ и обладающіе различною скоростью и различнымъ преломленіемъ въ виду различной упругости эфира по направленію колебаній этихъ лучей.

Таковы условія во всѣхъ сѣченіяхъ минерала кромѣ двухъ, соотвѣтствующихъ круговымъ сѣченіямъ Френелевскаго эллипсоида. Эти круговыя сѣченія проходятъ, конечно, черезъ среднюю главную ось эллипсоида n_m и наклонены подъ одинаковыми углами къ главному сѣченію по-

¹⁾ или соотвѣтствующими буквами нѣмецкаго алфавита.

слѣднѣяго, заключающему ту же ось. Такъ какъ радіусы-векторы этихъ свѣченій одинаковы, то, не обращая вниманія на нѣкоторыя второстепенныя обстоятельства, мы можемъ принять, что лучъ свѣта, нормальный къ круговому свѣченію, не испытываетъ при прохожденіи черезъ минераль никакаго измѣненія, и что послѣдній по указаннымъ двумъ направлѣніямъ относится, какъ совершенно изотропная среда. Эти особыя направлѣнія, называемыя оптическими осями, лежатъ, конечно, въ плоскости, опредѣляемой осями n_d и n_p , или, какъ будемъ говорить далѣе, въ плоскости $n_d n_p$, причемъ послѣднія являются биссектрисами угловъ между оптическими осями. Когда биссектрисою острого угла, обозначаемого черезъ $2V$, является ось n_z , то минераль называется положительнымъ, при острой же биссектрисѣ n_z онъ считается отрицательнымъ.

Итакъ, вспомнивши главныя основанія кристаллооптики, вернемся къ опредѣленію положенія плоскостей упругости.

§ 18. Установка плоскостей упругости.

Въ обыкновенномъ поляризаціонномъ микроскопѣ проходящій параллельный свѣтъ всегда перпендикуляренъ къ плоскости шлифа, въ которой и будутъ происходить колебанія лучей, причемъ эти колебанія будутъ совпадать съ осями эллипса упругости, соответствующаго свѣченію шлифа. Когда одна изъ этихъ осей при вращеніи столика микроскопа совмѣстится съ главнымъ свѣченіемъ поляризатора, то лучъ свѣта, поляризованный въ плоскости послѣднѣяго, проходитъ черезъ минераль безъ измѣненія направлѣнія своихъ колебаній и погасится въ поставленномъ перпендикулярно къ поляризатору анализаторѣ.

Такимъ образомъ положеніе осей эллипса упругости въ свѣченіи шлифа опредѣляется угломъ погасанія, отнесеннымъ къ какому нибудь кристаллографическому элементу, напримѣръ, къ слѣду трещинки спайности. Но оси эллипса произвольнаго свѣченія не параллельны главнымъ осямъ упругости, положеніе которыхъ только и является характернымъ для даннаго минерала; поэтому для полученія необходимыхъ результатовъ оптическаго изслѣдованія нужно или выбирать опредѣленныя свѣченія и по нимъ готовить шлифы или обратиться къ помощи универсальнаго столика, къ которому мы и переходимъ.

При вращеніи около осей J и H столика лучъ свѣта встрѣчаетъ нормально все новыя и новыя свѣченія минерала, въ которыхъ оси эллипса упругости занимаютъ вообще различное положеніе, почему и углы погасаній будутъ неодинаковыми для различныхъ свѣченій, что и отмѣчается по одному изъ горизонтальныхъ лимбовъ.

Но если мы установимъ зерно изслѣдуемаго минерала такъ, чтобы одна изъ главныхъ осей упругости совмѣстилось съ осью столика J , которая, какъ извѣстно, ставится перпендикулярно къ плоскости симметріи микроскопа, то при вращеніи прибора около этой оси J оси эллипса каждаго свѣченія минерала будутъ совпадать съ главными свѣченіями \times николей, почему все время будетъ наблюдаться темнота. Отсюда можно вывести и обратное заключеніе: если при вращеніи около оси J препа-

рата, установленнаго подходящимъ образомъ, \times николи будутъ давать постоянное затемнѣніе, то одна изъ главныхъ осей упругости минерала совмѣщена съ осью столика J , а перпендикулярная къ ней плоскость упругости совпадаетъ съ плоскостью симметріи микроскопа, что собственно и требуется опредѣлить.

Итакъ, нами найденъ способъ различенія главныхъ плоскостей упругости минерала: для этого нужно только придавать различныя положенія внутреннему кругу столика, на которомъ находится изслѣдуемый препаратъ, и пробовать ихъ на постоянное погасаніе вращеніемъ около оси J .

Такое положеніе препарата, по крайней мѣрѣ при опредѣленіи первой плоскости осей упругости, находится, такъ сказать, ощупью; можно только пользоваться нѣкоторыми практическими приемами, при помощи которыхъ эти поиски требуютъ затраты наименьшаго количества времени.

Съ послѣдней цѣлью можно поступать слѣдующимъ образомъ.

При помощи оси J отклоняемъ отъ себя препаратъ на возможно большій уголъ и, вращая внутренній кругъ за винтики сегмента около оси N , приводимъ изслѣдуемое зерно въ положеніе затемнѣнія. Затѣмъ поворачиваемъ столикъ около той же оси J къ себѣ въ другое возможное крайнее положеніе и, такъ какъ въ общемъ случаѣ наступитъ просвѣтленіе зерна, достигаемъ темноты наклоненіемъ препарата уже около оси H . Этимъ приемомъ мы дѣлаемъ первое приближеніе къ тому, чтобы привести главныя оси искомой плоскости упругости въ положеніе, болѣе или менѣе параллельное плоскости симметріи микроскопа. Иногда затемнѣніе получается болѣе совершеннымъ, если наклонять препаратъ около оси H при поворачиваніи столика отъ себя и вращать внутренній кругъ въ его плоскости при другомъ крайнемъ положеніи столика.

Повторяя тотъ или другой приемъ нѣсколько разъ, мы, наконецъ, добиваемся постояннаго затемнѣнія, и это происходитъ тѣмъ скорѣе, чѣмъ ближе оси эллипса сѣченія шлифа расположены къ главнымъ плоскостямъ упругости. Обыкновенно достаточно 3—4 повтореній, чтобы достигнуть желательнаго результата, и вся процедура уже при небольшомъ навыкѣ отнимаетъ 2—3 минуты, а то и меньше, и только въ случаѣ требованія особенной точности наблюденія или при изслѣдованіи не очень свѣжаго или неправильно построеннаго минерала приходится затрачивать болѣе значительное количество времени.

§ 19. Способы опредѣленія полноты погасанія препарата.

Точность установки плоскости осей упругости или вообще установки на темноту зависитъ отъ того, насколько совершенно глазъ наблюдателя можетъ улавливать оттѣнки погасанія, и въ этомъ заключается до нѣкоторой степени слабая сторона метода. Обыкновенно съ теченіемъ

времени отъ упражненій наблюдатель достигаетъ извѣстнаго совершенства въ этомъ отношеніи, но лучше прибѣгать къ какимъ-нибудь вспомогательнымъ мѣрамъ. Такъ, прежде всего лучше производить наблюденія при сильномъ источникѣ свѣта: съ этою цѣлью можно пользоваться обыкновенной электрической лампочкой. Затѣмъ можно употреблять различные ставроскопы. Среди послѣднихъ легче всего достать гипсовую пластинку, дающую при \times николяхъ чувствительный фіолетовый цвѣтъ 1-го порядка, если вдвинуть ее въ отверстие трубы микроскопа, находящееся между николями. Этотъ чувствительный фіолетовый цвѣтъ получается въ присутствіи двоякопреломляющаго минерала лишь въ томъ случаѣ, когда послѣдній совершенно затемненъ. Впрочемъ, не всякій глазъ воспріимчивъ къ этому отбѣнку, такъ что примѣненіе гипсовой пластики очень часто не даетъ надежныхъ результатовъ. Больше помогаютъ ставроскопы, основанные на принципѣ сличенія; сюда относятся пластинка Брезина, двойная пластинка Кальдерона, пластинка Бертрана, двойная пластинка Бравэ, микродихроскопъ Федорова, пластинка Stöber'a и др. Изъ нихъ мы остановимся на пластинкѣ Stöber'a, упоминаемой въ литературѣ по Федоровскому методу¹⁾. Эта пластинка выпиливается изъ кварца параллельно его оптической оси и состоитъ изъ двухъ совершенно симметричныхъ частей, оси которыхъ образуютъ прямой уголъ (фиг. 18). Пластинка помѣщается въ фокусѣ обыкновеннаго окуляра такъ, чтобы шовъ былъ совмѣщенъ съ вертикальною нитью креста. При такомъ устройствѣ оптическія оси обѣихъ частей пластинки образуютъ съ плоскостью симметріи микроскопа одинаковые углы. Поэтому, если ставроскопъ находится между \times николями, то обѣ части его окрашиваются въ одинаковый интерференціонный цвѣтъ, зависящій отъ толщины пластинки. Та-же картина получается и въ томъ случаѣ, если препаратъ, лежащій на столикѣ микроскопа, находится въ положеніи полного угасанія. Но стоитъ препарату выйти хотя немного изъ этого положенія, какъ образуется извѣстная разность хода лучей, которая въ одной части ставроскопа еще больше повысится, а въ другой понизится на ту же величину, благодаря чему получится довольно значительная разница въ окраскѣ этихъ частей, легко улавливаемая глазомъ.

При употребленіи этого прибора нужно помнить, что онъ дѣйствуетъ только при накладномъ анализаторѣ.

Итакъ, пластинка Stöber'a можетъ очень хорошо помочь при установкѣ изслѣдуемаго зерна на темноту, но, къ сожалѣнію, чрезвычайно трудно бываетъ приготовить ее такъ, чтобы обѣ ея части были совершенно одинаковы, а безъ этого условія она уже теряетъ свое значеніе.

Конструированная недавно F. Wright'омъ²⁾ „двойная кварцевая пластинка“ также обладаетъ хорошей чувствительностью, не зависящей

¹⁾ F. Stöber. Ueber die empfindliche Quarz Doppelplatte. Z. f. Kr. 29, 1898; s. 22.

²⁾ F. Wright. On the measurement of extinction angles in the thin sections. Am. Journ. of Sc. 26, 1908; 349.

времени отъ упражненій наблюдатель достигаетъ извѣстнаго совершенства въ этомъ отношеніи, но лучше прибѣгать къ какимъ-нибудь вспомогательнымъ мѣрамъ. Такъ, прежде всего лучше производить наблюденія при сильномъ источникѣ свѣта: съ этою цѣлью можно пользоваться обыкновенной электрической лампочкой. Затѣмъ можно употреблять различные ставроскопы. Среди послѣднихъ легче всего достать гипсовую пластинку, дающую при \times николяхъ чувствительный фіолетовый цвѣтъ 1-го порядка, если вдвинуть ее въ отверстие трубы микроскопа, находящееся между николями. Этотъ чувствительный фіолетовый цвѣтъ получается въ присутствіи двоякопреломляющаго минерала лишь въ томъ случаѣ, когда послѣдній совершенно затемненъ. Впрочемъ, не всякій глазъ воспріимчивъ къ этому оттѣнку, такъ что примѣненіе гипсовой пластики очень часто не даетъ надежныхъ результатовъ. Больше помогаютъ ставроскопы, основанные на принципѣ сличенія; сюда относятся пластинка Брезина, двойная пластинка Кальдерона, пластинка Бертрана, двойная пластинка Бравэ, микродихроскопъ Федорова, пластинка Stöber'a и др. Изъ нихъ мы остановимся на пластинкѣ Stöber'a, упоминаемой въ литературѣ по Федоровскому методу ¹⁾. Эта пластинка выцѣливается изъ кварца параллельно его оптической оси и состоитъ изъ двухъ совершенно симметричныхъ частей, оси которыхъ образуютъ прямой уголъ (фиг. 18). Пластинка помещается въ фокусъ обыкновеннаго окуляра такъ, чтобы шовъ былъ совмѣщенъ съ вертикальною нитью креста. При такомъ устройствѣ оптическія оси обѣихъ частей пластинки образуютъ съ плоскостью симметріи микроскопа одинаковые углы. Поэтому, если ставроскопъ находится между \times николями, то обѣ части его окрашиваются въ одинаковый интерференціонный цвѣтъ, зависящій отъ толщины пластинки. Та-же картина получается и въ томъ случаѣ, если препаратъ, лежащій на столикѣ микроскопа, находится въ положеніи полнаго угасанія. Но стоитъ препарату выйти хотя немного изъ этого положенія, какъ образуется извѣстная разность хода лучей, которая въ одной части ставроскопа еще больше повысится, а въ другой понизится на ту же величину, благодаря чему получится довольно значительная разница въ окраскѣ этихъ частей, легко улавливаемая глазомъ.

При употребленіи этого прибора нужно помнить, что онъ дѣйствуетъ только при накладномъ анализаторѣ.

Итакъ, пластинка Stöber'a можетъ очень хорошо помочь при установкѣ изслѣдуемаго зерна на темноту, но, къ сожалѣнію, чрезвычайно трудно бываетъ приготовить ее такъ, чтобы обѣ ея части были совершенно одинаковы, а безъ этого условія она уже теряетъ свое значеніе.

Конструированная недавно F. Wright'омъ ²⁾ „двойная кварцевая пластинка“ также обладаетъ хорошей чувствительностью, не зависящей

¹⁾ F. Stöber. Ueber die empfindliche Quarzdoopelplatte. Z. f. Kr. 29, 1898; s. 22.

²⁾ F. Wright. On the measurement of extinction angles in the thin sections. Am. Journ. of Sc. 26, 1908; 349.

при томъ отъ точности изготовленія отдѣльныхъ частей этого ставроскопа. Послѣдній состоитъ изъ двухъ пластинокъ и двухъ клиньевъ, выпиленныхъ изъ право- и лѣвовращающаго кварца.

Оптическія оси отдѣльныхъ частей прибора совпадаютъ и нормальны поверхности ставроскопа, имѣющаго форму обыкновеннаго пластинчататаго прибора этого рода. Какъ бы неправильны ни были притнаны другъ къ другу отдѣльныя пластинки ставроскопа, всегда найдется сѣченіе послѣдняго, въ которомъ толщина отдѣльныхъ пластинокъ разнаго знака вращенія будетъ одинаковая. Этимъ сѣченіемъ ставроскопъ раздѣляется на двѣ части, которыя при \times николяхъ окрасятся въ одинаковый интерференціонный цвѣтъ только въ томъ случаѣ, если поле зрѣнія микроскопа совершенно затемнѣно. Если испытанія покажутъ, что данная двойная пластинка не имѣетъ какихъ-нибудь особенныхъ недостатковъ, то примѣненіе ея окажетъ большую услугу при работѣ на Федоровскомъ столикѣ.

Какъ бы то ни было, при установкѣ плоскости осей упругости приходится обыкновенно слѣдить за оттѣнками большаго потемнѣнія, что повѣряется незначительными поворотами вокругъ той или другой оси около этого средняго положенія. Наиболѣе надежные результаты получаются, если взять среднее арифметическое изъ нѣсколькихъ опредѣленій. Для этого необходимо записывать координаты находимой плоскости при каждомъ опредѣленіи ея положенія. Запись эта ведется на поляхъ той же стереографической сѣтки, на которой наносятся результаты наблюдений, къ чему мы теперь и перейдемъ.

§ 20. Вычерчиваніе проекціи плоскостей упругости.

Выше было указано, что за картинную плоскость проекціи, или за плоскость чертежа, принимается плоскость сѣченія шлифа, и что положеніе всякой плоскости, наблюдаемой въ минералѣ, опредѣляется двумя координатами. Одна изъ этихъ координатъ представляетъ уголъ, который образуетъ прямая, общая данной плоскости и плоскости шлифа, съ нѣкоторой начальной прямой, лежащей въ послѣдней. Если за начальную прямую принять ту, которая совмѣщается съ осью H , когда черта—индексъ указываетъ на ноль внутренняго лимба, то отсчетъ, сдѣланный на послѣднемъ при установкѣ плоскости, дастъ прямо указанную координату послѣдней.

Обратимся къ примѣру. По записи на поляхъ таблицы VII мы видимъ, что по нѣсколькимъ опредѣленіямъ отсчетъ на внутреннемъ лимбѣ для 1-ой плоскости далъ координату: 253° .

Для нанесенія этой координаты на сѣтку принимаемъ, что начальная прямая совмѣщена съ вертикальнымъ діаметромъ сѣтки, и ноль лимба соответствуетъ нижнему полю послѣдней. Чтобы найти плоскость, мы должны были повернуть внутренній кругъ изъ начальнаго положенія

на прочитанный на лимбѣ уголъ по ходу часовой стрѣлки¹⁾); чтобы найти соотвѣтствующее положеніе прямой, опредѣляющей данную координату, на сѣткѣ, нужно отсчитать то же число градусовъ по окружности послѣдней, конечно, въ обратномъ направленіи, и полученная на этой окружности точка *D* будетъ концомъ, или—какъ говорятъ—полусомъ вышеозначенной прямой, обращеннымъ къ наблюдателю. Такъ какъ эта прямая лежитъ въ плоскости шлифа, т.-е. въ плоскости бумаги, то дуга, представляющая въ проекціи искомую плоскость, должна опираться на діаметръ, проведенный черезъ полученную точку.

Наклонъ дуги опредѣляется второй координатой, представляющей уголъ отклоненія препарата отъ первоначальнаго горизонтальнаго положенія при наклоненіи около оси *H*. Онъ, очевидно, равенъ углу, на который нужно было повернуть искомую плоскость около этой оси, чтобы совмѣстить её съ плоскостью симметріи микроскопа. Этотъ уголъ находитъ свое реальное выраженіе въ приборѣ, представляя уголъ, образуемый поверхностью внутренняго круга, на которомъ лежитъ шлифъ, и поверхностью наружнаго кольца *R*, которая при начальномъ положеніи совпадаетъ съ первой. Поэтому онъ можетъ быть легко и быстро опредѣленъ по способу В. В. Никитина, описанному раяѣ. Для этого, ослабивъ винтъ *r*, мы поворачиваемъ на 90° наружное кольцо въ такую сторону, чтобы двугранный уголъ былъ обращенъ отверстіемъ къ наблюдателю. Затѣмъ поворачиваемъ столикъ отъ себя и, вдвинувъ въ трубку линзу Бертрана, совмѣщаемъ блестящій край внутренняго круга съ горизонтальной нитью окулярнаго креста, замѣчая показаніе нониуса на вертикальномъ лимбѣ. Совмѣщать съ той-же нитью креста вторую сторону двуграннаго угла, т.-е. блестящій край наружнаго кольца, нѣтъ надобности, такъ какъ эта сторона остается постоянной при всѣхъ измѣреніяхъ, и показаніе на вертикальномъ кругѣ, соотвѣтствующее этому совмѣщенію, съ извѣстной поправкой является константой даннаго прибора. Вычитая первый отсчетъ изъ послѣдняго, мы и получимъ величину угла наклона искомой плоскости къ плоскости симметріи микроскопа.

Въ приведенномъ примѣрѣ наклонъ первой плоскости по нѣсколькимъ опредѣленіямъ былъ найденъ равнымъ 24°. Чтобы привести эту плоскость въ вертикальное положеніе, нужно было наклонить внутренній кругъ *вправо*; слѣдовательно, на сѣткѣ дуга, представляющая проекцію плоскости, отнесенную къ начальному положенію шлифа, должна быть наклонена на то же число градусовъ *влево*, что и отмѣчается на поляхъ сѣтки въ соотвѣтствующемъ мѣстѣ.

Выше мы видѣли, что полученная координата равна величинѣ двуграннаго угла, образуемаго устанавливаемой плоскостью упругости и плоскостью симметріи микроскопа. Но двугранный уголъ измѣряется

1) Согласно принятому способу отсчитыванія долготы, внутренній лимбъ размѣченъ по ходу часовой стрѣлки.

линейнымъ угломъ, плоскость котораго перпендикулярна ребру перваго угла. Въ данномъ случаѣ ребромъ двуграннаго угла является диаметръ DE , а плоскость, перпендикулярная къ нему, изобразится диаметромъ GH . Такимъ образомъ, чтобы получить проекцію стороны линейнаго угла, лежащей въ устанавливаемой плоскости упругости, нужно отложить вдоль послѣдняго диаметра отъ центра сѣтки 24° влѣво, держа сѣтку къ себѣ концомъ D диаметра DE . Полученная точка C будетъ лежать на искомой дугѣ.

Проведеніе дуги черезъ три точки D , E и C и нахожденіе полюса ея производится по задачамъ 1-ой и 3-ей.

Итакъ, нами найдено положеніе одной изъ трехъ главныхъ плоскостей упругости. Такъ какъ третья ось упругости перпендикулярна къ этой плоскости, то, опредѣливши послѣднюю, мы тѣмъ самымъ нашли и эту третью ось: проекціей ея будетъ полюсъ построенной дуги—точка f_1 .

Необходимо отмѣтить нѣкоторыя особенныя положенія искомымъ плоскостей. Если плоскость нормальна къ шлифу, т. е. при установленіи ея не нужно наклонять препаратъ около оси H , то на сѣткѣ проекція такой плоскости представится диаметромъ съ полюсомъ, лежащимъ на окружности сѣтки.

Очевидно, два другіе полюса осей упругости въ этомъ случаѣ будутъ находиться на проведенномъ диаметрѣ и такимъ образомъ легко могутъ быть найдены отсчетами по полярнымъ параллелямъ.

Наблюдать другое крайнее положеніе плоскости—именно, когда она совпадаетъ съ плоскостью шлифа, мы вообще не можемъ.

Если плоскость занимаетъ произвольное относительно сѣченія шлифа положеніе, то она устанавливается тѣмъ точнѣе и скорѣе, чѣмъ меньше нужно её наклонять около оси H , чтобы привести въ совмѣщеніе съ плоскостью симметріи микроскопа. Поэтому, если первая попавшаяся намъ плоскость плохо удовлетворяетъ послѣднему условію, то лучше пока оставить её и перейти къ опредѣленію какой-нибудь другой плоскости.

Получивши такъ или иначе одну плоскость осей упругости, мы переходимъ къ отыскиванію второй плоскости. Дѣлается это такъ-же, какъ и при нахожденіи первой плоскости, т. е. болѣе или менѣе ощупью. Правда, у насъ имѣется условіе, что обѣ плоскости должны быть взаимноперпендикулярны, но точно предугадать положеніе второй плоскости по имѣющейся первой нельзя, ибо намъ извѣстна лишь одна зона этихъ плоскостей, представляемая найденной осью упругости.

Можно только сказать, что въ виду перпендикулярности плоскостей дуги, изображающія ихъ на сѣткѣ, будутъ опираться на диаметры, уголъ между которыми тѣмъ болѣе приближается къ прямому, чѣмъ меньше самыя плоскости отклонены отъ вертикальнаго къ сѣченію шлифа положенія. На основаніи этого, по нахожденіи первой плоскости, мы поворачиваемъ внутренній кругъ около оси N приблизительно на 90° и тутъ начинаемъ искать вторую плоскость вышеописаннымъ образомъ.

Въ нашемъ примѣрѣ (таблица VІІ) для второй плоскости найдены координаты: 336° вправо 14° , по которымъ проекція этой плоскости изображена на сѣткѣ дугой KLM съ полюсомъ въ точкѣ f_2 .

§ 21. *Выравниваніе результатовъ измѣреній при установкѣ плоскостей упругости.*

Теперь пользуясь условіемъ перпендикулярности плоскостей, мы можемъ повѣрить правильность ихъ нахождения. Дѣйствительно, если плоскости перпендикулярны, то нормаль къ одной плоскости должна лежать въ другой, и обратно; слѣдовательно, и въ проекціи полюсъ первой дуги долженъ попасть на вторую дугу, и обратно.

Въ нашемъ примѣрѣ это условіе оказывается выполненнымъ, т. е. полюсъ f_1 лежитъ на дугѣ KLM и полюсъ f_2 находится на дугѣ CDE . Это указываетъ на то, что наблюденія были сдѣланы правильно.

Но большею частью такого точнаго совпаденія не бываетъ.

Существуетъ два главныхъ источника возникающихъ при этомъ ошибокъ: одинъ заключается въ неправильности установки изслѣдуемаго зерна на темноту, а другая—въ несоотвѣтствіи показателя преломленія минерала съ показателемъ преломленія сегментовъ или въ неправильно взятой поправкѣ на углы наклона согласно діаграммы, изображенной на фигурѣ 6-й. Впрочемъ, какъ сказано уже выше, ошибка въ опредѣленіи показателя преломленія на нѣсколько сотыхъ почти не вліяетъ на результаты измѣреній, а въ этихъ предѣлахъ данная величина всегда можетъ быть установлена, даже если природа минерала намъ не вполне известна.

Такимъ образомъ главнымъ является первый источникъ ошибокъ. Мы уже видѣли, что для лучшей установки на темноту рекомендуется пользоваться нѣкоторыми ставроскопами, но это и не вездѣ возможно и пока не всегда приводитъ къ цѣли.

Поэтому ошибки, возникающія при установкѣ плоскостей, имѣютъ субъективный характеръ и всегда будутъ встрѣчаться.

Отсюда слѣдуетъ, что для выравниванія результатовъ измѣреній приходится прибѣгать къ теоріи вѣроятностей. Но, какъ говоритъ проф. Е. С. Федоровъ¹⁾, „чтобы достигъ объективнаго выравниванія и возможности примѣнять правила теоріи вѣроятностей, нужно произвести большое число повторныхъ наблюденій, по полученнымъ результатамъ опредѣлить для каждой изъ координатъ особо вѣсь отдѣльныхъ наблюденій и изъ всего въ совокупности вывести среднее наиболѣе вѣроятное положеніе и, наконецъ, опредѣлить величину вѣроятной погрѣшности опять-таки для каждой координаты особо. Но ясно, что если задана такая исключительная точность, то уже не стоитъ даже пользоваться даннымъ методомъ, а нужно обратиться къ болѣе точнымъ, хотя это примѣнимо только въ исключительныхъ случаяхъ“.

¹⁾ Е. Федоровъ. Последніе шаги въ дѣлѣ универсально—оптическихъ изслѣдованій Зап. СІБ. Мин. О ва 40, II. стр. 242.

Итакъ, исправленіе ошибокъ можетъ производиться большею частью только субъективнымъ путемъ. Главнымъ основаніемъ для выравниванія измѣреній является точность нахождения той или другой координаты, опредѣляемая характеромъ затемнѣнія при вращенія около соотвѣтствующей оси. Полное затемнѣніе достигается тѣмъ легче, и—слѣдовательно—координата будетъ найдена тѣмъ точнѣе, чѣмъ меньше предѣлы, въ которыхъ наблюдается болѣе или менѣе одинаковая степень погасанія.

Иногда достаточно повернуть препаратъ на весьма незначительный уголъ, чтобы вывести его изъ положенія затемнѣнія; другой разъ вращеніе на цѣлые 10° не производитъ замѣтнаго измѣненія въ его отношеніи къ поляризованному свѣту. Понятно—координата, опредѣленная въ первомъ случаѣ, будетъ гораздо точнѣе, чѣмъ въ послѣднемъ.

Проф. Е. С. Федоровъ ¹⁾ рекомендуетъ отмѣчать на сѣткѣ точность координатъ слѣдующимъ образомъ. Отмѣтку нужно относить къ полюсу той дуги, координаты которой имѣются въ виду.

Въ случаѣ одинаковой чувствительности обѣихъ координатъ, на соотвѣтственномъ мѣстѣ ставится простой тонкій крестикъ, одна вѣтвь котораго совпадаетъ съ радіусомъ сѣтки, а другая перпендикулярна къ послѣднему. Если степень точности опредѣленія координатъ различна, то это отмѣчается неодинаковою толщиной вѣтвей крестика, причемъ черту по радіусу будемъ относить, положимъ, къ координатѣ, опредѣляемой вращеніемъ около оси *N*, другую-же черту— къ наклону около оси *H*. Если обѣ координаты не достаточно отчетливы, то вмѣсто крестика поставимъ кружокъ. При такомъ обозначеніи простой взглядъ на сѣтку показываетъ, что съ вѣроятностью можетъ быть измѣнено сильнѣе, и что—слабѣе.

Самое выравниваніе производится весьма различнымъ образомъ въ зависимости отъ тѣхъ комбинацій въ точности опредѣленія координатъ, которыя могутъ представиться. Такъ какъ во всѣхъ этихъ операціяхъ заключается много субъективнаго, то и нельзя точно изложить или даже перечислить приемы, которыми приходится пользоваться при этомъ.

Ниже слѣдуетъ одинъ примѣръ такого выравниванія результатовъ измѣреній. Согласно вышесказанному, положимъ, что на фигурѣ 19-ой толстая черта крестика относится къ недостаточно хорошо опредѣленной координатѣ. Очевидно, если мы увеличимъ немного наклонъ дуги, имѣющей полюсомъ точку f_1 , а дугу съ полюсомъ f_2 повернемъ въ плоскости чертежа по часовой стрѣлкѣ, то при извѣстномъ соотношеніи поправокъ полюсы улягутся на дугахъ. Остается тогда поставить препаратъ въ положенія, соотвѣтствующія исправленнымъ координатамъ, и испытать изслѣдуемое зерно на полноту затемнѣнія.

Комбинируя поправки, что при нѣкоторомъ навыкѣ не требуетъ много времени, мы приходимъ, наконецъ, къ перпендикулярности плоскостей, установленныхъ на полную темноту.

¹⁾ Ibidem, стр. 240.

Итакъ, нами найдена вторая плоскость осей упругости и перпендикулярная къ ней ось f_2 . Отыскивать третью плоскость нѣтъ надобности, такъ какъ ее очень легко построить на сѣткѣ, да и не всегда она опредѣляется съ достаточною точностью. Дѣйствительно, первыми мы ищемъ такія плоскости, которыя меньше отстоятъ отъ перпендикулярнаго къ сѣченію шлифа положенія; поэтому третья плоскость будетъ болѣе близка къ горизонтальной, и, если уголъ наклона препарата около оси H при установкѣ ея превышаетъ 60° , то ручаться за точность опредѣленія этой плоскости нельзя.

Но насъ интересуютъ, собственно говоря, не самыя плоскости, а ихъ полюсы, или оси упругости, почему мы обратимся сразу къ нахожденію третьей оси.

Такъ какъ каждая плоскость опредѣляется двумя осями упругости, то искомая ось должна находиться и въ первой и во второй найденныхъ плоскостяхъ, т. е. должна представлять линію ихъ пересѣченія.

Такимъ образомъ на сѣткѣ третья ось f_3 изображается точкой пересѣченія проведенныхъ дугъ. По найденной оси, какъ полюсъ третьей плоскости упругости, можно построить и послѣднюю, но для послѣдующихъ построеній это не необходимо.

Описанный выше способъ повѣрки правильности нахожденія плоскостей и опредѣленія третьей оси упругости можетъ быть еще болѣе сокращенъ слѣдующимъ образомъ. Нанеся на сѣтку первую плоскость и измѣривъ координаты второй плоскости, мы затѣмъ сразу отыскиваемъ діаметръ, на которомъ долженъ находиться полюсъ послѣдней, который и наносимъ. При правильной установкѣ онъ долженъ попасть на дугу, изображающую первую плоскость. Такую повѣрку можно дѣлать и на глазъ, не испещряя діаграммы лишними линіями.

Установивъ точно первую плоскость и полюсъ второй (фиг. 20), находимъ третью ось упругости, которая вмѣстѣ съ второю осью должна лежать въ первой плоскости упругости. Такъ какъ эти послѣднія оси взаимно перпендикулярны, то опредѣленіе искомой оси сводится къ рѣшенію 2-ой задачи (§ 8): на дугѣ AB отъ точки f_2 отложить 90° .

Для этого нужно изъ полюса дуги f_1 спроектировать точку f_2 на окружность сѣтки, отсчитать на послѣдней 90° и полученную точку F_2 соединить съ полюсомъ прямой, которая въ пересѣченіи съ дугой дастъ проекцію искомой оси.

§ 22. Опредѣленіе положенія плоскости оптическихъ осей.

Итакъ, мы нашли положеніе всѣхъ трехъ осей упругости. Чтобы опредѣлить относительную величину послѣднихъ, необходимо прежде всего обратиться къ испытанію найденныхъ плоскостей упругости, не имѣется ли въ которой нибудь изъ нихъ оптическихъ осей.

Послѣднія характеризуются, какъ извѣстно, тѣмъ, что по ихъ направленію лучи свѣта не испытываютъ двойнаго преломленія.

Такимъ образомъ, если съ осью микроскопа совмѣщена какая нибудь оптическая ось, то при \times николяхъ наступаетъ затмѣненіе, сохраняющееся при вращеніи столика микроскопа.

На основаніи этого испытаніе производится слѣдующимъ образомъ. Положимъ, что какая нибудь плоскость упругости совмѣщена у насъ съ плоскостью симметріи микроскопа. Эта плоскость въ данномъ положеніи заключаетъ въ себѣ, конечно, ось послѣдняго, а перпендикулярная къ ней ось упругости совпадаетъ съ осью столика J . Такъ какъ при вращеніи столика около этой оси все время наблюдается погасаніе, и нѣтъ возможности отмѣтить положеніе оптическихъ осей, если таковыя имѣются, то мы выводимъ нашу плоскость изъ положенія затемнѣнія, но такъ, чтобы ось микроскопа оставалась въ ней, для чего, ослабивъ нажимной винтъ микроскопа, поворачиваемъ столикъ послѣдняго приблизительно на 45° противъ хода часовой стрѣлки. Если теперь вращать приборъ около оси J , и въ этомъ положеніи остающейся перпендикулярной испытуемой плоскости, то всѣ направленія, лежащія въ послѣдней, послѣдовательно будутъ совмѣщаться съ осью микроскопа—и среди другихъ, конечно, оптическія оси, положеніе которыхъ будетъ отмѣчено наступившимъ затемнѣніемъ.

Все сказанное иллюстрировано схематически на фигурѣ 21-ой.

Такъ какъ при вращеніи около оси J уголъ зрѣнія— 140° , то иногда съ осью микроскопа можетъ быть совмѣщена только одна оптическая ось, на другую же ось, находящуюся за предѣлами поля зрѣнія, будетъ указывать пониженіе интерференціонныхъ цвѣтовъ при приближеніи къ ней.

Положеніе найденной оптической оси можетъ быть отмѣчено на вертикальномъ лимбѣ, но объ этомъ будетъ сказано ниже.

§ 23. Опредѣленіе осей упругости.

Только что описанное испытаніе плоскости осей упругости на нахожденіе въ ней оптическихъ осей нужно собственно дѣлать сразу вслѣдъ за установкой каждой плоскости.

Обращаясь къ нашему примѣру, мы должны отмѣтить, что въ первой найденной нами плоскости упругости оптическихъ осей не оказалось.

Во второй-же плоскости наблюдается погасаніе при двухъ положеніяхъ, соответствующихъ совмѣщенію той и другой оптической оси съ осью микроскопа. Слѣдовательно, вторая плоскость упругости есть въ то же время и плоскость оптическихъ осей, а перпендикулярная къ ней ось есть средняя ось упругости, что мы и отмѣчаемъ на сѣткѣ, обозначая точку f_2 черезъ n_m .

Чтобы узнать относительную величину двухъ другихъ осей и тѣмъ опредѣлить ихъ названіе, мы прибѣгаемъ къ помощи т. н. компараторовъ, т. е. пластинокъ изъ опредѣленнаго минерала съ извѣстнымъ расположеніемъ осей упругости.

Если наложить такую пластинку на изслѣдуемое зерно такъ, чтобы оси упругости обоихъ минеральныхъ видовъ были параллельны, то могутъ представиться два случая.

Если отношеніе параллельныхъ осей одинаково, т. е. бѣльшая ось пластинки параллельна бѣльшей оси изслѣдуемаго зерна и т. д., то наложеніе пластинки равносильно увеличенію толщины препарата, что обнаружится усиленіемъ интерференціонныхъ цвѣтовъ.

При обратномъ отношеніи параллельныхъ осей наступаетъ ослабленіе этихъ цвѣтовъ, такъ какъ лучи свѣта, получившіе при прохожденіи черезъ изслѣдуемый минералъ извѣстную разность хода, въ пластинкѣ начинаютъ измѣнять свои скорости въ обратномъ отношеніи.

Пластинка компаратора имѣетъ обыкновенно удлиненно прямоугольную форму. Она устраивается бѣльшею частью такимъ образомъ, что главные оси упругости сѣченія компаратора совпадаютъ со сторонами прямоугольника, причемъ по короткой сторонѣ направлена бѣльшая, а по длинной—меньшая оси упругости.

При опредѣленіи большинства порообразующихъ минераловъ съ небольшимъ двупреломленіемъ, напримѣръ полевыхъ шпатовъ, въ шлифахъ толщиной 0,02—0,03 *mm*. примѣняется обыкновенно слюдяная пластинка въ $\frac{1}{4}$ λ , которая въ случаѣ обратнаго отношенія осей ослабляетъ свѣтовые эффекты до болѣе или менѣе полного погасанія.

Если же препаратъ имѣетъ болѣе значительную толщину, что получается искусственно при большихъ наклонахъ около осей *H* и *J*, или изслѣдуется минералъ съ высокимъ двупреломленіемъ, то дѣйствіе слюдяной пластинки оказывается недостаточнымъ, и тогда употребляютъ слюдяной или кварцевый клинъ. Вдвигая въ прорѣзъ трубы послѣдній, т. е. налагая на минералъ все болѣе и болѣе толстыя части этого клина, мы будемъ наблюдать постепенное повышеніе или пониженіе интерференціонныхъ цвѣтовъ сообразно съ отношеніемъ осей.

Здѣсь уместно будетъ привести списокъ интерференціонныхъ цвѣтовъ въ порядкѣ ихъ усиленія.

Черный, сѣрый, бѣлый, оранжевый, красный, голубой, зеленый, желтый, оранжевый, индиговый и т. д.

Положимъ, что первоначальная интерференціонная окраска минерала была голубая. Если при вдвиганіи клина параллельныя оси находятся въ обратномъ отношеніи, то появляются послѣдовательно цвѣта красный, оранжевый, бѣлый, и наступаетъ погасаніе; при совпаденіи одноименныхъ осей будутъ слѣдовать оттѣнки зеленый, желтый, оранжевый и т. д. Конечно, здѣсь приведены только главные цвѣта, которые въ дѣйствительности бываютъ связаны постепенными переходами.

Пользоваться компараторами для рѣшенія поставленной задачи нужно такимъ образомъ.

Такъ какъ при вдвиганіи компаратора въ прорѣзъ трубы микроскопа его оси располагаются въ плоскости, перпендикулярной оси послѣдняго, то и оси изслѣдуемаго минерала должны быть прежде всего приведены въ ту же плоскость.

Но съ ней, какъ извѣстно, совпадаетъ плоскость сѣтки. Обращаясь поэтому къ нашей діаграммѣ, мы видимъ, что легче всего привести въ указанное положеніе оси, полюсами которыхъ являются точки f_2 и f_1 ; когда послѣднія улягутся на этой плоскости, третья ось f_3 совмѣстится съ осью микроскопа.

Для достиженія этого возьмемъ какую нибудь изъ найденныхъ плоскостей. Удобнѣе всего обратиться къ плоскости, наиболѣе близкой къ вертикальному положенію; такому условію въ нашемъ случаѣ удовлетворяетъ плоскость вторая. Приведемъ выбранную плоскость въ совмѣщеніе съ плоскостью симметріи микроскопа, что у насъ уже сдѣлано. Если это положеніе считать первоначальнымъ, то на сѣткѣ установленная такимъ образомъ плоскость выразится діаметромъ KL и точка f_3 займетъ положеніе какой нибудь точки f_3^1 .

Такъ какъ при данной установкѣ плоскости прямая, перпендикулярная къ ней, совпадаетъ съ осью столика J , то, какъ видно изъ діаграммы, нужно повернуть весь приборъ около этой оси *къ себѣ* на уголъ f_3^1O , чтобы наша третья ось упругости совмѣстилась съ осью микроскопа. Уголъ f_3^1O , очевидно, равняется углу f_3M , а послѣдній опредѣляется согласно задачѣ 3-ей. Для этого изъ точки f_2 , какъ полюса нашей плоскости, проводимъ прямая черезъ точки M и f_3 и въ пересѣченіи этихъ прямыхъ съ окружностью сѣтки находимъ величину искомага угла $F_3P = 25^\circ$.

Опредѣленіе этого угла можно, впрочемъ, дѣлать и на глазъ, такъ какъ ошибка въ нѣсколько градусовъ не вліяетъ вообще на результатъ дальнѣйшаго изслѣдованія.

Итакъ, поворачиваемъ къ себѣ столикъ около оси J на 25° , закрѣпляя его въ такомъ положеніи винтомъ i .

Теперь у насъ ось f_3 совмѣщена съ осью микроскопа, оси f_1 и f_2 лежатъ въ горизонтальной плоскости, причемъ ось f_1 находится въ плоскости симметріи микроскопа, и ось f_2 совпадаетъ съ осью столика J .

Такъ какъ компараторъ вдвигается въ трубу микроскопа подъ угломъ въ 45° къ плоскости симметріи послѣдняго, то, чтобы оси упругости компаратора и нашего минерала стали параллельными, нужно столикъ микроскопа также повернуть на 45° . Если сдѣлать поворотъ противъ часовой стрѣлки, то съ меньшей осью компаратора совмѣстится ось f_1 и т. д. Наблюдая въ трубу микроскопа, мы замѣчаемъ, что по вдвиганіи компаратора происходитъ ослабленіе интерференціонныхъ цвѣтовъ. Поэтому оси упругости компаратора и минерала находятся въ обратномъ отношеніи, т. е. ось f_1 больше оси f_2 .

Но такъ какъ послѣдняя, какъ мы уже опредѣлили, есть n_m , то — значитъ ось f_1 нужно назвать черезъ n_2 , а ось f_2 , конечно, черезъ n_1 , что и отмѣчаемъ на сѣткѣ.

Если повернуть столикъ микроскопа на 45° по часовой стрѣлкѣ, то будетъ обратное отношеніе въ расположеніи осей и въ свѣтовыхъ явленіяхъ.

Все сказанное относительно точнаго опредѣленія осей упругости можно схематически формулировать такъ:

| Столикъ микроскопа поворачивается | Интерференціонные цвѣта | Горизонтальная ось, находящаяся въ установленной плоскости |
|-----------------------------------|----------------------------|--|
| противъ часовой стрѣлки | ослабляются усиливаются | большая меньшая |
| по часовой стрѣлкѣ | ослабляются усиливаются | меньшая большая |

§ 24. *Опредѣленіе положенія кристаллографическихъ плоскостей.*

Породообразующіе минералы рѣдко имѣютъ правильно и ясно развитые элементы ограниченія, а при изслѣдованіи въ тонкихъ шлифахъ эти элементы почти совершенно теряются. Вотъ почему опредѣленіе минераловъ въ шлифахъ горныхъ породъ производится на Федоровскомъ столикѣ почти исключительно на основаніи наблюденій оптическихъ элементовъ минерала. Но въ нѣкоторыхъ случаяхъ все-таки является возможнымъ сдѣлать болѣе или менѣе точную установку извѣстныхъ кристаллографическихъ плоскостей, главнымъ образомъ трещинокъ спайности, встрѣчающихся почти въ каждомъ зернѣ минерала, обладающаго какой-нибудь совершенною спайностью. Последняя, какъ и плоскость осей упругости, устанавливается въ совмѣщеніе съ плоскостью симметріи микроскопа.

Для этого внутренній кругъ поворачивается около оси N , пока слѣдъ трещинки не совпадетъ съ вертикальною нитью окулярнаго креста, лежащею въ плоскости симметріи микроскопа. Если теперь наклонять препаратъ около оси H , проходящей черезъ этотъ слѣдъ, то устанавливаемая плоскость будетъ вращаться вокругъ прямой, лежащей въ плоскости симметріи микроскопа, и потому при извѣстномъ углѣ наклона можетъ быть совмѣщена съ послѣдней.

При этомъ вращеніи стѣнки трещины, проектируясь подъ различными углами, будутъ представляться въ видѣ неясныхъ полосокъ перемѣнной ширины a , какъ это видно на фигурѣ 22-ой. Искомое совмѣщеніе произойдетъ, очевидно, тогда, когда стѣнки трещинки будутъ проектироваться въ видѣ прямыхъ линій, и сама трещинка сдѣлается наиболѣе рѣзкой и тонкой. Для точнаго нахождения этого положенія не рѣдко приходится примѣнять болѣе сильные объективы, но если шлифъ

достаточно толсты, и спайность выражена отчетливо, то лучше оставить употребляемый обычно объективъ № 0, такъ какъ при болѣе короткомъ фокусѣ объектива различныя части стѣнокъ трещины не одинаково хорошо будутъ замѣтны.

Установивши плоскость, нужно, какъ обыкновенно, взять показаніе индекса на внутреннемъ кругѣ столика и найти уголъ наклона около оси *H* смѣнивши, конечно, предварительно болѣе сильный объективъ на № 0. Запись на поляхъ сѣтки и вычерчиваніе проекціи плоскости дѣлается обычнымъ порядкомъ.

Для точности необходимо сдѣлать нѣсколько опредѣленій, приводя каждый разъ трещинку спайности въ положеніе наибольшей рѣзкости то съ одной, то съ другой стороны отъ послѣдняго, и взять затѣмъ среднее арифметическое отсчетовъ на вертикальномъ кругѣ.

Принятый нами способъ опредѣленія угла наклона около оси *H* можетъ быть въ данномъ случаѣ упрощенъ слѣдующимъ образомъ. Слѣдъ спайности совмѣщается не съ вертикальной, а съ горизонтальною нитью окулярнаго креста, и трещинка спайности приводится въ отвѣсное положеніе вращеніемъ около оси *J*. Искомый уголъ прямо отсчитывается на вертикальномъ кругѣ, такъ какъ наклонъ около оси *H* замѣняется тутъ наклономъ около оси *J*.

Остается теперь найти показаніе индекса и направленіе наклоненія препарата, соответствующія совмѣщенію данной плоскости спайности съ плоскостью симметріи микроскопа. Это можно сдѣлать непосредственно, но легко и мысленно получить необходимыя данныя, если имѣть въ виду, что показаніе индекса будетъ отличаться на 90° отъ того показанія, которое отвѣчаетъ надлежащему положенію препарата. Можно привести такое практическое правило нахождения этихъ отмѣтокъ: если для указаннаго совмѣщенія внутренній кругъ желательнo повернуть по часовой стрѣлкѣ, то къ первоначальному показанію индекса нужно приложить 90° , и предполагаемый наклонъ около оси *H* будетъ считаться вправо, если столикъ былъ повернутъ около оси *J* къ себѣ,—и наоборотъ.

Впрочемъ, въ каждомъ частномъ случаѣ легко сообразить, какъ перейти къ этимъ отмѣткамъ.

Гораздо рѣже является возможнымъ находить положеніе какой-нибудь грани кристалла въ шлифахъ горныхъ породъ.

Приведеніе грани въ отвѣсное положеніе достигается вообще съ гораздо болѣшимъ трудомъ и несовершеннѣе, такъ какъ при вращеніи столика около той или другой оси устанавливаемая грань, имѣющая то же значеніе, что и стѣнка трещинки спайности, проектируется то черезъ слой канадскаго бальзама или рядомъ лежащаго минерала, то черезъ толщю изслѣдуемаго кристалла, почему нахожденіе средняго положенія этой грани сильно затрудняется, а въ минералахъ густо окрашенныхъ является и невозможнымъ.

Для облегченія установки граней полезно примѣнять слѣдующее: Если задіафрагмировать освѣтительный аппаратъ или опустить его,

то контуры зеренъ шлифа становятся гораздо болѣе рѣзкими. Если притомъ свѣтъ является хотя немного сходящимся, что, какъ мы видѣли, вообще свойственно Федоровскому столику, то при вертикальномъ положеніи грани, послѣдняя отдѣляется свѣтлой полоской съ той или другой стороны, въ зависимости отъ разницы въ показателяхъ преломленія даннаго минерала и окружающей среды ¹⁾).

При измѣреніи угловъ наклона, соотвѣтствующихъ установкѣ какой-нибудь кристаллографической плоскости, необходимо обратить вниманіе на то, какъ вліяетъ показатель преломленія на величину этихъ угловъ. При разрѣшеніи этого вопроса можетъ представиться нѣсколько частныхъ случаевъ.

1) Если стѣнки трещины спайности не различимы, и послѣдняя представляется какъ бы простой плоскостью, то, очевидно, показатель преломленія минерала, зерно котораго содержитъ эту спайность, окажетъ свое вліяніе на величину измѣренныхъ угловъ, и послѣдніе должны быть исправлены по діаграммѣ фигуры 6-ой.

2) Если же спайность представляется въ видѣ зіяющей трещины, то при совмѣщеніи послѣдней съ плоскостью симметріи микроскопа, лучи свѣта пройдутъ между стѣнками трещины безъ преломленія, причемъ самыя стѣнки будутъ отмѣчены свѣтлыми полосками. Въ этомъ случаѣ, конечно, измѣренная величина угла является настоящей, и никакихъ поправокъ дѣлать не нужно.

3) Опредѣленіе грани кристалла представляетъ частный случай только-что упомянутой установки.

Можетъ показаться неопредѣленнымъ, когда принимать трещинку спайности зіяющей, такъ какъ, собственно говоря, каждая трещинка является таковою.

Здѣсь все дѣло зависитъ отъ того увеличенія, при которомъ разсматривается эта трещинка. Одна и та-же трещинка при маломъ увеличеніи можетъ показаться простой плоскостью, или пластинчатымъ включеніемъ, тогда какъ при сильныхъ объективахъ въ ней намѣчаются уже стѣнки, вдоль которыхъ при надлежащей установкѣ появляются рѣзкія, свѣтлыя полоски. Очевидно, уголь наклона въ томъ и другомъ случаѣ будетъ различный.

Точность установки кристаллографическихъ плоскостей вообще меньше, чѣмъ плоскостей упругости, и зависитъ отъ совершенства спайности или развитія грани. Сравнительно рѣдко можно сдѣлать такую установку съ точностью до $1/2^\circ$, а обыкновенно послѣдняя колеблется отъ 1° — 2° .

§ 25. Опредѣленіе положенія направленія въ минераль.

До сихъ поръ мы разсматривали главнымъ образомъ опредѣленіе положенія какой-нибудь плоскости, наблюдаемой въ изслѣдуемомъ минераль, и по ней уже находили тѣ или другія направленія.

¹⁾ F. Becke. Ueber die Bestimbarkeit der Gesteinsgemengtheile etc. Sitzbericht. der Akad. d. Wiss. in Wien. 1893, 102 (1), s. 358.

Впрочемъ, нѣкоторыя направленія иначе нельзя опредѣлить: такъ, оси упругости сами по себѣ не опредѣлимы, ибо Федоровскій столикъ не позволяетъ вообще примѣнять сходящійся свѣтъ. Но иногда приходится и непосредственно отыскивать какія-нибудь направленія, наприкладъ, оптическія оси.

Для примѣра разберемъ именно случай непосредственнаго находженія оптическихъ осей. Съ этою цѣлью столикъ микроскопа поворачивается на 45° , и въ этомъ положеніи вращеніемъ препарата около осей N и J зерно изслѣдуемаго минерала приводится въ состояніе полного погасанія. Если затемненіе сохраняется при вращеніи около оси микроскопа, то—значить—одна оптическая ось совмѣщена съ послѣдней.

Координаты, необходимыя для нанесенія найденной оси на сѣтку, опредѣляются слѣдующимъ образомъ.

Можно принять, что при данной установкѣ оптическая ось сначала приводится въ вертикальную плоскость, перпендикулярную оси J , и затѣмъ вращеніемъ около послѣдней совмѣщается съ осью микроскопа. Но эта вертикальная плоскость представляетъ плоскость меридіанальную, и такъ какъ она установлена перпендикулярно оси J и при начальномъ положеніи столика совмѣстилась бы съ плоскостью симметріи микроскопа, то показаніе индекса на внутреннемъ лимбѣ столика опредѣляетъ первую координату.

Уголъ наклона препарата около оси J сразу отсчитывается на вертикальномъ кругѣ и представляетъ вторую координату. Обѣ координаты помѣчаются на поляхъ сѣтки, причемъ наклонъ около оси J считается по направленію обратнымъ тому, какой наблюдается въ дѣйствительности. Такъ, въ нашемъ примѣрѣ (таблица VI) для найденной такимъ способомъ оптической оси A_2 координаты будутъ слѣдующія: 40° , къ себѣ 15° .

По этимъ координатамъ находимъ проекцію оптической оси. Вертикальная вспомогательная плоскость, въ которой лежитъ эта ось, изобразится діаметромъ, проходящимъ черезъ соответствующее дѣленіе окружности сѣтки. Поворачивая послѣднюю къ себѣ тѣмъ концомъ діаметра, который совмѣщается съ этимъ дѣленіемъ, откладываемъ отъ центра сѣтки по полярнымъ параллелямъ 15° и въ точкѣ A_2 находимъ проекцію искомой оптической оси.

При находженіи какихъ-нибудь другихъ направленій, измѣняется лишь способъ ихъ констатированія, но координаты опредѣляются аналогичнымъ образомъ.

Гораздо чаще приходится имѣть дѣло съ задачей, обратной только что описанной: путемъ различныхъ построеній на сѣткѣ находятъ известное направленіе, и затѣмъ по отсчитаннымъ координатамъ этого направленія опредѣляютъ положеніе его въ изслѣдуемомъ минералѣ.

Чаще всего, какъ увидимъ ниже, этотъ пріемъ примѣняется для повѣрки находимой построеніемъ двойниковой оси, но для иллюстраціи мы воспользуемся нашимъ примѣромъ и положимъ, что найдена какимъ-нибудь образомъ оптическая ось A_1 , которую и нужно повѣрить.

Діаметръ, проведенный черезъ точку A_1 , представляетъ проекцію вертикальной вспомогательной плоскости, которую и совмѣщаемъ затѣмъ на столикѣ съ плоскостью симметріи микроскопа, поставивши индексъ противъ дѣленія внутренняго круга, отвѣчающаго дѣленію окружности сѣтки на какомъ-нибудь концѣ этого діаметра, на примѣръ, 146° . Отсчитавши по параллелямъ число градусовъ, на которое точка A_1 отстоитъ отъ центра сѣтки, наклоняемъ препаратъ около оси J на 57° отъ себя, т.-е. въ сторону, обратную наблюдаемой на сѣткѣ, и совмѣщаемъ такимъ образомъ съ осью микроскопа нашу оптическую ось, что при правильномъ опредѣленіи послѣдней выразится въ сохраненіи погасенія минерала при вращеніи столика микроскопа.

Нужно сказать, что преимущественно оптическія и двойниковыя оси являются тѣми направленіями, которыя подвергаются самостоятельному опредѣленію на Федоровскомъ столикѣ, но и то сравнительно рѣдко; большею же частью приходится имѣть дѣло съ различными плоскостями.

ВТОРАЯ ЧАСТЬ.

Опредѣленіе оптическихъ константъ порообразующихъ минераловъ на Федоровскомъ столикѣ.

Въ первой части были изложены общіе приемы универсально-оптического изслѣдованія въ параллельномъ свѣтѣ. Эти приемы даютъ возможность установить положеніе любой плоскости и направленія, наблюдаемыхъ въ изслѣдуемомъ кристаллѣ, и изобразить ихъ въ стереографической проекціи.

Комбинируя эти элементы минерала извѣстнымъ образомъ и опредѣляя ихъ взаимное отношеніе, мы находимъ такъ называемыя константы—величины, характеризующія тотъ или другой минеральный видъ. Среди цѣлаго ряда такихъ константъ наибольшее значеніе для опредѣленія порообразующихъ минераловъ въ тонкихъ шлифахъ имѣютъ видъ сингоніи, оптической знакъ, показатель преломленія, величина двупреломленія, уголъ между оптическими осями и характеръ двойниковаго образованія.

Универсальный столикъ позволяетъ съ достаточною степенью точности находить почти всѣ эти константы, за исключеніемъ показателя преломленія и отчасти величины двупреломленія. Въ нѣкоторыхъ довольно рѣдкихъ случаяхъ представляется возможнымъ опредѣлять и кристаллографическіе элементы минерала и такимъ образомъ находить углы погасанія.

Ниже будутъ разобраны лишь перечисленныя здѣсь оптическія константы.

Г л а в а I.

Опредѣленіе оптическихъ константъ, выражающихъ свойства минераловъ, какъ физическихъ тѣлъ.

§ 26. *Опредѣленіе вида сингоніи*¹⁾.

Разсмотримъ прежде всего, какъ различаются минералы изотропные, одноосные и двуосные.

Нужно сказать, что при работѣ на обыкновенномъ микроскопѣ иногда

¹⁾ *Е. Федоровъ*. Основанія петрографіи. 1897. стр. 61, 74—75.

бываетъ почти невозможнымъ опредѣлить, къ какой изъ этихъ трехъ главныхъ въ оптическомъ отношеніи группъ минераловъ относится изслѣдуемое зерно.

На Федоровскомъ столикѣ этотъ вопросъ рѣшается сразу, и только наклеиваніе препарата требуетъ затраты извѣстнаго количества времени.

Въ веществахъ изотропныхъ и кристаллахъ кубической сингоніи ни въ одномъ сѣченіи нѣтъ двойного лучепреломленія, почему при вращеніи столика около любой оси должно сохраняться затемнѣніе препарата при \times николяхъ.

Въ минералахъ одноосныхъ всѣ главныя сѣченія, проходящія черезъ оптическую ось, являются плоскостями симметріи эллипсоида упругости. Поэтому, если такое сѣченіе совмѣститъ съ плоскостью симметріи микроскопа, то минераль остается затемнѣннымъ при вращеніи столика около оси J . Но какъ бы ни была вырѣзана пластинка однооснаго минерала, всегда найдется одно главное сѣченіе, перпендикулярное къ плоскости шлифа, и только что упомянутая установка такой плоскости на темноту будетъ получаться безъ наклона препарата около оси H . Очевидно, въ этой плоскости должна находиться единственная оптическая ось, которую легко констатировать, если она вообще доступна наблюденію, для чего, какъ обыкновенно, нужно повернуть столикъ микроскопа на 45° и вращеніемъ около оси J искать затемнѣніе минерала, соответствующее совмѣщенію оптической оси съ осью микроскопа. Если оптическая ось находится внѣ предѣловъ поля зрѣнія, то на ея присутствіе будетъ указывать пониженіе интерференціонныхъ цвѣтовъ при крайнихъ положеніяхъ столика.

Итакъ, характернымъ для однооснаго минерала является то обстоятельство, что изъ двухъ (собственно четырехъ) положеній затемнѣнія, наблюдаемыхъ при совмѣщеніи осей N и M , одно сохраняется при вращеніи столика около оси J , безъ наклона около оси H .

Но подобный случай можетъ быть и въ двуосныхъ минералахъ, когда пластинка вырѣзана перпендикулярно какой-нибудь плоскости осей упругости. Для разрѣшенія такого случая можно поступать слѣдующимъ образомъ. Наклоняемъ препаратъ болѣе или менѣе круто около оси H , причемъ получается вообще просвѣтлѣніе зерна; затѣмъ ставимъ столикъ въ одно изъ крайнихъ положеній вращеніемъ около оси J и приводимъ зерно въ ближнее положеніе затемнѣнія, поворачивая препаратъ въ его плоскости около оси N . Очевидно въ случаѣ однооснаго минерала съ плоскостью симметріи микроскопа снова совпадаетъ главное сѣченіе кристалла, и затемнѣніе сохранится при вращеніи около оси J . Этотъ приемъ можно повторить для различныхъ наклоновъ около оси H съ однимъ и тѣмъ же результатомъ. Въ двуосномъ же минералѣ, вырѣзанномъ перпендикулярно плоскости осей упругости, вторичная установка на темноту возможна при наклонѣ около оси H только тогда, когда внутренній кругъ повернемъ на 90° отъ указаннаго положенія, т.-е. когда

совмѣстимъ съ плоскостью симметріи микроскопа вторую плоскость осей упругости. Если же пластинка двуоснаго минерала имѣетъ произвольное сѣченіе, то установка плоскости на темноту безъ наклона около оси *H* вообще не возможна.

Соотвѣтственно сказанному, различеніе однооснаго и двуоснаго кристалловъ производится такъ.

Ставимъ внутренній кругъ въ первоначальное положеніе, приводимъ пластинку въ положеніе темноты и вращаемъ ее около оси *J*. Если появляется освѣщеніе, то поворачиваемъ внутренній кругъ на 90° около оси *N* до второго погасанія и снова вращаемъ около оси *J*. Если снова появляется освѣщеніе, то минераль несомнѣнно двуосень; если же темнота сохраняется, то можно вообще полагать, что кристалль одноосень, и нужно только сдѣлать вышеописанную и вѣрку наклоненіемъ около оси *H*.

Что касается опредѣленія вида сингоніи минерала, то это возможно вообще сравнительно рѣдко, такъ какъ породообразующіе минералы большею частью не имѣютъ правильныхъ элементовъ ограниченія. Легче всего опредѣляется принадлежность минерала къ кубической сингоніи въ виду его изотропности. Среди одноосныхъ минераловъ кристалль тетрагональный можно отличить отъ гексагональнаго лишь въ томъ случаѣ, если имѣются очертанія граней или слѣды плоскости спайности вдоль главной оси, и если есть возможность оптическую ось минерала совмѣстить съ осью микроскопа. При этомъ совмѣщеніи, соотвѣтствующемъ сѣченію минерала, перпендикулярному главной оси, наружныя грани тетрагональнаго кристалла образуютъ между собою углы въ 90° и 45° , а въ гексагональныхъ кристаллахъ—углы въ 60° и 120° .

Для различенія видовъ сингоніи въ двуосныхъ кристаллахъ нужно совмѣстить съ осью микроскопа какую-нибудь ось упругости.

Въ случаѣ ромбической сингоніи всѣ три оси совпадаютъ съ кристаллографическими осями; поэтому, какую-бы ось упругости ни совмѣстили съ осью микроскопа, при вращеніи около послѣдней будетъ наблюдаться прямое или симметричное относительно очертаній граней кристалла погасаніе.

Въ моноклинной сингоніи только одна изъ осей упругости совпадаетъ съ кристаллографическою осью, и симметричное или прямое погасанія наблюдается только при совмѣщеніи этой оси съ осью столика *J*. Наконецъ, въ случаѣ триклинной сингоніи ни одна изъ осей упругости не совпадаетъ съ кристаллографическими осями, и прямого погасанія не наблюдается.

Опредѣленіе угла между оптическими осями и оптическаго знака двуоснаго минерала.

§ 27. а) При произвольномъ сѣченіи шлифа.

Чтобы выполнить эту задачу, необходимо предварительно найти положеніе всѣхъ трехъ осей упругости минерала. Уже при опредѣленіи

относительной величины послѣднихъ намъ приходилось обращаться къ испытанію каждой плоскости упругости на присутствіе въ ней оптическихъ осей. Для этого, какъ мы видѣли, нужно, по установкѣ плоскости, повернуть столикъ микроскопа на 45° и наблюдать, не наступитъ ли затемнѣніе изслѣдуемаго зерна въ какомъ-нибудь положеніи при вращеніи прибора около оси J : минеральъ затемняется, когда его оптическая ось совмѣстится съ осью микроскопа.

Это совмѣщеніе мы можемъ фиксировать отсчетами на вертикальномъ кругѣ и изъ послѣднихъ вывести значеніе угла между оптическими осями.

Положимъ, что плоскость, содержащая эти оси, нами найдена. Въ зависимости отъ положенія сѣченія шлифа относительно эллипсоида упругости, оптическія оси наблюдаются или по одну или по обѣ стороны отъ начальнаго положенія ноля ноніуса вертикальнаго круга, или же можетъ быть наблюдаема одна только ось. Когда оптическія оси лежатъ по обѣ стороны отъ перпендикуляра къ сѣченію шлифа, совмѣщающагося при начальномъ положеніи столика съ осью микроскопа, то уголъ между ними равняется, очевидно, суммѣ отсчетовъ (фиг. 21), т.е. $2V = \alpha_1 + \alpha_2$

Если $\alpha_2 > 68^\circ$, то оптическая ось A_2 не можетъ быть опредѣлена, и приходится ограничиться наблюдениемъ одной оси A_1 . Въ этомъ случаѣ уголъ $2V$ находятъ косвеннымъ путемъ: такъ какъ оси упругости являются биссектрисами угловъ между оптическими осями, то каждый изъ послѣднихъ равняется двойному углу, измѣренному между соотвѣтствующею осью упругости и данною оптической осью. Что касается названія оптической оси (A или B), то въ общемъ случаѣ, когда неизвѣстны кристаллографическіе элементы минерала, оно не можетъ быть вообще опредѣлено, что, впрочемъ, и не имѣетъ для насъ почти никакого значенія; будемъ называть оси безотносительно черезъ A_1 и A_2 .

При опредѣленіи угла $2V$ очень легко могутъ быть допущены ошибки, почему соотвѣтствующіе отсчеты должны быть производимы особенно тщательно. Главная причина ошибокъ заключается въ томъ, что вблизи этихъ осей оптическія свойства минерала измѣняются довольно медленно, почему наибольшее затемнѣніе улавливается вообще съ трудомъ. Для полученія точныхъ результатовъ нужно дѣлать отсчеты нѣсколько разъ при фиксированіи одной и той же оси, приводя изслѣдуемое зерно въ положеніе кажущагося наибольшаго погасанія то съ одной, то съ другой стороны отъ послѣдняго, и затѣмъ взять среднее арифметическое отсчетовъ.

Въ случаѣ сильной дисперсіи осей наблюденіе нужно производить въ монохроматическомъ свѣтѣ, такъ какъ въ простомъ свѣтѣ оптическія оси для каждой длины волны занимаютъ различное положеніе, и достигнутъ полнаго погасанія невозможно.

Здѣсь будетъ кстати замѣтить, что монохроматическій свѣтъ можно легко получить при помощи свѣтофильтра, вкладываемаго въ углубленіе столика микроскопа, гдѣ помѣщается освѣтительный аппаратъ.

Но и въ монохроматическомъ свѣтѣ затемнѣніе становится все болѣе несовершеннымъ по мѣрѣ возрастанія двупреломленія, благодарл сильнѣе проявляющейся конической рефракціи, при которой лучъ свѣта, выйдя изъ кристалла, пріобрѣтаетъ свойства обыкновеннаго луча съ колебаніями по всевозможнымъ направленіямъ и потому не гасится въ анализаторѣ. Для громаднаго большинства естественныхъ минераловъ вліяніе конической рефракціи совершенно ничтожно.

Интересно отмѣтить здѣсь способъ нахождения положенія оптическихъ осей въ минералахъ съ очень высокимъ двупреломленіемъ и потому рѣзко выраженной конической рефракціей. Способъ этотъ предложенъ А. Болдыревымъ¹⁾ и заключается въ слѣдующемъ: обычнымъ порядкомъ отыскивается плоскость упругости, содержащая оптическія оси; такъ какъ около послѣднихъ должно быть просвѣтлѣніе, то столикъ оставляется въ обычномъ положеніи, безъ поворачиванія на 45° , и препаратъ наклоняется около оси J до положенія наибольшаго просвѣтлѣнія, соотвѣтствующаго совмѣщенію одной изъ оптическихъ осей съ осью микроскопа. Эти наблюденія отличаются такою же чувствительностью, что и въ обыкновенныхъ случаяхъ.

Найдя тѣмъ или другимъ способомъ положеніе оптическихъ осей и исправивъ по извѣстной діаграммѣ углы наклона, переходимъ къ графическому изображенію полученныхъ данныхъ.

Если на послѣдней фигурѣ вообразить наблюдателя находящимся слѣва, то, чтобы совмѣстить съ осью микроскопа оптическую ось A_1 , ему нужно повернуть столикъ около оси J на уголъ α_1 къ себѣ. Но такъ какъ на сѣткѣ элементы минерала наносятся въ такомъ положеніи, въ какомъ они представляются при начальномъ положеніи препарата, сѣченіе котораго принимается за картинную плоскость проекціи, то въ послѣдней оптическая ось A_1 должна быть отклонена отъ соотвѣтствующаго направленія на тотъ же уголъ отъ себя, т.-е. на сѣткѣ углы откладываются, какъ и въ другихъ случаяхъ, въ направленіи, обратномъ тому, какъ они отсчитываются на самомъ столикѣ.

Въ такомъ исправленномъ видѣ результаты и помѣчаются на поляхъ сѣтки. Такъ, на примѣрѣ таблицы VІІ вслѣдъ за данными для второй плоскости, содержащей оптическія оси, слѣдуютъ отмѣтки для послѣднихъ:

$$\begin{aligned} A_1) & \dots\dots\dots \text{отъ себя} : 56^\circ \\ A_2) & \dots\dots\dots \text{къ себѣ} : 6^\circ. \end{aligned}$$

Остается теперь найти то направленіе, отъ котораго нужно откладывать эти углы. Это направленіе, очевидно, совмѣщается съ осью микроскопа, если при установкѣ нашей плоскости упругости вертикальный кругъ находится въ первоначальномъ положеніи. Поэтому искомое направленіе лежитъ также въ меридіанальной плоскости, перпендикулярной діаметру KL , и проектируется въ точкѣ M . Чтобы отложить отъ этой

1) А. Болдыревъ Кристаллы динитробромбензола etc. Записки Горн. И—та I, 1907; 26.

точки требуемые углы, проектируемъ ее изъ полюса дуги на окружность сѣтки въ точку P . Прежде чѣмъ откладывать на этой окружности углы, повертываемъ сѣтку къ себѣ такъ, чтобы дѣленіе, соответствующее показанію индекса для данной плоскости, было обращено къ намъ, и тогда отсчитываемъ отъ себя 56° и къ себѣ 6° . Полученныя точки A^1_1 и A^1_2 соединяемъ опять съ полюсомъ прямыми и въ пересѣченіи ихъ съ дугой находимъ проекціи оптическихъ осей A_1 и A_2 . Часто и нѣтъ нужды находить проекціи этихъ осей на дугѣ, такъ какъ насъ большею частью интересуютъ не самыя оси, а тѣ углы, которые онѣ образуютъ между собою и съ другими элементами кристалла; для этого достаточно отмѣтить проекціи оптическихъ осей на окружности сѣтки, по которой и дѣлаются разные отсчеты.

Въ нашемъ примѣрѣ извѣстны обѣ оптическія оси, почему уголъ $2V$ опредѣляется какъ сумма отсчетовъ на вертикальномъ кругѣ; но на сѣткѣ можно повѣрить правильность сдѣланныхъ измѣреній. Дѣйствительно, оси упругости, лежащія между оптическими осями, должны дѣлить пополамъ углы между послѣдними.

Проектируя на окружность сѣтки ось n_p , мы находимъ, что точка F_2 какъ разъ дѣлитъ пополамъ дугу $A^1_1 A^1_2$.

Въ томъ случаѣ, когда извѣстна одна только оптическая ось, уголъ $2V$, какъ сказано выше, равняется двойному углу между данною оптической осью и ближайшею осью упругости. Такъ какъ непосредственной повѣрки тутъ не имѣется, то нужно особенно тщательно находить положеніе оптической оси—тѣмъ болѣе, что при вычисленіи угла $2V$ ошибка, допущенная при измѣреніи, удваивается.

Что касается знака двуоснаго минерала, то онъ сразу опредѣляется на сѣткѣ. Для этого нужно только посмотрѣть, какая ось упругости лежитъ въ остромъ углу между оптическими осями: если это—ось наименьшей упругости n_p , то минераль будетъ отрицательнымъ; минераль считается положительнымъ, если острой биссектрисой является ось n_g . Оптическій знакъ минерала ставится при числовомъ значеніи острого угла $2V$. Въ нашемъ примѣрѣ уголъ между оптическими осями нужно обозначить такъ:

$$2V = - 62^\circ.$$

§ 28. в) При сѣченіи шлифа, близкомъ къ плоскости— $n_g n_p$.

При опредѣленіи угла между оптическими осями мы принимали до сихъ поръ, что, по крайней мѣрѣ, одна изъ нихъ можетъ быть совмѣщена съ осью микроскопа. Но иногда сѣченіе шлифа бываетъ болѣе или менѣе близко къ плоскости оптическихъ осей, и тогда послѣднія нельзя наблюдать непосредственно. Но и для этого случая Е. С. Федоровъ далъ способъ¹⁾ нахождения положенія оптическихъ осей и угла между ними.

¹⁾ *E. v. Fedorow. Universalmethode und Feldspatstudien. I. Z. f. Kr. 26, 1896: s. 245*

Съ этой цѣлью прежде всего совмѣщаемъ съ осью микроскопа ось упругости n_m , что сдѣлать очень удобно, такъ какъ послѣдняя въ виду особаго положенія плоскости $n_g n_p$ близка къ вертикальности; при этомъ совмѣщеніи не нужно трогать оси J .

Вращая затѣмъ столикъ около оси M , ставимъ препаратъ въ такое положеніе, чтобы одна изъ оптическихъ осей совмѣстилась съ главнымъ сѣченіемъ поляризатора. Конечно, мы не знаемъ точно, гдѣ находится такая ось, ибо ее-то намъ собственно и нужно найти, но по нѣкоторымъ признакамъ, на примѣръ по углу погасанія, мы можемъ составить себѣ представленіе о приблизительномъ ея положеніи въ кристаллѣ минерала, природа котораго должна быть намъ нѣсколько извѣстна.

Для удобства дальнѣйшаго изложенія изобразимъ схематически сказанное въ стереографической проекціи (Фиг. 23). Пусть OC представляетъ принятое нами положеніе оптической оси, находящейся въ плоскости симметріи микроскопа. Будемъ вращать препаратъ около оси микроскопа до полного угасанія, которое наступитъ, когда въ плоскость симметріи микроскопа придетъ одна изъ главныхъ осей упругости, лежащихъ въ горизонтальной плоскости $n_g n_p$. Получивши уголь погасанія, мы откладываемъ его на окружности сѣтки въ сторону, противоположную направленію вращенія столика, и находимъ такимъ образомъ одну изъ этихъ осей, на примѣръ n_g . Такъ какъ послѣдняя является биссектрисою угла $2V$, то сразу можно отмѣтить положеніе второй оптической оси OA , найденной отложеніемъ дуги $An_g = n_g C$. Отклонимъ затѣмъ препаратъ изъ даннаго положенія на болѣе или менѣе значительный уголь γ около оси J къ себѣ. Положимъ, что при этомъ плоскость оптическихъ осей займетъ положеніе дуги $JcaJ$ съ полюсомъ p . Тогда съ горизонтальной плоскостью совмѣстится новое сѣченіе минерала, которое, очевидно, будетъ по-прежнему предоставлено основнымъ кругомъ проекціи.

Теперь мы можемъ повѣрить правильность нашего предположенія о положеніи оптическихъ осей въ кристаллѣ. Повѣрка основана на слѣдующемъ.

По извѣстной теоремѣ Френеля, оси эллипса упругости какого-нибудь сѣченія минерала дѣлятъ пополамъ углы, образуемые слѣдами на плоскости этого сѣченія плоскостей, перпендикулярныхъ къ послѣднему и проходящихъ черезъ оптическія оси минерала.

Въ нашемъ примѣрѣ проекціи оптическихъ осей послѣ отклоненія препарата займутъ положеніе точекъ a и c , какъ это легко найти по задачѣ 2-ой (§ 8), а вышеупомянутыя плоскости, перпендикулярныя данному сѣченію минерала, изобразятся діаметрами, проходящими черезъ эти точки.

Такимъ образомъ уголь, про который только что была рѣчь, будетъ равняться углу COA^1 , а ось эллипса упругости сѣченія, являющаяся биссектрисою этого угла, представится прямою On^1 .

Если оптическія оси были первоначально размѣщены нами пра-

вильно, то погасаніе минерала въ новомъ сѣченіи произойдетъ при совмѣщеніи этой прямой съ плоскостью симметріи микроскопа, что мы можемъ и испытать, поворачивая соответствующимъ образомъ около оси послѣдняго весь приборъ. Обыкновенно этого, конечно, почти никогда не бываетъ. Если наблюдаемый уголъ погасанія окажется больше ожидаемаго, то—значитъ—оптическая ось не совпадаетъ съ OC , а занимаетъ какое-нибудь положеніе OC^1 ; при обратномъ отношеніи она будетъ находиться вправо отъ вертикальнаго діаметра. Зная направленіе поправки, стоитъ только подвергнуть препаратъ ряду небольшихъ поворотовъ около оси микроскопа, чтобы, послѣ описанныхъ построений, прійти къ такому положенію, когда наблюдаемый и ожидаемый углы погасанія совпадутъ, и одна оптическая ось дѣйствительно уляжется по OC , и уголъ $2V =$ углу COA .

Въ видѣ примѣра возьмемъ слѣдующее наблюденіе на олигоклазѣ, приводимое Е. С. Федоровымъ:

| Отсчетъ горизонтальнаго лимба. | Уголъ погасанія въ горизонтальномъ положеніи. | Уголъ погасанія при наклонѣ въ 60° , полученный | |
|--------------------------------|---|--|--------------------|
| | | Наблюденіемъ. | Построеніемъ. |
| 5° | 46° | 44° | 45 $\frac{1}{4}$ ° |
| 6° | 47° | 46 $\frac{1}{2}$ | 46° |
| 7° | 48° | 47 $\frac{1}{2}$ | 46 $\frac{1}{2}$ ° |

Изъ этихъ чиселъ видимъ, что совпаденіе угловъ наблюденнаго и полученнаго построеніемъ произошло между отсчетами горизонтальнаго лимба 5° и 6°; этому промежуточному положенію отвѣчаетъ уголъ погасанія около 46 $\frac{1}{2}$ °; слѣдовательно, уголъ между оптическими осями $2V = 46\frac{1}{2}^\circ \times 2 = 93^\circ$.

Конечно, этотъ способъ опредѣленія угла между оптическими осями является очень мѣлкотнымъ, такъ что при петрографическихъ работахъ его стоитъ употреблять лишь въ томъ случаѣ, если въ данномъ шлифѣ горной породы не имѣется другого зерна изслѣдуемаго минерала съ болѣе благоприятнымъ для изслѣдованія сѣченіемъ.

§ 29. Опредѣленіе оптическаго знака однооснаго минерала.

Въ минералахъ одноосныхъ ось упругости, совпадающая съ главною кристаллографическою осью и представляющая также оптическую ось кристалла, является единственной въ своемъ родѣ и въ различныхъ минералахъ бываетъ то больше, то меньше другихъ векторовъ эллипсоида упругости. Въ зависимости отъ относительной величины этой оси минералы дѣлятся на положительные и отрицательные. Слѣдовательно, чтобы опредѣлить оптическій знакъ однооснаго минерала, необходимо найти прежде всего положеніе его оптической оси.

Изъ предыдущаго мы уже знаемъ, какъ просто находить главное сѣченіе минерала, перпендикулярное плоскости шлифа, и какъ фиксировать положеніе оптической оси отсчетами на вертикальномъ кругѣ, если только послѣдняя поддается совмѣщенію съ осью микроскопа. Но иногда оптическая ось можетъ быть расположена близко къ сѣченію шлифа. Въ этомъ случаѣ её нельзя наблюдать непосредственно, и приходится прибѣгать къ слѣдующему приему¹⁾. Найдя главное сѣченіе минерала, перпендикулярное плоскости шлифа, поворачиваемъ внутренней кругъ столика на 90° , благодаря чему это сѣченіе совмѣстится съ осью J . Если затѣмъ поставить столикъ въ первоначальное положеніе, то ось J будетъ находиться въ одной вертикальной плоскости съ оптической осью. Эта вертикальная плоскость на схематической фигурѣ 24-ой изобразится діаметромъ JJ^1 .

Выведемъ теперь изслѣдуемое зерно изъ состоянія погасанія, наклонивши препаратъ около оси J отъ себя на какой-нибудь уголъ γ , такъ что вышеупомянутая вертикальная плоскость займетъ положеніе Jo^1J^1 . Чтобы получить снова погасаніе минерала, нужно повернуть приборъ около оси микроскопа на нѣкоторый уголъ α , пока вертикальная плоскость, проходящая черезъ новое положеніе оптической оси, не будетъ перпендикулярна плоскости симметріи микроскопа. Но такая вертикальная плоскость изобразится въ проекціи діаметромъ KK^1 , образующимъ съ JJ^1 уголъ α , отложенный въ сторону, обратную вращенію столика микроскопа. Очевидно, точка пересѣченія этого діаметра съ дугою Jo^1J представитъ проекцію искомой оптической оси въ ея новомъ положеніи. Такъ какъ при всѣхъ описанныхъ манипуляціяхъ, мы не наклоняли препарата около оси H , то уголъ JA опредѣлитъ наклонъ оптической оси къ плоскости шлифа, что и требовалось найти.

Итакъ, мы всегда можемъ найти положеніе оптической оси однооснаго минерала. Чтобы опредѣлить знакъ послѣдняго, нужно сравнить эту ось съ другими векторами упругости; результатъ сравненія будетъ наиболѣе рѣзкимъ, если мы возьмемъ направленіе, лежащее въ круговомъ сѣченіи эллипсоида вращенія, перпендикулярномъ оптической оси. Самое изслѣдованіе производится при помощи слюдяного или кварцеваго компараторовъ, описанныхъ при опредѣленіи осей упругости.

Для сравненія приводимъ въ плоскость симметріи микроскопа главное сѣченіе минерала, поворачиваемъ столикъ микроскопа на 45° и, вращая приборъ около оси J , укладываемъ оптическую ось на горизонтальную плоскость извѣстнымъ намъ образомъ. Затѣмъ вводимъ въ прорѣзъ трубы микроскопа компараторъ, длинная сторона котораго будетъ совпадать съ оптической осью минерала, если приборъ былъ повернутъ противъ часовой стрѣлки. Въ случаѣ наступившаго при этомъ пониженія интерференціонныхъ цвѣтовъ оптическая ось будетъ осью наибольшей упругости, и минераль долженъ быть названъ положительнымъ, и

¹⁾ *E. v. Fedorow. Universalmethode und Feldspathstudien III. Z. f. Kr. 29, 1898; s. 616*

обратно. Но если оптическая ось болѣе или менѣе нормальна къ плоскости шлифа, то она не можетъ быть совмѣщена съ горизонтальною плоскостью. Тѣмъ не менѣе и въ этомъ случаѣ нужно поступать только что указаннымъ образомъ, наклонивши лишь препаратъ около оси J на возможно большій уголъ.

Дѣйствительно, какъ сказано было выше, характеръ отношенія между величинами оси круговаго сѣченія эллипсоида вращения и прочихъ векторовъ упругости одного и того-же однооснаго минерала остается постояннымъ. Такимъ образомъ для насъ до нѣкоторой степени безразлично, какіе два вектора упругости приходится сравнивать между собою, лишь бы однимъ изъ этихъ направленій была ось круговаго сѣченія.

§ 30. *Показатель преломленія* является самой характерной оптической константой минераловъ, такъ какъ лучепреломленіе относится къ наиболѣе рѣзко выраженнымъ аддитивнымъ свойствамъ физическихъ тѣлъ. Но методы опредѣленія этой константы основаны или на принципѣ полнаго внутренняго отраженія, или на законѣ Брюстера или же на примѣненіи призмъ, изготовленныхъ изъ изслѣдуемаго вещества; они требуютъ болѣею частью сложныхъ приборовъ и специальныхъ препаратовъ и потому не имѣютъ практическаго значенія въ петрографіи.

Между прочимъ нужно отмѣтить, что Федоровскій столикъ съ его сегментами, образующими однородный шаръ, въ центрѣ котораго помѣщается пластинка изслѣдуемаго минерала, могъ бы, казалось, съ успѣхомъ послужить для опредѣленія показателей преломленія въ тонкихъ шлифахъ по только что указанному принципу полнаго внутренняго отраженія, но специальныя изслѣдованія самого Е. С. Федорова показали¹⁾, что примѣненіе столика для этой цѣли встрѣчаетъ много затрудненій и пока не имѣетъ практическаго значенія.

Вообще можно считать, что вопросъ объ опредѣленіи показателей преломленія въ шлифахъ горныхъ породъ является еще не разрѣшеннымъ.

Необходимо упомянуть о способѣ приблизительнаго рѣшенія поставленнаго вопроса путемъ наблюденія положенія плоскостей упругости. Мы знаемъ, что если изслѣдуемый минераль имѣетъ тотъ же показатель преломленія, что и сегменты, то при тщательной установкѣ этихъ плоскостей онѣ должны оказаться перпендикулярными другъ къ другу, и въ проекціи полюсы ихъ будутъ лежать на соответствующихъ дугахъ.

Но если указанные показатели преломленія имѣютъ различную величину, то такое совпаденіе не можетъ произойти, и въ этомъ случаѣ нужно исправлять наблюдаемые углы наклона около оси H по извѣстной діаграммѣ (фиг. 6). Очевидно тѣмъ же путемъ мы можемъ рѣшить об-

¹⁾ *Е. С. Федоровъ*. Опредѣленіе показателей преломленія въ тонкихъ шлифахъ. Зап. Имп. Спб. Мин. О-ва. 40, 1903; стр. 348.

ратный вопросъ: при помощи приближеній исправляемъ эти углы до надлежащаго положенія плоскостей упругости такимъ образомъ, чтобы на указанной діаграммѣ разные углы отвѣчали одной и той же вспомогательной дугѣ, которая и укажетъ на относительную величину показателя преломленія даннаго минерала, откуда легко перейти и къ истинному значенію этой константы.

Конечно, этотъ способъ вообще является очень грубымъ, но Е. С. Федоровъ считаетъ его достаточнымъ для чисто петрографическихъ цѣлей¹⁾.

Намъ кажется, что это можно принять съ такой существенной поправкой. Изслѣдуемый минералъ долженъ быть совершенно свѣжимъ, правильно построеннымъ и безцвѣтнымъ, ибо только при этомъ условіи субъективныя ошибки, накопляющіяся при установкѣ плоскостей упругости, не будутъ вліять на получаемые результаты. Но ясно, что въ шлифахъ горныхъ породъ такія зерна минераловъ встрѣчаются очень рѣдко, почему и самый способъ опредѣленія показателей преломленія едва ли можетъ имѣть практическое значеніе.

1) *E. v. Fedorow*, Universalmethode und Feldspatstudien I. Z. f. Kr. 26; s. 244.

Г л а в а II.

Опредѣленіе величины двупреломленія.

§ 31. Основанія способовъ опредѣленія величины двупреломленія.

Разность между наибольшимъ и наименьшимъ показателями преломленія лучей, образующихся въ двупреломляющихъ кристаллахъ, носитъ названіе величины двупреломленія и является, подобно показателю преломленія, довольно характерной оптической константой минераловъ. Въ случаѣ двуосныхъ минераловъ къ этой величинѣ ($n_g - n_p$) прибавляются еще двѣ другія не менѣе характерныя величины ($n_g - n_m$) и ($n_m - n_p$), довольно точно опредѣляющія въ своей совокупности данный минеральный видъ.

Выше мы видѣли, что у насъ нѣтъ петрографически удобнаго метода опредѣленія показателей преломленія порообразующихъ минераловъ, почему измѣреніе величины двупреломленія можетъ быть произведено только какимъ нибудь косвеннымъ путемъ. Такой способъ имѣется и основанъ онъ на слѣдующемъ.

Какъ извѣстно, лучъ свѣта, входя въ анизотропный кристаллъ, разлагается въ немъ на два луча, распространяющіеся съ различными скоростями. Вслѣдствіе этого, по выходѣ изъ кристалла, одинъ лучъ запаздываетъ относительно другого на величину, пропорціональную разности скоростей и толщинѣ пластинки, такъ что въ различныхъ сѣченіяхъ и при различной толщинѣ шлифа получаютъ различныя значенія этой величины. Такъ какъ съ другой стороны существуетъ законмѣрная связь между скоростью свѣта и показателемъ преломленія среды по данному направленію, то не трудно найти зависимость между указаннымъ запаздываніемъ лучей, или, какъ говорятъ, разностью хода, и величиною двупреломленія. Зависимость эта выражается формулой ¹⁾:

$$(n_g - n_p) = \frac{Sn_g - Sn_p}{e} = \frac{p}{e}, \text{ гдѣ}$$

Sn_g и Sn_p представляютъ пути, проходимыя лучами, колеблющимися по осямъ наибольшей и наименьшей упругости, а e —толщину пластинки минерала.

Итакъ, измѣреніе величины двупреломленія раздѣляется на двѣ части.

Прежде всего опредѣляется разность хода лучей, соответствующихъ выбранному направленію, а затѣмъ измѣряется толщина шлифа. Первая изъ этихъ величинъ не можетъ быть опредѣлена непосредственно, такъ какъ эта задача состоитъ въ измѣреніи части длины

¹⁾ Н. Rosenbusch. Mikroskopische Physiographie. I., 1904; s. 232.

свѣтовой волны, что требуетъ примѣненія очень чувствительныхъ приборовъ и тонкихъ методовъ. Поэтому при петрографическихъ работахъ возможенъ только косвенный способъ опредѣленія этой величины, заключающійся въ сравненіи изслѣдуемаго минерала съ такимъ, величина двупреломленія котораго въ точности извѣстна. Въ качествѣ такого минерала употребляется обыкновенно кварцъ, который хорошо противостоитъ внѣшнимъ вліяніямъ и имѣетъ среднюю величину двупреломленія.

Существуетъ два типа приборовъ, служащихъ для этой цѣли.

Первый типъ, къ которому относятся вращающійся компенсаторъ Никитина, кварцевый клинъ, слюдяной клинъ Федорова, компенсаторъ Siedentopf'a и др., основанъ на компенсаціи разности хода, почему самыя приборы называются *компенсаторами*.

Если наложить компенсаторъ на пластинку изслѣдуемаго минерала такъ, чтобы совпали разноименныя оси упругости обоихъ минеральныхъ видовъ, то разность хода, приобретенная лучами при прохожденіи черезъ нижній минералъ, будетъ уменьшаться компенсаторомъ и при извѣстной толщинѣ послѣдняго сведется къ нулю, что выразится въ погасаніи минерала. Такимъ образомъ пластинка компенсатора должна имѣть перемѣнную толщину и, если снабдить его скалой и знать, какой разности хода соотвѣтствуетъ каждое дѣленіе, то измѣреніе разности хода въ данномъ сѣченіи минерала сводится къ опредѣленію того дѣленія компенсатора, при которомъ происходитъ погасаніе минерала.

Недавно проф. Е. С. Федоровъ предложилъ новый способъ пользованія компенсаторами для измѣренія разности хода.

Сущность этого способа заключается въ томъ, что интерференціонный цвѣтъ пластинки изслѣдуемаго минерала приводится компенсаторомъ къ чувствительному фіолетовому 1-го порядка.

Если сдѣлать это при параллельномъ и взаимноперпендикулярномъ положеніяхъ однозначныхъ осей упругости минерала и компенсатора, то разность двухъ соотвѣствующихъ отсчетовъ послѣдняго опредѣлитъ двойную величину искомой разности хода. По изслѣдованіямъ В. В. Никитина¹⁾, этотъ способъ въ 1,7 раза точнѣе обычнаго способа измѣренія этой величины, но примѣненіе его является ограниченнымъ.

Прежде всего не всякій глазъ воспримчивъ къ фіолетовому оттѣнку; затѣмъ, если разность хода, развиваемая пластинкой минерала, больше 0,000575 мм, или если предѣлы компенсатора малы, то этотъ способъ и совсѣмъ нельзя употреблять.

Въ приборахъ другого типа, къ которымъ принадлежитъ, напримеръ, кварцевоклиновой компараторъ М. Леви, разность хода опредѣляется путемъ сравненія интерференціонныхъ цвѣтовъ изслѣдуемаго минерала и пластинки *компаратора*, поставленной въ надлежащее положеніе. Очевидно, въ случаѣ достиженія одинаковыхъ оттѣнковъ разности хода будутъ одинаковы; величина этой разности опредѣляется по показанію скалы компаратора.

¹⁾ В. В. Никитинъ. Опредѣленіе величины двупреломленія. Зап. Гор. Ин-та. I, 1907; 387.

Что касается измѣренія толщины шлифа, то этотъ пунктъ составляетъ самое слабое мѣсто въ опредѣленіи величины двупреломленія.

Вообще нужно сказать, что данный методъ обладаетъ многими недостатками: онъ требуетъ большого количества измѣреній, которыя часто не могутъ быть произведены съ достаточною точностью. Поэтому на него приходится смотрѣть, какъ на палліативъ, неизбѣжный при данномъ состояніи микроскопической техники, и, какъ только будутъ усовершенствованы простые способы опредѣленія показателей преломленія въ тонкихъ шлифахъ, онъ будетъ, по всей вѣроятности, оставленъ.

Описание приборовъ для измѣренія разности хода лучей.

§ 32. *Вращающійся компенсаторъ В. В. Никитина*¹⁾.

Этотъ приборъ можно считать однимъ изъ дериватовъ универсально-оптического метода изслѣдованія, отразившимъ въ себѣ—между прочимъ—нѣкоторыя идеи, положенныя въ основу универсальнаго столика. Существенную составную часть описываемаго компенсатора представляетъ круглая кварцевая пластинка *K* (фиг. 25), вправленная въ металлическое кольцо, вмѣстѣ съ которымъ она можетъ вращаться около оси *AA*, лежащей въ ея плоскости. Вращеніе производится при помощи головки *s*, и уголъ вращенія отмѣчается указателемъ *i* на вертикальномъ лимбѣ *L*, соединенномъ наглухо съ коробкою *D*, поддерживающею весь приборъ.

Компенсаторъ вставляется коробкою въ прорѣзъ, имѣющійся въ трубѣ микроскопа, причемъ въ большей части микроскоповъ вращеніе пластинки возможно лишь тогда, когда коробка вдвинута до самаго лимба. Прочное положеніе коробки въ прорѣзѣ поддерживается пружиною *R*.

Измѣненіе разности хода двухъ интерферирующихъ лучей достигается въ этомъ компенсаторѣ вращеніемъ кварцевой пластинки. Дѣйствительно, если оптическую ось послѣдней установить перпендикулярно оси вращенія *AA*, то при наклоненіи пластинки разность между осями упругости эллипса сѣченія, нормальнаго оси микроскопа, будетъ возрастать, вслѣдствіе чего и разность хода лучей, колеблющихся по направленію этихъ осей, будетъ также увеличиваться.

Это измѣненіе разности хода въ значительной степени обусловливается также увеличеніемъ толщины пластинки въ направленіи проходящихъ лучей свѣта. Такимъ образомъ предѣлы величины двупреломленія, поддающейся опредѣленію даннымъ компенсаторомъ, измѣняются отъ нуля, что соотвѣтствуетъ совмѣщенію оптической оси кварцевой пластинки съ осью микроскопа, до той разности хода лучей, которая получается при наибольшемъ наклоненіи компенсатора. Не трудно видѣть,

¹⁾ *В. В. Никитинъ*. Нѣкоторые новые приборы etc. Зап. Горн. Ин-та. I, 1907; 44—48.

что этотъ предѣлъ будетъ тѣмъ значительнѣе, чѣмъ больше уголъ, образуемый оптической осью пластинки съ перпендикуляромъ къ послѣдней, и чѣмъ больше толщина самой пластинки.

Только что упомянутый уголъ необходимо устраивать для того, чтобы повысить чувствительность компаратора для малыхъ величинъ разности хода. Въ самомъ дѣлѣ, если при выходѣ оптической оси изъ совпаденія съ осью микроскопа пластинка приводится къ горизонтальному положенію, то путь, проходимый лучомъ въ пластинкѣ, уменьшится, а это отразится задержкою въ повышеніи разности хода, такъ что для измѣненія послѣдней на какую нибудь величину компенсаторъ нужно повернуть на бѣльшій уголъ, нежели въ томъ случаѣ, если пластинка будетъ вырѣзана нормально къ оптической оси.

Конечно, это имѣетъ мѣсто только до тѣхъ поръ, пока пластинка не станетъ перпендикулярно къ оси микроскопа; при дальнѣйшемъ наклоненіи связанное съ нимъ измѣненіе длины пути, проходимого лучомъ въ минералѣ, дѣйствуетъ уже въ сторону увеличенія разности хода. Такимъ образомъ дѣленія лимба компенсатора будутъ имѣть слѣдующія значенія.

Пусть на фигурѣ 26-ой съ осью микроскопа AA совпадаетъ выходъ оптической оси пластинки компенсатора, образующій съ нормалью къ послѣдней уголъ φ . Тогда разность хода, нулевому значенію которой отвѣчаетъ дѣленіе c , будетъ возрастать отъ c къ b и далѣе до дѣленія d , соотвѣтствующаго наибольшему возможному наклоненію пластинки, причемъ на протяженіи дуги bc будутъ измѣряться малыя величины двупреломленія, такъ что въ работѣ находится главнымъ образомъ лѣвая часть лимба.

Чтобы использовать по возможности бѣльшую часть послѣдняго, нужно увеличивать уголъ φ . Но величина этого угла должна быть такова, чтобы можно было для провѣрки прибора и измѣренія очень малыхъ разностей хода совмѣщать оптическую ось съ осью микроскопа, что наступаетъ при полномъ потемнѣннн поля зрѣнія, а этотъ *minimum* освѣщенія можетъ быть уловленъ удовлетворительно только въ томъ случаѣ, если пластинка подводится къ этому положенію съ обѣихъ сторонъ. Обыкновенно пластинку выпиливаютъ изъ кварца такъ, чтобы оптическая ось образовала съ нормалью къ пластинкѣ уголъ въ 25° , что отвѣчаетъ $\varphi = 40^\circ$.

Что касается толщины пластинки, то увеличеніе ея, какъ замѣчено выше, расширяетъ предѣлы опредѣлимыхъ разностей хода, но зато уменьшаетъ чувствительность компенсатора.

До сихъ поръ пластинкѣ придаютъ толщину въ $0,07 \text{ mm.}$, исходя изъ того, чтобы получить всю гамму цвѣтовъ 1-го порядка, и чтобы чувствительному фіолетовому цвѣту, соотвѣтствующему разности хода въ $0,000575 \text{ mm.}$, отвѣчалъ наклонъ пластинки не болѣе 60° .

При такой конструкціи компенсатора, принятой *Fuess*'омъ, разности хода отъ 0 до $0,000575 \text{ mm.}$ измѣряются 100° лимба, раздѣленнаго че-

резь 5° ; при этомъ 40° приходится на промежутокъ отъ 0 до 0,000115 *mm.* и около 60° на остальные 0,000460 *mm.*

Такимъ образомъ ошибка при опредѣленіи разности хода выражается въ 15—35 миллионныхъ миллиметра и повторными наблюденіями можетъ быть доведена до меньшей величины, даже до 1-го микро-микрона¹⁾.

Передъ употребленіемъ компенсаторъ долженъ быть вывѣренъ.

Прежде всего повѣряется перпендикулярность оптической оси пластинки къ оси вращенія прибора. Для этого компенсаторъ, вдвинутый въ прорѣзь трубы микроскопа, наклоняется до полученія темноты. Если темнота получается полная, то этимъ можно удовлетвориться, въ противномъ случаѣ необходимо сдѣлать нѣкоторыя измѣненія въ самомъ приборѣ. Для достиженія этой цѣли В. В. Никитинъ рекомендуетъ примѣнять слѣдующій приемъ. Компенсаторъ кладется на столикъ микроскопа такъ, чтобы его длинная сторона совпадала съ какимъ-либо опредѣленнымъ діаметромъ столика, причемъ для болѣе точнаго совпаденія съ даннымъ діаметромъ послѣдній можно предварительно прочертить на столикѣ карандашомъ. Если бы вышеупомянутыя оси были взаимно перпендикулярны, то при вращеніи столика микроскопа погасаніе минерала соответствовало бы совпаденію выбраннаго діаметра съ главнымъ сѣченіемъ одного изъ николей. Чтобы достигнуть этого при данномъ неправильномъ положеніи оптической оси пластинки, нужно привести выбранный діаметръ въ плоскость симметріи микроскопа, для чего необходимо знать положеніе ноля нониуса столика относительно послѣдней, и затѣмъ какъ-нибудь повернуть пластинку въ ея собственной плоскости до полученія темноты.

Для этого можно воспользоваться или особымъ ключомъ или просто согнутой стальной проволокой; вводя концы послѣдней въ два противоположныя отверстія, имѣющіяся въ кольцевой металлической оправѣ пластинки, можно треніемъ сдѣлать требуемое передвиженіе послѣдней.

Слѣдующая повѣрка касается правильности установки указателя компенсатора, который долженъ соответствовать нолю лимба при перпендикулярности пластинки къ оси микроскопа. Нужно сказать, что укрѣпленіе головки и указателя является однимъ изъ слабыхъ мѣстъ компенсатора, поэтому черезъ извѣстные промежутки времени нужно производить настоящую повѣрку. Въ виду того, что лимбъ компенсатора раздѣленъ только черезъ 5° , можно примѣнить слѣдующій простой способъ повѣрки.

Если послѣ введенія компенсатора въ прорѣзь микроскопа удалить изъ послѣдняго все оптическія системы, находящіяся между компен-

¹⁾ В. В. Никитинъ. Опредѣленіе величины двупреломленія. Зап. Горн. Ин-та 1. 1907; 379.

саторомъ и глазомъ наблюдателя, и устранить проходящій свѣтъ, то при горизонтальномъ положеніи пластинки компенсатора наблюдатель увидитъ отраженіе своего глаза отъ этой пластинки.

Дѣленіе, на которомъ стоитъ указатель компенсатора при данномъ положеніи пластинки, и явится поправкой къ 0° лимба, причемъ необходимо принимать во вниманіе знаки угловъ.

Если на фигурѣ 26-ой принять уголъ φ положительнымъ, то, очевидно, всѣ углы, измѣряемые на протяженіи дуги bc будутъ также положительными, а углы, указываемые индексомъ по дугѣ bd , нужно считать отрицательными.

Итакъ, въ описываемомъ компенсаторѣ легко опредѣлить и отмѣтить то сѣченіе, которое даетъ ту же разность хода лучей свѣта, что и данное сѣченіе изслѣдуемаго минерала. Чтобы получить численное значеніе этой разности хода, нужно знать цѣну каждаго дѣленія скалы компенсатора. Для ускоренія работы удобно составить діаграмму, показывающую отношеніе между дѣленіями компенсатора и соответствующими значеніями разности хода.

Градуированіе вращающагося компенсатора производится слѣдующимъ образомъ.

Если можно съ достаточною степенью точности опредѣлить толщину пластинки этого компенсатора, то діаграмма можетъ быть построена непосредственно на основаніи вычисленій по формулѣ, выведенной В. В. Никитинымъ¹⁾ въ аналогичномъ случаѣ для одноосныхъ минераловъ.

$$p = e \frac{\sin^2(\varphi_0 - J)}{\cos J} (n_g - n_p).$$

Въ этой формулѣ:

P — означаетъ разность хода;

J — означаетъ уголъ наклоненія пластинки минерала въ однородной съ послѣднимъ средѣ;

φ_0 — уголъ оптической оси съ нормалью къ пластинкѣ;

$n_g - n_p$ — величину двупреломленія и

e — толщину пластинки минерала въ m/m .

Уголъ ϕ^0 опредѣляется для даннаго компенсатора непосредственнымъ наблюденіемъ, для чего пластинка компенсатора наклоняется при \times николяхъ до полученія наибольшей темноты, соответствующей совмѣщенію выхода оптической оси пластинки съ осью микроскопа. Очевидно, искомый уголъ φ_0 равняется углу наклоненія компенсатора φ , дѣленному на показатель преломленія кварца $n=1,54$. Такъ какъ моментъ прохожденія оптической оси черезъ ось микроскопа опредѣляется не достаточно чувствительно, то необходимо сдѣлать большое число наблюденій и взять среднее арифметическое отсчетовъ.

¹⁾ *W. Nikitin. Beitrag zur Universalmethode. Zur Bestimmung der Doppelbrechung. Z. Kr. 33 B; 2 H, 145.*

Точно также всякій вообще наблюдаемый уголъ наклоненія пластинки компенсатора $J' = n J = 1,54 J$, откуда $J = \frac{J'}{1,54}$.

Замѣняя, наконецъ, въ приведенной формулѣ постоянныя для даннаго кварцеваго компенсатора величины: $n_g - n_p = 0,009$ и e , найдемъ такую зависимость между разностью хода и соответствующимъ дѣленіемъ прибора:

$$p = e \cdot \frac{\sin^2 \frac{\varphi - J'}{1,54}}{\cos \frac{J'}{1,54}}.$$

Откладывая на оси абсциссъ рядъ значений угла J' , измѣняющагося отъ $+ 40^\circ$ до $- 60^\circ$, а на оси ординатъ вычисленные по формулѣ значенія p , получимъ діаграмму, изображенную на фигурѣ 27-ой. Кривая послѣдней отъ $+ 40^\circ$ до 0° идетъ гораздо положе, чѣмъ на остальномъ протяженіи, такъ какъ въ этой части компенсаторъ дѣлается болѣе чувствительнымъ, какъ это описано выше. Для удобства обращенія съ діаграммой лучше сдѣлать ее на клѣтчатой бумагѣ.

Если толщина пластинки компенсатора въ точности неизвѣстна, то градуированіе производится при помощи какого-нибудь другого компенсатора, или эталона; для этого нужно совмѣстить разноименныя оси упругости обоихъ минераловъ и наклонить пластинку изслѣдуемаго компенсатора до полнаго угасанія.

Зная значеніе p при данномъ углѣ наклона J' , найдемъ по формулѣ толщину пластинки e , послѣ чего градуированіе производится уже описаннымъ образомъ.

Впрочемъ, въ виду чувствительности установки на фіолетовый цвѣтъ 1-го порядка, можно обойтись безъ всякаго эталона. Для этого пластинка компенсатора наклоняется при \times николяхъ до окраски поля фіолетовымъ цвѣтомъ; уголъ наклона J' будетъ отвѣчать $p = 0,000575$ mm., такъ какъ это значеніе соответствуетъ разности фазъ лучей, интерференція которыхъ даетъ фіолетовую окраску. Подставляя послѣднія величины въ формулу, найдемъ толщину пластинки e , такъ что градуированіе опять сводится къ описанному способу.

Наконецъ, можно упомянуть еще объ одномъ способѣ градуированія компенсаторовъ. Этотъ способъ заключается въ примѣненіи какого-нибудь однороднаго свѣта съ вполне опредѣленной длиною волны.

Легче всего получить натровый желтый свѣтъ, длина волны котораго равняется 0,000589 mm.

Если взять такое освѣщеніе, то компенсаторъ будетъ погасать при \times николяхъ всякій разъ, какъ разность хода лучей достигнетъ величины, заключающей нечетное число разъ $\frac{\lambda}{2}$, т. е. 0,000294 mm.

Такимъ образомъ, начиная вращать пластинку компенсатора отъ на-

чальнаго положенія, мы будемъ получать рядъ погасаній, соответствующихъ $\frac{\lambda}{2}$, $\frac{3}{2}\lambda$ и т. д.

Для даннаго компенсатора достаточно найти одно значеніе разности хода, чтобы можно было построить требуемую діаграмму.

§ 33. Кварцевые клиновые компенсаторы.

Вращающійся компенсаторъ можетъ служить для измѣренія сравнительно небольшихъ величинъ разности хода, обыкновенно не превышающихъ 0,000575 mm. Такимъ образомъ этотъ компенсаторъ съ успѣхомъ примѣняется главнымъ образомъ при изслѣдованіи минераловъ съ малой величиной двупреломленія—такихъ, какъ цеолиты, цоизиты или кислые полевые шпаты въ тонкихъ шлифахъ и пр.

Во всѣхъ другихъ случаяхъ приходится прибѣгать къ приборамъ иного рода, среди которыхъ кварцевые клиновые компенсаторы пользуются наибольшимъ распространеніемъ, благодаря простотѣ своего устройства.

Въ простѣйшемъ своемъ видѣ такой компенсаторъ представляетъ кварцевый клинъ съ очень малымъ угломъ, задѣланный между двумя стеклянными пластинками, имѣющими форму удлиненнаго прямоугольника. При извѣстной длинѣ клина можно получить любую разность хода, но обычно пластинкѣ придаютъ длину въ 70 mm., при которой поддаются опредѣленію разности хода въ 0,002 mm., что для петрографическихъ цѣлей является вполне достаточнымъ.

Какъ компенсаторъ, клинъ накладывается на пластинку изслѣдуемаго минерала такъ, чтобы совпадали разноименныя оси упругости обоихъ минераловъ. Тогда при извѣстномъ положеніи компенсатора наступаетъ полное погасаніе, указывающее на то, что часть клина, лежащая надъ изслѣдуемымъ зерномъ, имѣетъ ту же разность хода, что и послѣднее. Для опредѣленія этого положенія на верхней поверхности компенсатора наносится миллиметровая скала, причемъ отмѣчается, какая разность хода отвѣчаетъ каждому дѣленію послѣдней. Прорѣзь трубы микроскопа, куда вводится компенсаторъ, долженъ находиться въ фокусѣ окуляра, чтобы можно было прочесть дѣленія скалы, приходящіяся противъ изслѣдуемаго зерна. Но такъ какъ у микроскоповъ обыкновенно нѣтъ такого прорѣза, то употребляется особый окуляръ, въ фокусѣ котораго и находится прорѣзь. Клинъ передвигается въ послѣднемъ или отъ руки, или при помощи кремальерки, причемъ для удобства отсчитыванія дѣленій черезъ центръ окуляра протянуть одинъ или два волоска (Compensatorocular).

Очевидно, при употребленіи этого окуляра анализаторъ долженъ находиться поверхъ послѣдняго.

Зависимость между дѣленіями компенсатора и соответствующими разностями хода удобнѣе представить въ видѣ діаграммы. Послѣдняя должна имѣть видъ прямой линіи. Дѣйствительно, клинъ вырѣзается

изъ кварца такъ, чтобы оптическая ось лежала въ нижней плоскости клина, параллельно его ребру. Поэтому лучи свѣта, входящіе нормально къ нижней плоскости клина, будутъ колебаться въ разныхъ частяхъ послѣдняго по однимъ и тѣмъ же направленимъ, такъ что разность хода будетъ зависѣть только отъ толщины клина. Если на фигурѣ 28-ой *ABCD* изображаетъ поперечное сѣченіе клина съ угломъ α , то на основаніи вышесказаннаго,

$$p = e (n_g - n_p) = (l + k) (n_g - n_p) \operatorname{tg} \alpha \text{ или } p = A + Bl.$$

т. е. вышеуказанная зависимость выражается уравненіемъ прямой линіи. Поэтому, чтобы начертить требуемую діаграмму, нужно опредѣлить только двѣ ея точки.

Для калиброванія можно примѣнить или монохроматическій свѣтъ или сравнить компенсаторъ съ какими нибудь эталонами, въ качествѣ которыхъ могутъ служить общераспространенныя гипсовая и слюдяная пластинки. Первая изъ нихъ даетъ разность хода въ $0,000575 \text{ м.}$, отвѣчающую чувствительному фіолетовому цвѣту 1-го порядка, а вторая обладает запаздываніемъ лучей въ $\frac{1}{4}$ длины средней волны, что равняется $0,000127 \text{ м.}$ При сравненіи нужно наложить изслѣдуемый компенсаторъ на каждую изъ этихъ пластинокъ подъ прямымъ угломъ и опредѣлить то дѣленіе скалы, которое соотвѣтствуетъ полному погасанію.

Если затѣмъ на оси абсциссъ отложить полученные отсчеты, а на оси ординатъ отвѣчающія имъ разности хода, то получатся двѣ точки, опредѣляющія собою прямую линію діаграммы.

При всей простотѣ устройства и удобствѣ обращенія, кварцевые клиновые компенсаторы обладаютъ весьма существеннымъ недостаткомъ, заключающимся въ томъ, что клинъ при \times николяхъ даетъ собственно непрерывный спектръ, вслѣдствіе чего искомый оттѣнокъ часто сливается съ сосѣдними, и самое измѣреніе становится неопредѣленнымъ, особенно при замѣтной дисперсіи осей изслѣдуемаго минерала.

Этотъ недостатокъ не уничтожается и въ болѣе сложныхъ кварцево-клиновыхъ компенсаторахъ Vabinet, Bravais и Хрущева.

По изслѣдованію В. В. Никитина (Зап. Горн. Ин-та, I 1907; 385) средняя ошибка при опредѣленіи разности хода кварцевымъ клиномъ равна 10 м.

§ 34. Слюдяной компенсаторъ Федорова.

Этотъ компенсаторъ, сохраняя идею клина, въ то же время лишенъ недостатка, связаннаго съ непрерывностью послѣдняго. Компенсаторъ представляетъ пакетъ листочковъ слюды, склеенныхъ между собою и расположенныхъ одинъ надъ другимъ уступами, причемъ каждый верхній уступъ на 2 м. короче нижележащаго. Пластинки ориентированы такимъ образомъ, что болѣе большая ось упругости, лежащая въ ихъ плоскости, расположена параллельно короткой сторонѣ компенсатора, какъ

и въ другихъ приборахъ этого рода. Поэтому обращеніе съ нимъ при измѣреніи разности хода въ изслѣдуемомъ зернѣ ничѣмъ не отличается отъ обычнаго. Искомая разность хода опредѣляется числомъ ступеней компенсатора, предшествовавшихъ компенсаціи, и такъ какъ каждая ступень представляетъ пластинку въ $\frac{1}{4} \lambda = 0,000127 \text{ mm.}$, то $p = n \frac{1}{4} \lambda$.

При отсчитываніи числа ступеней нужно употреблять особый окуляръ, какъ и для кварцеваго клина.

Въ общемъ этотъ компенсаторъ является очень практическимъ, причемъ и точность его не особенно мала и въ томъ случаѣ, когда рядомъ лежація ступени затемняются одинаково, она поднимается до $\frac{1}{8} \lambda = 0,000063 \text{ mm.}$, чего для практическихъ цѣлей вполне достаточно.

§ 35. Компараторъ М. Леви.

Этотъ приборъ, построенный на основаніи принципа сравненія интерференціонныхъ цвѣтовъ пластинки изслѣдуемаго минерала и кварцеваго клина прибора, является наиболѣе совершеннымъ, хотя и наиболѣе сложнымъ компараторомъ.

Онъ позволяетъ съ одинаковою степенью точности измѣрять какъ большія, такъ и малыя разности хода; нежелательное свойство непрерывности клина въ немъ почти уничтожено, и самый принципъ сравненія цвѣтовыхъ оттѣнковъ даетъ болѣе точные результаты, чѣмъ прямое опредѣленіе момента наибольшаго затемнѣнія въ компенсаторахъ.

На фигурѣ 29-ой схематически показано устройство этого компаратора. Окуляръ T имѣетъ отвѣтвленіе, въ которомъ находится кварцевый клинъ q , передвигаемый при помощи кремальерки и винта s . Для опредѣленія положенія клина послѣдній соединенъ со скалою t , на которой при помощи нонюса v можно прочесть десятыя доли миллиметра.

Чтобы получить интерференціонные цвѣта, клинъ заключенъ между двумя николями n_1 и n_2 .

Свѣтъ распространяется слѣдующимъ образомъ. Отражаясь отъ зеркальца m , лучи свѣта призмой p направляются по оси трубы, гдѣ сначала встрѣчаютъ поляризаторъ n_1 , затѣмъ линзу o_1 , которая слегка концентрируетъ ихъ въ кварцевомъ клинѣ, благодаря чему они получаютъ болѣе однородную интерференціонную окраску. Этому помогаетъ также діафрагма δ съ очень узкимъ отверстіемъ. Пройдя затѣмъ анализаторъ n_2 и линзу o_2 , лучи становятся снова параллельными и, отражаясь отъ посеребренной гипотенузовою плоскости призмы P_1 , попадаютъ въ поле зрѣнія микроскопа. Для прямого прохожденія лучей свѣта отъ изслѣдуемаго минерала, эта призма склеена съ другою призмой P_2 и въ центрѣ посеребренной плоскости сдѣлано небольшое круглое отверстіе.

Такимъ образомъ при наблюденіяхъ мы видимъ въ полѣ зрѣнія микроскопа небольшой кругъ, окрашенный интерференціоннымъ цвѣтомъ минерала и окруженный кольцомъ интерференціоннаго цвѣта кварцеваго клина.

Передвиженіемъ послѣдняго оба оттѣнка приводятся въ совпаденіе, что соотвѣтствуетъ одинаковой разности хода въ обоихъ минералахъ.

Для болѣе удобнаго сравніванія оттѣнковъ необходимо передъ началомъ изслѣдованія уравнивать интенсивность освѣщенія микроскопа и компаратора. Съ этой цѣлью кварцевый клинъ выводится изъ трубки, обѣ пары николей ставятся въ параллельное положеніе и интенсивность освѣщенія уравнивается соотвѣтствующей присовой діафрагмой. Для сохраненія достигнутаго абсолютнаго равенства освѣщенія нужно каждый разъ при измѣреніи разности хода ставить пластинку изслѣдуемаго минерала такъ, чтобы его оси упругости составляли 45° съ сѣченіями николей, потому что и кварцевый клинъ расположенъ подъ такимъ же угломъ къ своимъ николямъ, а при измѣненіи этого угла измѣняется и яркость интерференціоннаго цвѣта.

На основаніи послѣдняго, одинаковая интенсивность цвѣтовъ можетъ быть достигнута и при самомъ измѣреніи поворачиваніемъ столика микроскопа.

Калиброваніе компаратора происходитъ такимъ-же образомъ, какъ и обыкновенныхъ клиновыхъ компенсаторовъ, но такъ какъ интерференціонная окраска поля зрѣнія въ этомъ случаѣ является однородной, то можно воспользоваться установкой клина въ два такихъ положенія, при которыхъ получаются чувствительные фіолетовые оттѣнки 1-го и 2-го порядковъ, соотвѣтствующіе разностямъ хода въ 0,000575 и 0,001128 *mm*.

Измѣреніе толщины шлифа.

Какъ было сказано выше, для опредѣленія величины двупреломленія необходимо знать толщину пластинки изслѣдуемаго минерала.

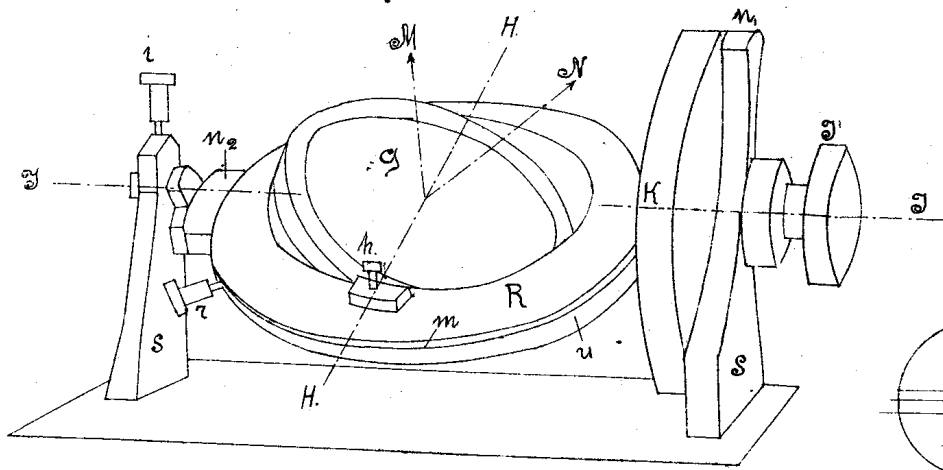
Если дѣло идетъ объ измѣреніи толщины отдѣльной пластинки, то это можно сдѣлать довольно точно и быстро при помощи различныхъ приборовъ, напримѣръ, сферометра, универсальнаго столика Клейна, т. н. *mikrometertaster*'а и др.

Но при измѣреніи толщины пластинки минерала въ шлифѣ встрѣчается очень много затрудненій.

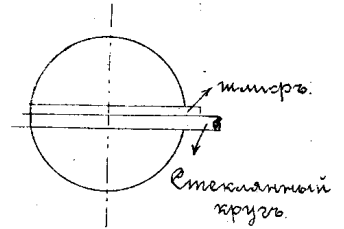
До настоящаго времени существуетъ собственно только одинъ болѣе или менѣе общій практическій способъ такого измѣренія.

§ 36. Способъ Шона.

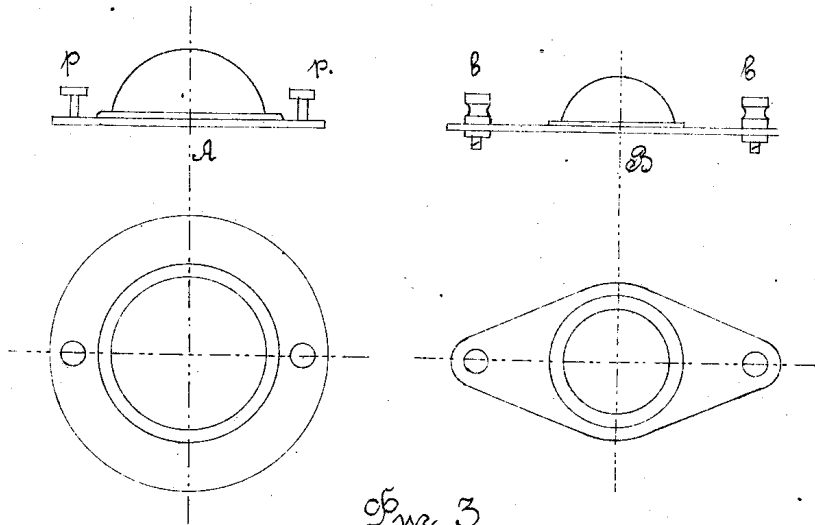
Если при горизонтальномъ положеніи шлифа навести на фокусъ объектива послѣдовательно какія-нибудь точки, лежащія на верхней и нижней поверхностяхъ пластинки минерала, то трубу микроскопа придется приподнять или опустить на величину, пропорціональную толщинѣ этой пластинки. Для передвиженія трубы микроскопа служитъ особый микрометричный винтъ, снабженный лимбомъ, по которому и опредѣ-



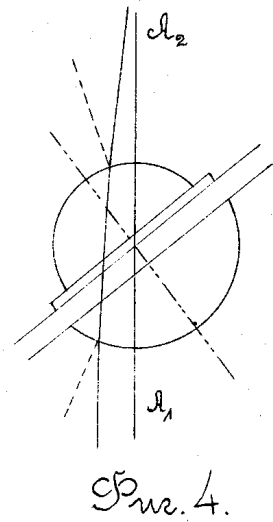
Фиг. 1.



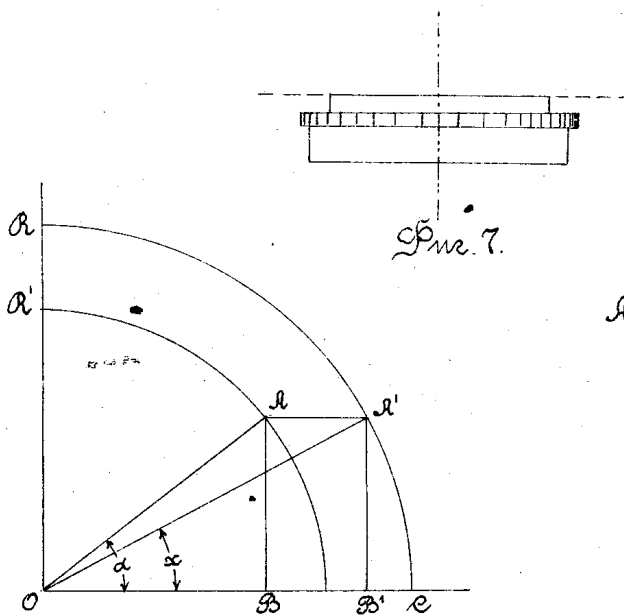
Фиг. 2.



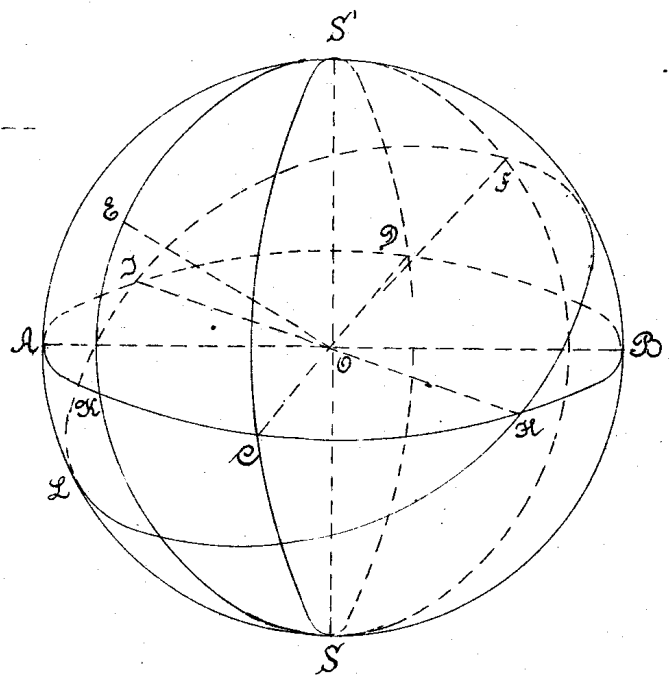
Фиг. 3.



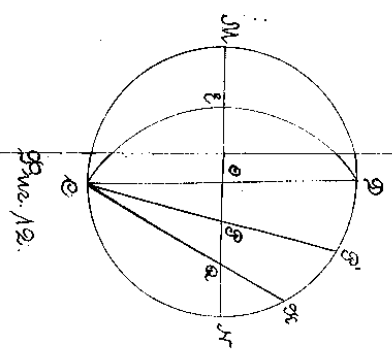
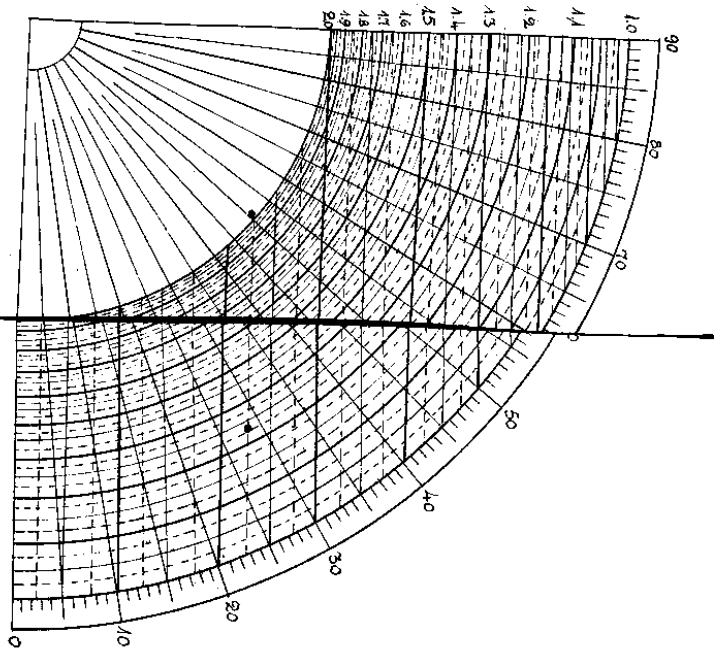
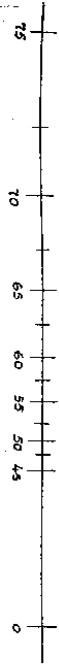
Фиг. 4.



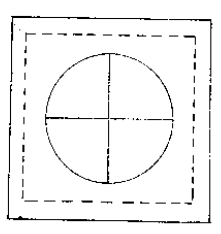
Фиг. 5.



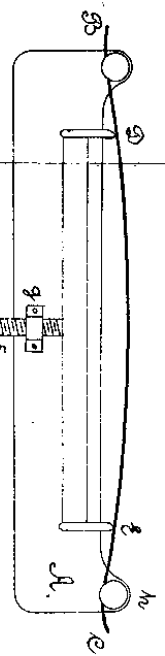
Фиг. 8.



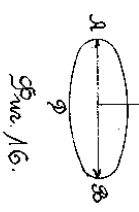
Grue. 12.



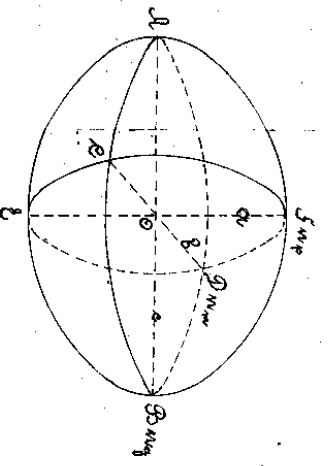
Grue. 15.



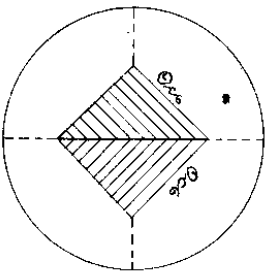
Grue. 14.



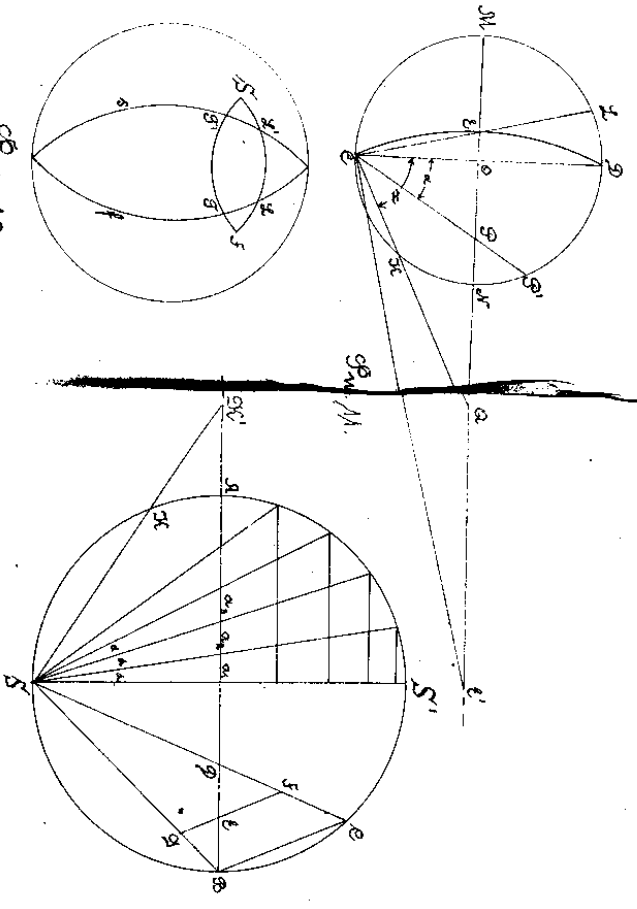
Grue. 16.



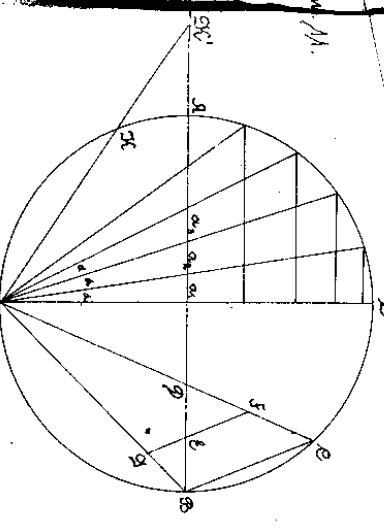
Grue. 17.



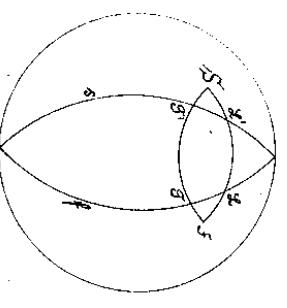
Grue. 18.



Grue. 11.



Grue. 9.



Grue. 10.

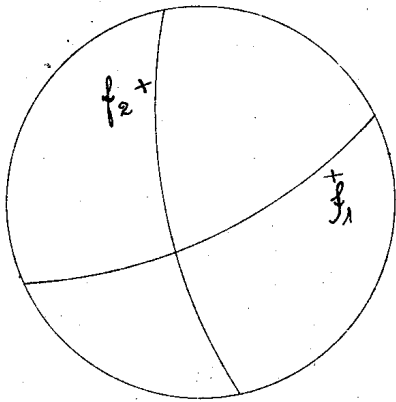


Рис. 19.

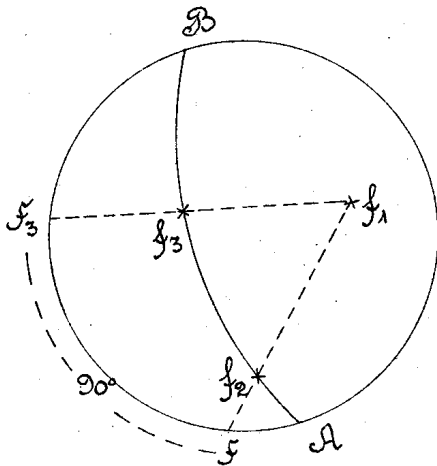
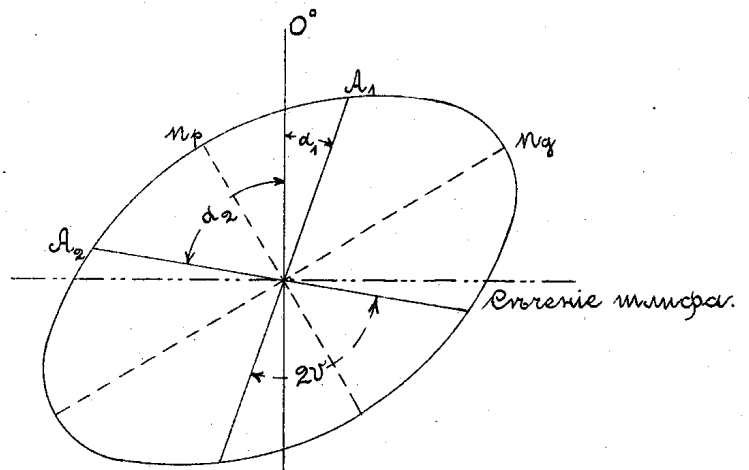


Рис. 20.

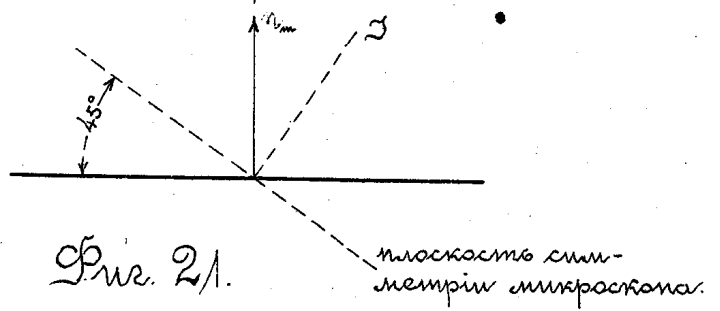


Рис. 21.

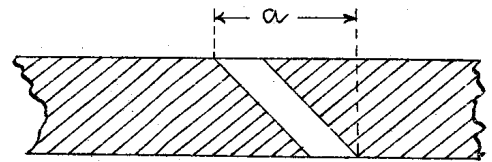


Рис. 22.

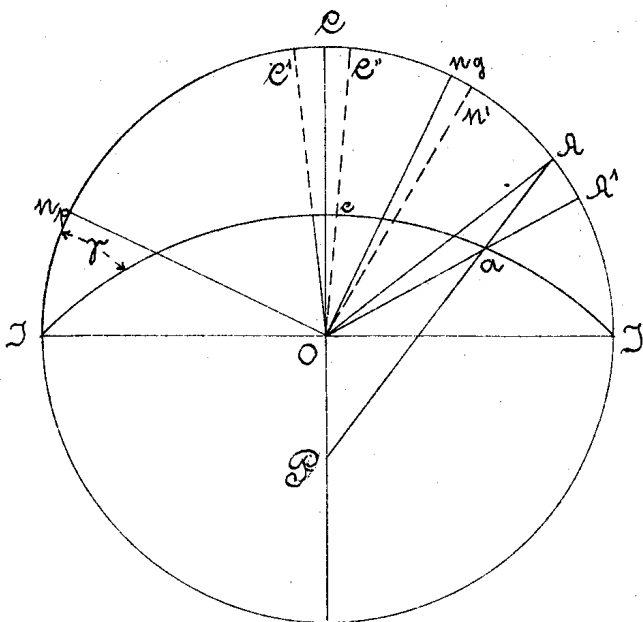


Рис. 23.

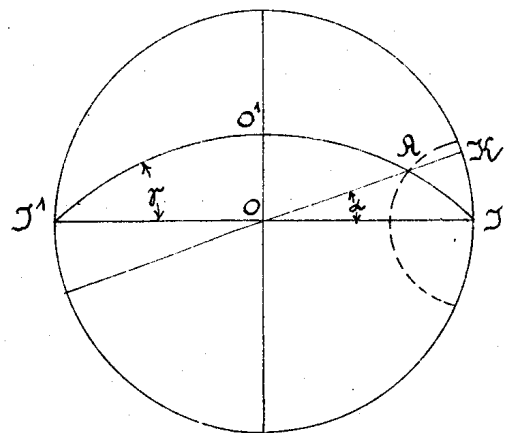
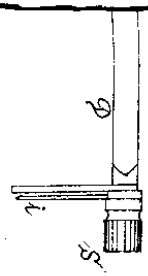
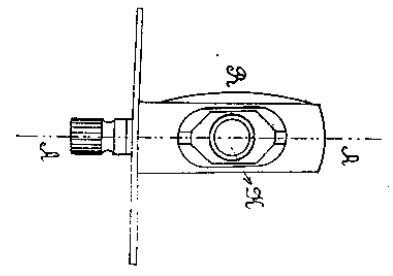
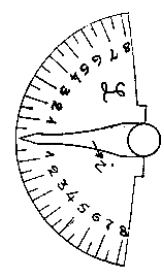


Рис. 24.

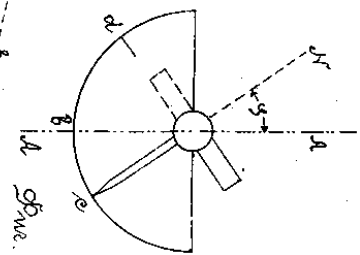
ГЛАВА III-9.



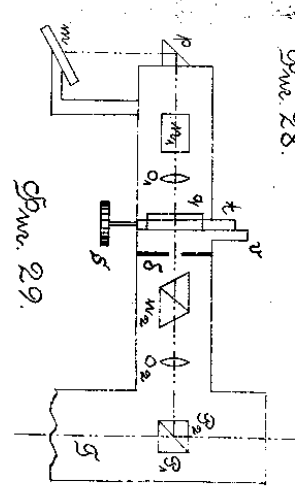
рису. 25.



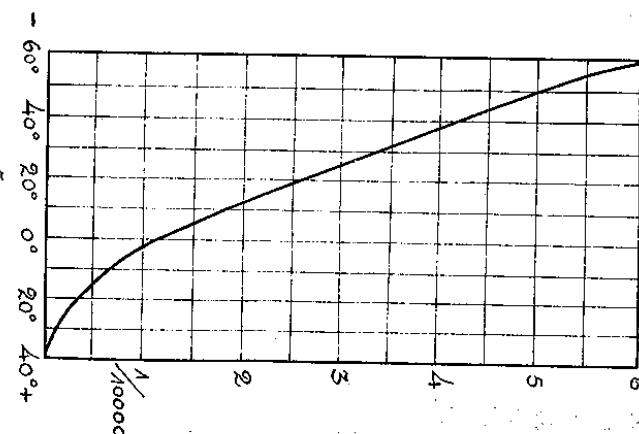
рису. 28.



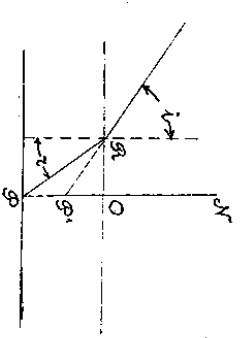
рису. 26.



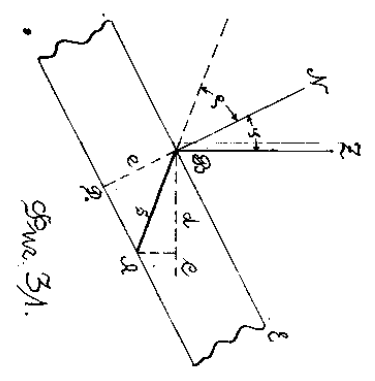
рису. 29.



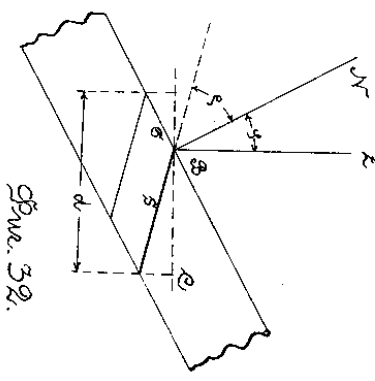
рису. 27.



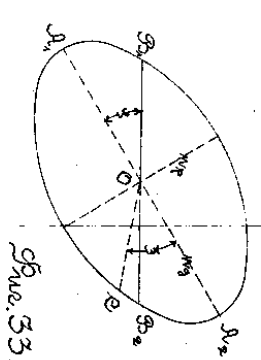
рису. 30.



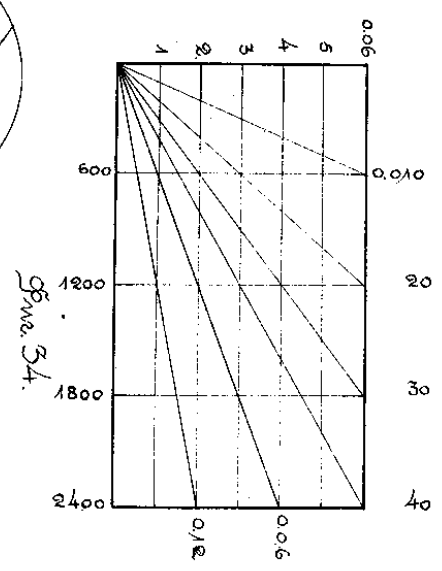
рису. 31.



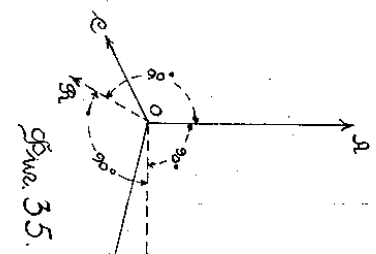
рису. 32.



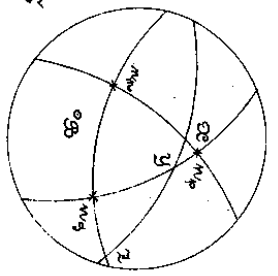
рису. 33.



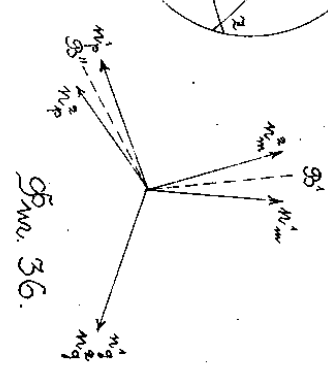
рису. 34.



рису. 35.

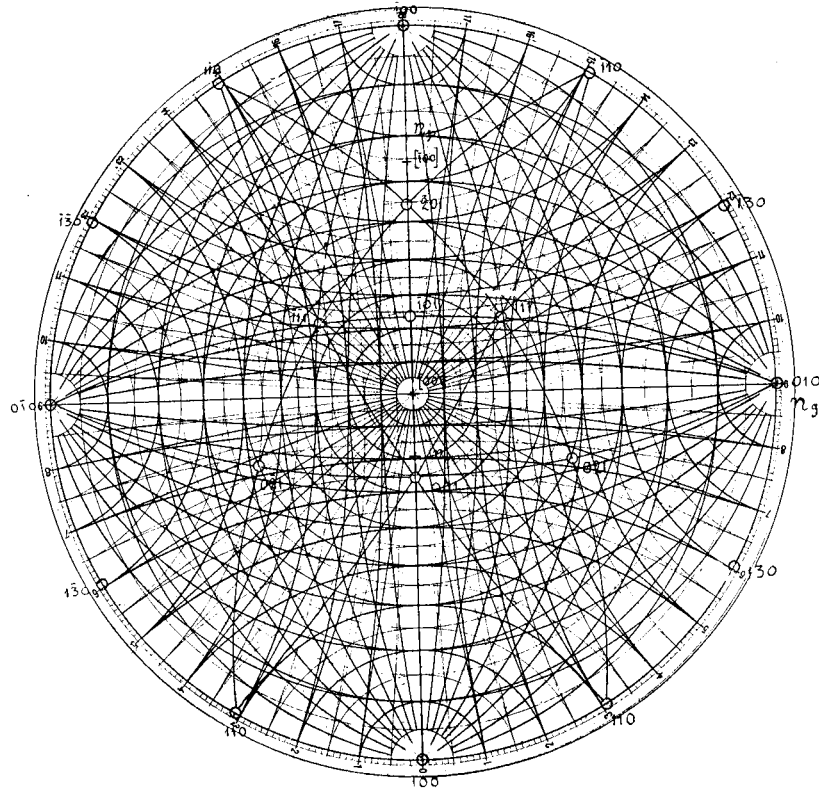


рису. 39.

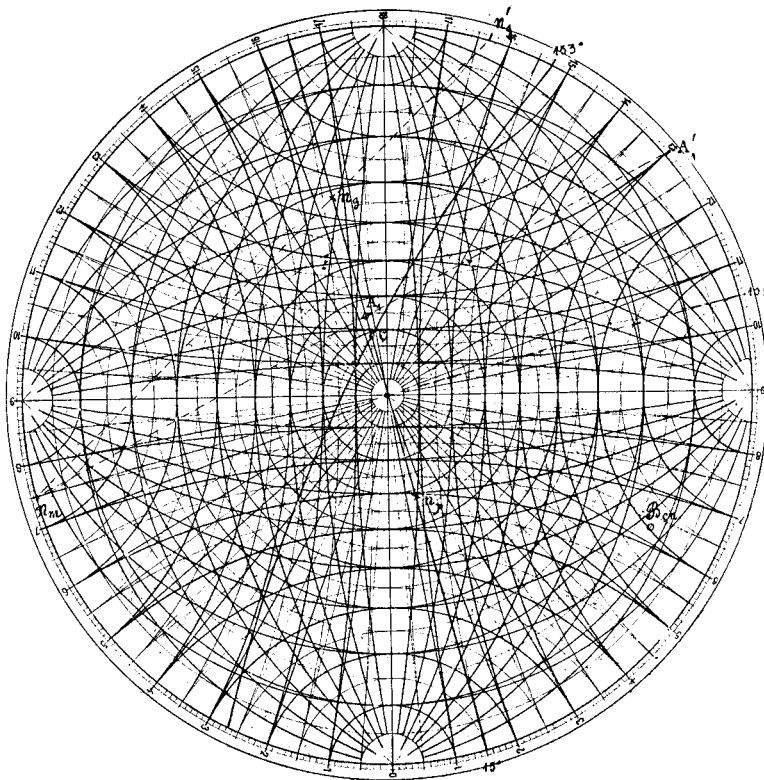


рису. 36.

ТАБЛИЦА VI.



Фиг. 37.



Фиг. 38.

№ 901 b
1909 г.

Джунгарской
коллекции.

1) 15° 0°

A₁) отъ себя: $\frac{29^{\circ}_5}{29^{\circ}}$
 $\frac{29^{\circ}_{25}}{25}$

2 V = + $\frac{66^{\circ}}{25}$

2) 195°, влево: $\frac{35^{\circ}_5}{32^{\circ}}$

Спайность по призмб:

153°, вправо: $\frac{13^{\circ}}{14^{\circ}}$
 $\frac{13^{\circ}_5}{12^{\circ}_5}$

$\angle \text{Спг} = 38^{\circ}$

Авгить

Рис. 2 v мезионизагобе.

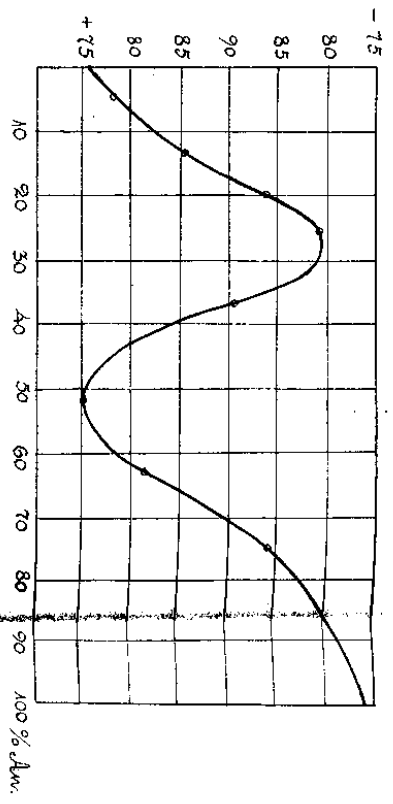


Рис. 41.

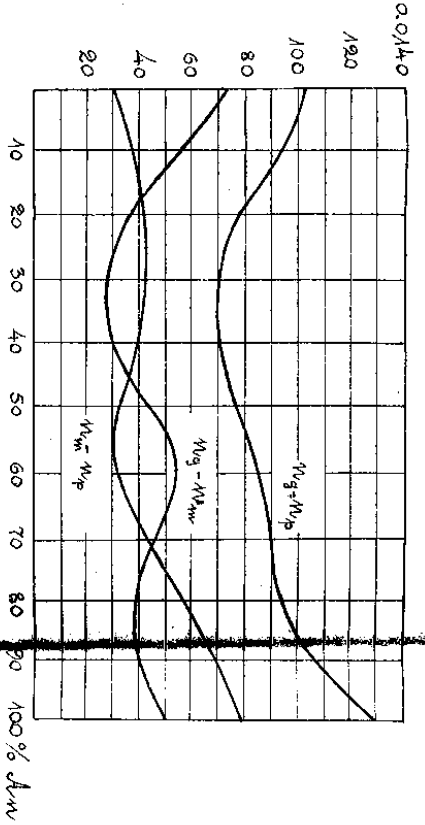


Рис. 42.

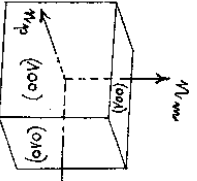


Рис. 40.

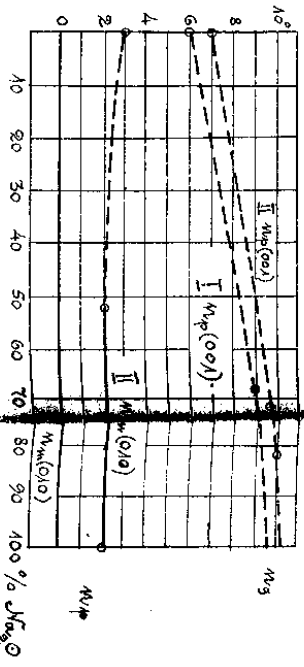


Рис. 44.

Рис. 3 v мезионизагобе на мезионизагобе.

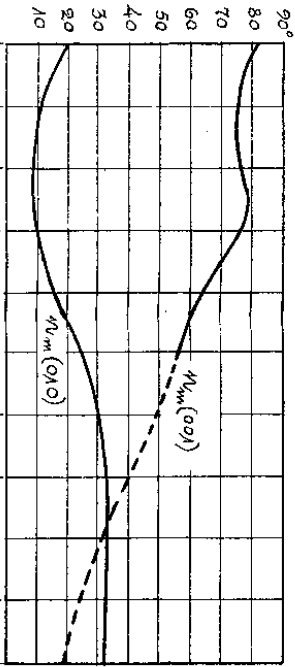


Рис. 43.

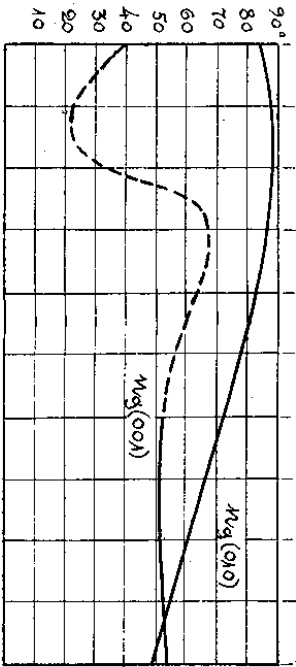
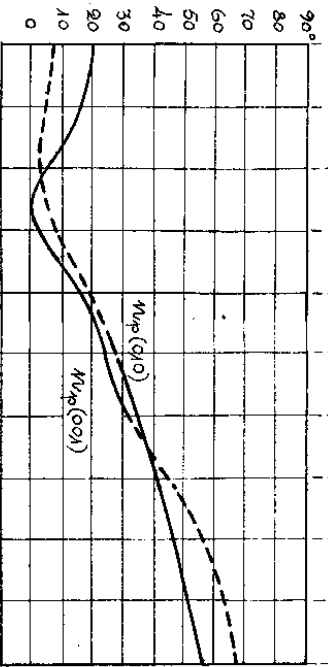
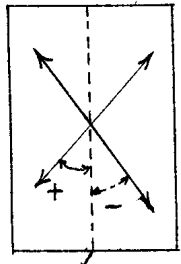


Рис. 43.

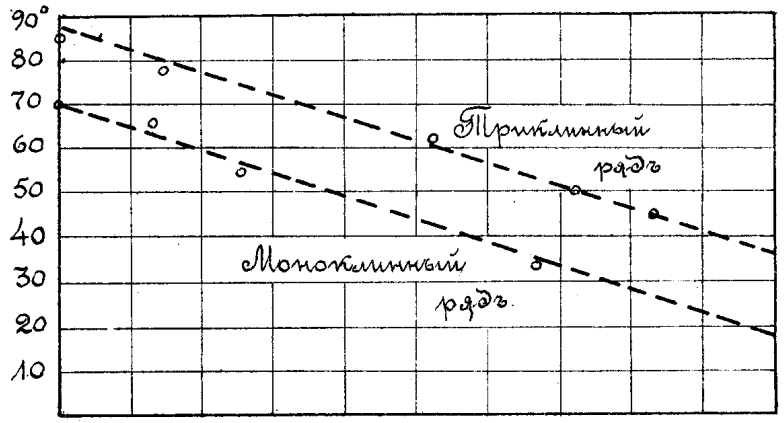
Таблица V-ая.

Диаграмма углов $2V$
кальевонатровых полевых шпатов.



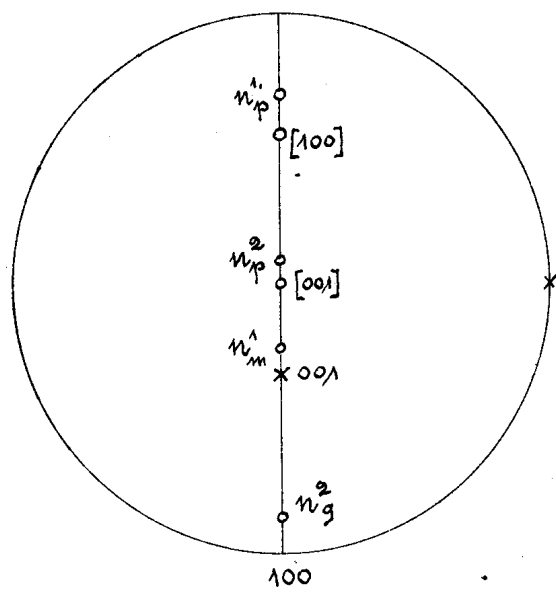
Равноспайность.

Фиг. 45

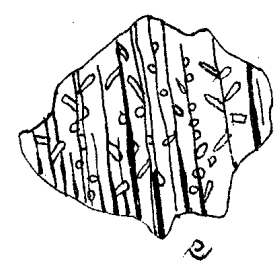
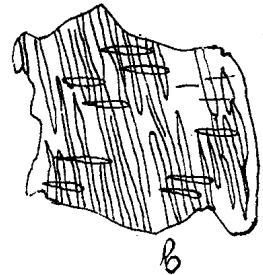
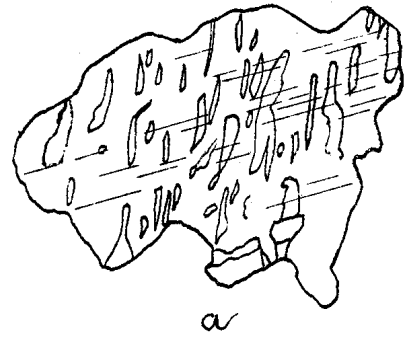


Фиг. 46.

Na₂O.

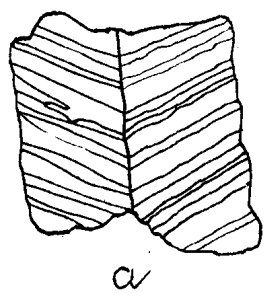


Фиг. 47.

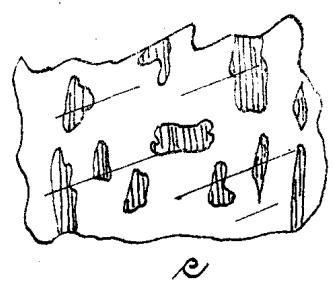
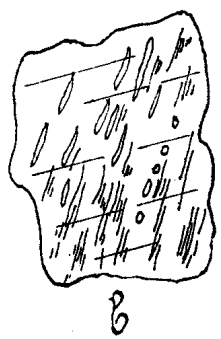


Фиг. 49.

а, б... срезы по (010),
с..... (001).



Фиг. 48.



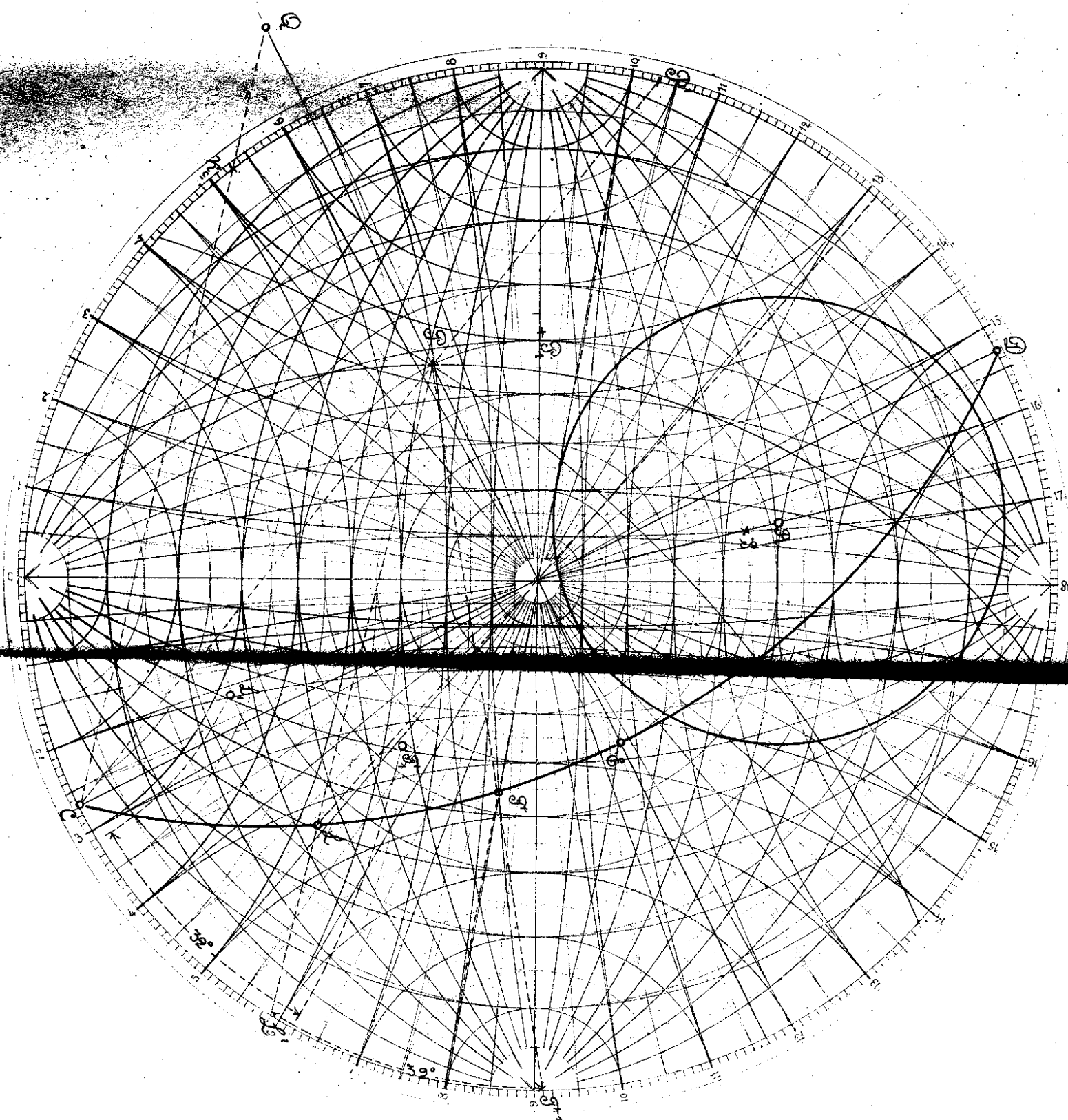


Таблица VI

