

МОСКОВСКИЙ ОРДЕНА ЛЕНИНА ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени М. В. ЛОМОНОСОВА

Профессор Г. Б. БОКИЙ

ИММЕРСИОННЫЙ МЕТОД

ИЗДАТЕЛЬСТВО
МОСКОВСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА

1948

МОСКОВСКИЙ ОРДЕНА ЛЕНИНА ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ М. В. ЛОМОНОСОВА

Профессор Г. Б. БОКИЙ

ИММЕРСИОННЫЙ МЕТОД

ИЗДАТЕЛЬСТВО
МОСКОВСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА
1948

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	3
I. Основные понятия элементарной оптики, необходимые для дальнейшего изложения	5
II. Оптические поверхности кристаллов	8
III. Ориентировка индикатрисы в кристаллах	16
IV. Поляризационный микроскоп	18
V. Установка и поверка микроскопа	27
VI. Приготовление препаратов для работы иммерсионным методом	34
VII. Оптические явления, наблюдающиеся в иммерсионных препаратах под микроскопом	35
VIII. Принцип иммерсионного метода. Иммерсионные среды	43
IX. Объяснение появления полосы Бекке. Эффект косого освещения	48
X. Практика определения показателей преломления иммерсионным методом	51
XI. Измерение углов под микроскопом. Угол погасания. Знак зоны. Определение ориентировки индикатрисы	60
XII. Исследование кристаллов в сходящемся свете	64
XIII. Современные пути развития иммерсионного метода	76
XIV. Контроль показателей преломления иммерсионных жидкостей	81
Литература	84

Ответственный редактор *С. Д. Четвериков*

А-12632. Подписано к печати 25/XII—48 г. Объем 5¼ п. л.
Учетно-изд. л. 9. Заказ 1507. Тираж 5000

Типография. Москва, улица Чехова, 6

ПРЕДИСЛОВИЕ

В настоящем издании книги «Иммерсионный метод» автор стремился дать студенту простое, краткое, практическое руководство по курсу иммерсионного метода; поэтому изложение теоретических основ дается в элементарной форме. Более полные сведения читатель найдет в пособиях, список которых помещен в конце книги. Этими руководствами пользовался и автор при составлении настоящей книги, в частности из них заимствованы многие рисунки.

Иммерсионный метод определения оптических констант кристаллов, будучи наиболее быстрым, точным и дешевым методом фазового анализа, завоевал себе всеобщее признание в минералогии и петрографии. Однако до последнего времени он мало употребляется в практике заводских и научно-исследовательских химических лабораторий, хотя рациональность применения его не вызывает сомнений.

Кристаллооптический анализ, кроме перечисленных достоинств, позволяет различать модификации химических соединений, их изомеры, полимеры и т. д., а также определять вещества в смесях. Во всех перечисленных случаях обычный химический анализ очень труден и не всегда может дать однозначный ответ. Определение вещества иммерсионным методом не зависит от сложности состава, поэтому применение его особенно рационально в органической химии и при работах со сложными неорганическими соединениями.

Книга рассчитана на лиц, для которых иммерсионный метод не является основной методикой их исследований, и, поэтому в ней даны лишь основы метода, а все детали опущены.

Если бы появление нашей работы, помимо своего прямого назначения—быть пособием для студентов, способствовало внедрению иммерсионного метода в химию, автор считал бы свой труд полностью оправданным. При подготовке книги к печати автором были учтены высказанные по поводу нее замечания и пожелания

товарищей по педагогической работе доц. В. Ф. Алявдина и проф. С. Д. Четверикова, а также учеников и сотрудников по научно-исследовательской работе Э. Е. Буровой, М. Н. Ляшенко и Н. Д. Топора. Всем перечисленным лицам автор приносит свою искреннюю благодарность. Учитывая, что, несмотря на тщательность подготовки книги, в ней после выхода ее в свет, несомненно, найдутся новые недочеты, автор заранее выражает свою признательность всем лицам, которые возьмут на себя труд сделать ему соответствующие замечания.

Имеющиеся в книге примечания редакции принадлежат С. Д. Четверикову.

Проф. Г. БОКИИ.

1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ ЭЛЕМЕНТАРНОЙ ОПТИКИ, НЕОБХОДИМЫЕ ДЛЯ ДАЛЬНЕЙШЕГО ИЗЛОЖЕНИЯ

Согласно электромагнитной теории света, в каждой точке луча периодически изменяется напряженность электрического и магнитного полей. Эти напряженности изображаются векторами. В изотропной среде оба вектора в каждый момент времени перпендикулярны друг к другу и к направлению луча, но непрерывно меняют свое положение в плоскости, перпендикулярной к направлению распространения света. В поляризованном свете они сохраняют в этой плоскости определенное положение¹.

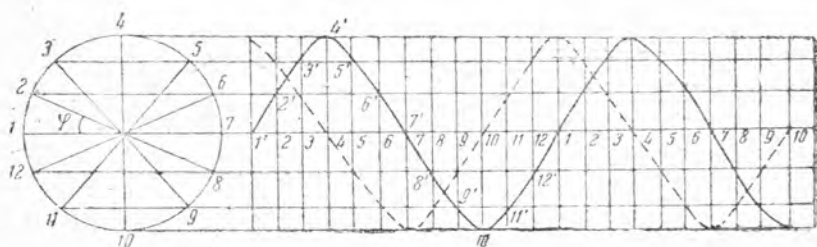


Рис. 1.

Так как глазом ощущается изменение напряженности электрического вектора, то в дальнейшем можно отбросить магнитный вектор и представить себе поляризованный луч света, как грубую схему, в виде жесткой ленты.

Свет рассматривается как электромагнитные волны, а поэтому для наглядного представления такого колебательного движения можно построить вспомогательную окружность, по которой равномерно движется точка. Движение этой точки проектируется на прямые, перпендикулярные к направлению луча (рис. 1).

Полученная таким образом синусоида будет соединять концы электрических векторов в данный момент времени.

Угол поворота φ или положение на синусоиде точек 1'; 2'; 3'; 4' и т. д. носит название фазы колебательного движения.

¹ Плоскость, проходящая через луч и перпендикулярная к направлению колебаний электрического вектора, называется плоскостью поляризации.

На рис. 1 пунктиром показано колебание точки, опережающее колебание, изображенное сплошной линией на $\varphi = \frac{\pi}{2}$ или $\varphi = 2\pi n + \frac{\pi}{2}$.

Расстояние на луче между двумя точками, находящимися в одинаковых фазах, есть длина волны λ . От длины волны зависит цвет света. Белый свет состоит из всех видимых лучей различной длины волн (от 400 до 760 $\text{м}\mu$). Если свет имеет одну какую-либо длину волны, то он называется монохроматическим светом, а прибор, дающий такой свет,—монохроматором.

Величина наибольшего удаления точки от начального положения называется амплитудой колебания. Она соответствует максимальному напряжению электрического поля, причем графически равна радиусу вспомогательного круга. От величины амплитуды зависит интенсивность света.

Если по одному и тому же направлению распространяются два луча, поляризованных в одной и той же плоскости и имеющих одинаковые длины волн, то такие лучи взаимодействуют друг с другом — интерферируют. На рис. 2 пунктирными линиями по-

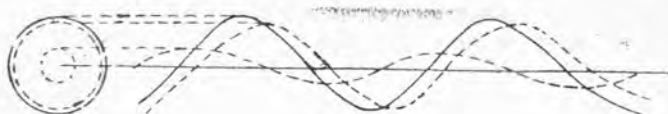


Рис. 2.

казаны два таких луча. В результате интерференции их получается третий, показанный сплошной линией.

Экспериментально доказано, что для интерференции необходимо, чтобы оба луча происходили от одного источника света. Результат интерференции зависит от величины амплитуды колебания каждого луча и от разности фаз. В частности, если у двух интерферирующих лучей амплитуды равны, а фазы отличаются на $\varphi_2 - \varphi_1 = \pi$ или $2\pi n + \pi$ (на нечетное число полуволн), то равнодействующая амплитуда равна нулю, то-есть лучи гасят друг друга. На рис. 2 изображен случай, когда равнодействующая амплитуда больше каждой из первоначальных.

Из сказанного ясно, что в результате интерференции меняется амплитуда колебания (сила света), а длина волны (цвет света) остается прежней, то-есть такой же, какая была у каждого из лучей до интерференции.

Скорость распространения света V зависит от среды. Величина, обратная скорости распространения света в данной изотропной среде, называется показателем преломления n , если скорость света в воздухе принять за единицу меры.

Показатель преломления может быть определен еще иначе. Предположим, что из среды I в среду II идет луч (рис. 3). Через a обозначен угол падения, а через b — угол преломления. По закону Декарта-Снелиуса, отношение $\frac{\sin a}{\sin b}$ для каждого двух определенных сред есть величина постоянная. Если при этом первая среда — воздух, то это отношение будет показателем преломления второй среды, то-есть

$$n = \frac{\sin a}{\sin b}$$

Отсюда видно, что n как отношение — величина отвлеченная.

На рис. 3 луч шел из среды с меньшим показателем преломления в среду с большим показателем преломления. Если же луч идет из среды II в среду I и угол падения мы все время увеличиваем от 1 до 2, 3 и т. д. (рис. 4), то в конце концов преломленный луч идет

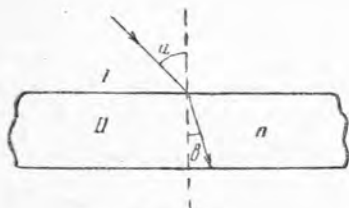


Рис. 3.

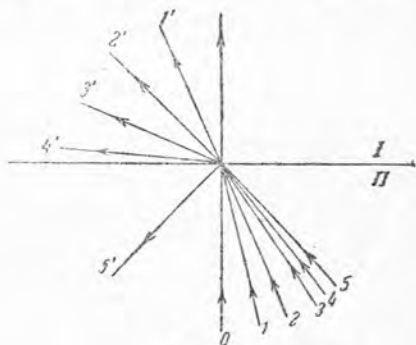


Рис. 4.

вблизи границы раздела сред (луч 4—4'), а в следующий момент он уже не войдет в среду I, а отразившись от поверхности раздела, пойдет обратно в среду II (луч 5—5'). Этот угол носит название предельного угла или угла полного внутреннего отражения.

Показатель преломления вещества зависит от длины волны света. Это явление носит название дисперсии. Она выражается в том, что каждой длине соответствует свой определенный показатель преломления данного вещества.

Если луч света падает на кристалл, то он в общем случае поляризуется и распадается на два луча, которые идут внутри кристалла с разными скоростями (и следовательно, имеют различные показатели преломления).

Оба луча являются поляризованными в двух взаимно перпендикулярных направлениях.

На рис. 5 изображен поляризованный луч света, идущий от источника S, с колебаниями pp. Войдя в кристалл, он распадается

на два луча с колебаниями X и Y . Когда луч света с колебаниями по направлению Y дойдет до верхней границы кристаллической пластинки, луч с колебаниями по направлению X будет еще находиться внутри пластинки. Когда же луч X дойдет до верхней границы, луч Y будет уже в воздухе на расстоянии Δ от кристаллической пластинки. Это расстояние Δ называется разностью хода. Она останется постоянной на всем дальнейшем пути обоих лучей в воздухе. Ясно, что величина Δ для монохроматического света зависит от двух причин: во-первых, от разностей показателей преломления обоих лучей в данном направлении кристалла и, во-вторых, от толщины кристаллической пластинки. Разность хода дается обычно в миллимикронах. Для различных длин волн она будет иметь различные значения.

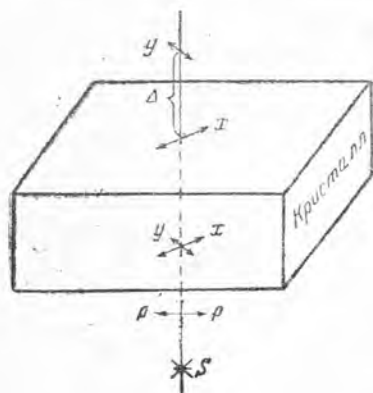


Рис. 5.

В заключение этой главы укажем на интересное свойство некоторых кристаллов вращать плоскость поляризации. Оно заключается в том, что в вошедшем в кристалл поляризованном луче направление плоскости поляризации непрерывно изменяется. Плоскость поляризации закручивается вправо или влево, по закону правого или левого винта. Угол поворота плоскости поляризации зависит, во-первых, от свойств самого вещества, во-вторых, от толщины кристаллического объекта и, в-третьих, от длины волны света. Способность вращать плоскость поляризации, при прочих равных условиях, варьирует от вещества к веществу в широких пределах. Чем толще кристаллическая пластинка и чем меньше длина волны света, тем больше для данного вещества угол поворота плоскости поляризации¹.

II. ОПТИЧЕСКИЕ ПОВЕРХНОСТИ КРИСТАЛЛОВ

Если представить себе, что в какую-либо изотропную среду (например, в воздух, воду и т. п.) помещена светящаяся точка и отметить через определенный промежуток времени места, до которых достиг свет по различным направлениям, то получится шаровая поверхность (рис. 6), так как в изотропной среде свет распространяется во все стороны с одинаковой скоростью.

Эта поверхность называется поверхностью скоростей

¹ Основные понятия оптики доступно и несколько более подробно изложены в книге С. И. Вавилова [3], к которой и рекомендуем обратиться интересующихся этим разделом. Ред.

лучей или поверхностью световой волны. Точно такой же поверхностью будут характеризоваться оптические явления в кристаллах кубической сингонии.

Если представить себе, что тот же опыт проделан с кристаллами средних сингоний (гексагональной, тетрагональной или тригональной), то в результате будем иметь поверхность скоростей лучей не только в виде шара, но еще и эллипсоида вращения, вписанного или описанного около шара.

Выше мы говорили, что луч, проходя через кристалл, в общем случае распадается на два поляризованных в двух взаимно перпендикулярных направлениях луча, идущих по одному направлению с разными скоростями¹.

На рис. 7 изображена поверхность скоростей лучей для одноосных кристаллов. Если в некоторый момент времени зарегистрированы положения, до которых дошел свет от источника в направлении В, то в общем случае мы получим два положения: В₁ и В₂.

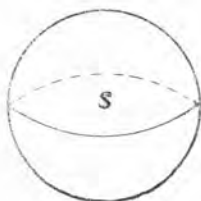


Рис. 6.

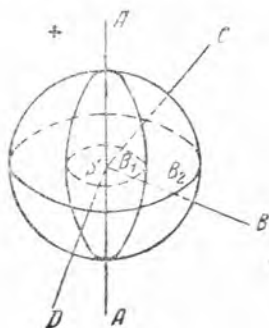


Рис. 7.

соответственно двум поверхностям эллипсоидальной В₁ и шаровой В₂. Отметив в этот же момент аналогичные точки на лучах SC, SD и т. д., мы целиком получим двойную поверхность скоростей лучей или, сокращенно, поверхность лучей. Иначе она называется поверхностью волны.

В кристаллах, характеризующихся этими видами поверхности скоростей лучей, есть лишь одно направление—АСА, в котором не произойдет распада луча на два, причем луч, прошедший через кристалл в этом направлении, не будет поляризоваться.

Это направление носит название оптической оси, а кристаллы, имеющие такую поверхность скоростей лучей, носят название одноосных кристаллов.

В качестве примера нами был выбран оптически положительный кристалл, то-есть такой, у которого эллипсоид вписан в шар. Для

¹ Строго говоря здесь речь идет не о луче, а о волновой нормали (см. ниже).

оптически отрицательных кристаллов характерно обратное положение, т. е. у них шар вписан в эллипсоид вращения (рис. 8).

Если пустить луч в направлении, соединяющем места касания эллипсоида с шаром— AA_1 , то эффект будет тот же, что и для оптически положительных кристаллов.

Из двух лучей, распространяющихся в оптически одноосном кристалле по одному направлению, один носит название о бы к-

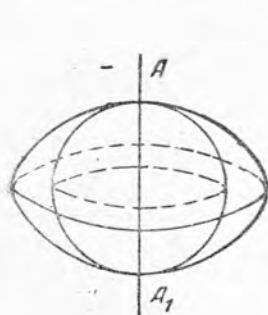


Рис. 8.

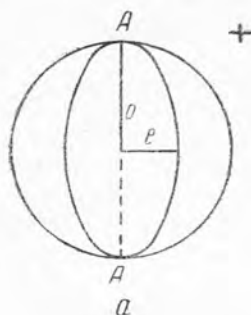


Рис. 9а.

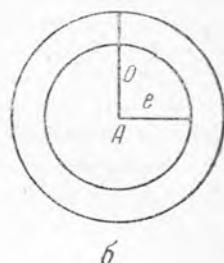


Рис. 9б.

новенного луча, другой — необыкновенного. Обыкновенный луч—это тот, которому соответствует шаровая поверхность скоростей, а необыкновенный—тот, которому соответствует эллипсоидальная поверхность. Обыкновенный луч обозначается через ω или o , необыкновенный через ε или e . На рис. 9 показаны два сечения поверхности скоростей лучей одноосного положительного

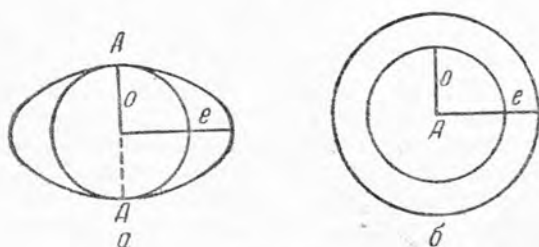


Рис. 10.

кристалла: а) через оптическую ось и б) перпендикулярно к оптической оси.

На рис. 10 показаны те же сечения для оптически отрицательного кристалла.

Итак, необыкновенный луч отличается от обыкновенного тем, что скорость распространения его зависит от направления в кристалле, скорость же распространения обыкновенного луча от направления не зависит.

Каждому необыкновенному лучу в кристалле OS (рис. 11), то есть каждому радиусу—вектору эллипсоидальной поверхности, соответствует определенная нормаль ON. Эта нормаль является перпендикуляром, опущенным из центра эллипсоида на плоскость, касательную к эллипсоиду в точке S.

Для обыкновенной волны луч и нормаль совпадают по направлению. Для необыкновенной волны в общем случае луч и нормаль по направлению не совпадают.

Понятие волновой нормали имеет особое значение, так как скорость нормали V_n (а не луча V_s) обратно пропорциональна показателю преломления. Кроме того, направления колебаний электрического и магнитного векторов перпендикулярны к V_n (а не к V_s). Всякая волновая нормаль взаимно сопряжена с соответствующим лучом.

Зная поверхность скоростей лучей для данного кристалла, можно без труда построить поверхность скоростей нормалей. Для обыкновенной волны одноосных кристаллов это будет шар, для необыкновенной—овалонд вращения (рис. 12, а).

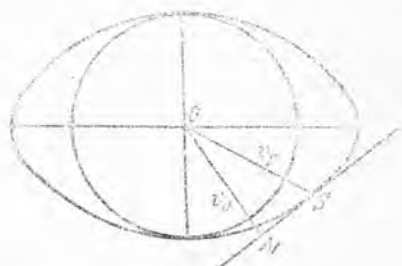


Рис. 11.

До сих пор мы говорили о скоростях распространения света в кристаллах. Однако экспериментально иммерсионным методом определяются не скорости, а показатели преломления. Поэтому для работы удобнее построить модель оптических явлений в кристаллах в виде такой поверхности, которая отвечала бы не скоростям распространения света, а показателям преломления. Для этого нужно откладывать на направлениях лучей или нормалей величины, обратные скоростям V_s и V_n , т. е. $\frac{1}{V_s}$ и $\frac{1}{V_n}$. Ясно, что полученные поверхности будут также двойными.

Первая двойная поверхность (построенная на $\frac{1}{V_s}$) не представляет для нас интереса. Вторая же, наоборот, весьма интересна, так как величины $\frac{1}{V_n}$ являются показателями преломления кристалла. Эта поверхность носит название двойной поверхности показателей преломления. Для одноосного положительного кристалла она будет иметь форму шара, вписанного в сплюснутый эллипсоид вращения (рис. 12, б). Ясно, что эта двойная поверхность связана однозначно с исходной двойной поверхностью скоростей лучей.

Далее можно внести еще одно упрощение, заменив двойную поверхность одинарной—эллипсоидом.

В общем случае сечение эллипсоида будет эллипсом, полуоси которого в определенном масштабе будут характеризовать обе

световые величины. Такая одинарная поверхность носит название *индикатрисы* и вполне заменяет двойную поверхность показателей преломления.



Рис. 12.

На рис. 13 разрез двойной поверхности показателей преломления одноосного положительного кристалла изображен сплошными линиями, а разрезы одинарной поверхности (индикатриса) — пунктиром.

Обе оси индикатрисы равны осям эллипсоида показателей преломления необыкновенного луча, но, в то время как в двойной поверхности осью вращения являлась меньшая ось эллипсоида, у индикатрисы — большая.

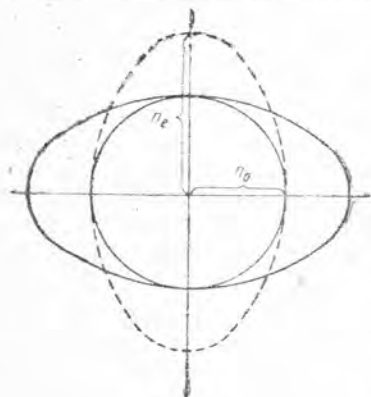


Рис. 13.

Имея такую одинарную поверхность, мы можем определить любые элементы двойной поверхности. Разница в построении обеих поверхностей та, что показатели преломления в двойной поверхности откладывались по направлению распространения света (по направлению обеих совпадающих нормалей), в одинарной же поверхности величины показателей преломления откладываются в плоскости, перпендикулярной к направлению распространения света — по направлениям

главных осей эллипса сечения индикатрисы, то-есть другими словами, на направлениях колебания электрических векторов обеих нормалей, идущих в данном направлении.

На рис. 13 направление распространения света перпендикулярно к плоскости чертежа, и в этом направлении оно последовательно пересекает шар и эллипсоид двойной поверхности на расстояниях от центра, соответствующих величинам обоих показателей преломления. Для получения из двойной поверхности одинарной, необходимо величины показателей преломления отложить в плоскости, перпендикулярной к этому направлению, то-есть совпадающей с плоскостью чертежа. Приняв эти величины за главные оси, сле-

дует построить эллипс (этот эллипс показан пунктиром на рис. 13). Это будет одно из эллиптических сечений индикатрисы.

Таким образом, индикатриса—это вспомогательная воображаемая поверхность, имеющая в общем случае форму эллипсоида. Любой радиус ее соответствует в определенном масштабе показателю преломления луча, колебания которого совершаются в направлении этого радиуса.

Каждое сечение индикатрисы будет эллипсом, главные оси которого соответствуют величинам двух показателей преломления лучей. Волновые нормали этих лучей направлены перпендикулярно к выбранному сечению.

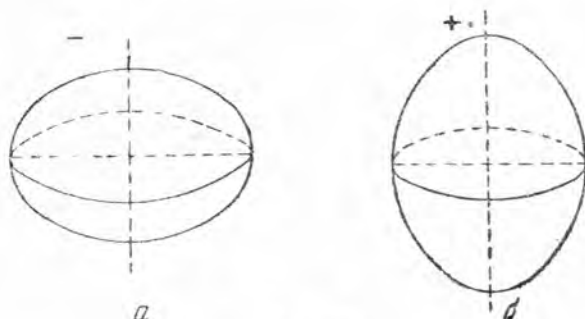


Рис. 14.

На рис. 14, а изображена отрицательная одноосная индикатриса (сплюснутый эллипсоид вращения), а на рис. 14, б представлена положительная одноосная индикатриса (вытянутый эллипсоид вращения).

Как было сказано выше, индикатриса в форме эллипсоида вращения характерна для кристаллов средних сингоний. Одноосной она называется потому, что в ней имеется одна оптическая ось,—одно направление, по которому не происходит разложения луча на два. Это направление совпадает с осью вращения. Перпендикулярно к нему лежит круговое сечение эллипсоида.

Для полной характеристики одноосной индикатрисы надо знать два показателя преломления— N_o и N_e .

Если $N_o > N_e$, то кристалл оптически отрицателен, в случае обратного отношения, кристалл положителен.

Кристаллы низших сингоний (ромбической, моноклинной и триклинной) характеризуются индикатрисой, построенной на трех главных показателях преломления¹. Представление о ней мы получим,

¹ Описывается такой эллипсоид уравнением $\frac{x^2}{N_o^2} + \frac{y^2}{N_m^2} + \frac{z^2}{N_p^2} = 1$, где N_g , N_m и N_p — постоянные величины, характеризующие главные показатели преломления данного кристаллического вещества.

если мысленно несколько сдвинем эллипсоид вращения (одноосную индикатрису) в направлении, перпендикулярном к оси вращения. Бóльший показатель преломления обозначается через N_g , средний N_m и меньший N_p^1 .

На рис. 15а, 15б и 15в показаны три главных разреза индикатрисы низших сингоний: на рис. 15а, сечение $N_g N_p$; на рис. 15 б, сечение $N_g N_m$ и на рис. 15 в, сечение $N_m N_p$.

Первое сечение интересно тем, что в нем лежат оптические оси. В самом деле, если мы взглянем на эту индикатрису в направлении N_m , то в плоскости чертежа будет сечение $N_g N_p$.

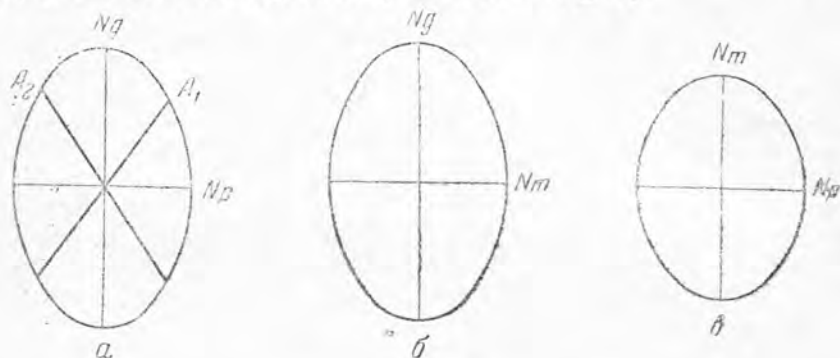


Рис. 15.

Вспомнив построение индикатрисы, можно сказать, что луч (точнее—нормаль), прошедший в направлении N_m , (т. е. перпендикулярно чертежу), разложится на два луча с показателями преломления, равными осям эллипса сечения, т. е. N_g и N_p . Если луч проходит в направлении N_g , то он распадается на два луча с показателями преломления N_m и N_p , так как сечение индикатрисы, перпендикулярное этому направлению, как раз и будет $N_m N_p$.

Если пускать луч в плоскости $N_g N_p$ (т. е. в плоскости чертежа) (рис. 16) из положений 1; 2; 3 и т. д., то соответственно он будет распадаться на два луча: один из них всегда будет иметь показатель преломления N_m , а другой при переходе из первого положения во второе, третье и т. д. будет менять величину показателя преломления от N_p в сторону увеличения ($N_1 > N_p$, $N_2 > N_1$ и т. д.). Эту операцию можно продолжать вплоть до направления N_p . Луч, идущий в этом направлении, распадается на два с показателями N_m и N_g . Отсюда следует, что один из лучей менял величину показателя преломления в пределах от N_p до N_g , а второй оставался всегда равным N_m . Но так как величина N_m всегда имеет промежуточное значение между N_g и N_p , то, следовательно, был момент, когда изменяющийся показатель преломления был в точности равен N_m .

¹ Начальные буквы французских слов: «grande», «moyenne», «petite».

На рис. 16 это показано для третьего луча. Другими словами, сечение индикатрисы, перпендикулярное лучу 3, есть окружность (проекция этой окружности на рис. 16 показана пунктиром), а следовательно, пропуская луч света в этом направлении, мы не получим распада его на два луча. Это направление будет оптической осью A_1 . Аналогичное направление с другой стороны симметричное Ng (и Np), является второй оптической осью A_2 . Других таких направлений в кристалле не будет — их только два.

Поэтому индикатриса этого типа носит название двуосной. Сечение Ng Np называется плоскостью оптических осей.

Если биссектрисой острого угла оптических осей является Ng , то знак индикатрисы положительный, если же биссектрисой будет Np , то знак будет отрицательный.

Острый угол между оптическими осями обозначается $2V$ и называется углом оптических осей. Если этот угол уменьшается до нуля, то двуосная индикатриса превращается в одноосную.

Все оптические поверхности (двойные и одинарные) связаны между собой и выводятся одна из другой; поэтому достаточно знать лишь одну из них.

Говоря об одноосных кристаллах, мы останавливались на характеристике главнейших из них. Поверхность скоростей лучей в двуосных кристаллах настолько сложна, что передать их форму на чертеже почти не представляется возможным.

Для нашей задачи (понимание основ иммерсионного метода) вполне достаточно знание индикатрисы.

Она удобнее остальных поверхностей во-первых тем, что это одинарная поверхность и, во-вторых, тем, что она построена на показателях преломления вещества, то-есть как раз на тех величинах, которые мы измеряем иммерсионным методом.

По аналогии с двуосной индикатрисой, в качестве характеристики одноосных кристаллов приводят два показателя преломления: 1) Ng и Nm — для оптически положительных кристаллов (для них $Ng = Nm$) и 2) Nm и Np — для отрицательных (для них $Ng = -Nm$).

Вместо значков Ng , Nm и Np некоторые авторы употребляют соответственно знаки γ , β , α или $N\gamma$, $N\beta$, $N\alpha$.

Между углом оптических осей и показателями преломления в двуосной индикатрисе существует следующая математическая зависимость:

$$\operatorname{tg} V = \sqrt{\frac{1}{\frac{Np^2}{Nm^2} - 1} - \frac{1}{1 - \frac{Ng^2}{Nm^2}}} \quad \text{или} \quad \sin V = \frac{Ng}{Nm} \sqrt{\frac{Nm^2 - N_1^2}{Ng^2 - Nm^2}}.$$

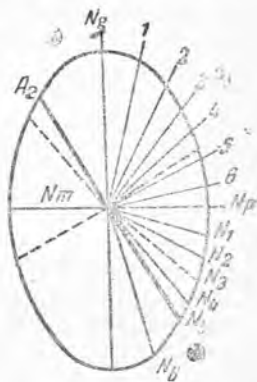


Рис. 16.

В практике можно пользоваться приближительной формулой:

$$\operatorname{tg} V = \sqrt{\frac{N_m - N_p}{N_g - N_m}}.$$

Если V получится больше 45° , то-есть $2V > 90^\circ$, то берется дополнительный до 180° угол со знаком минус.

III. ОРИЕНТИРОВКА ИНДИКАТРИСЫ В КРИСТАЛЛАХ

Резюмируя содержание предыдущей главы, можно констатировать наличие в кристаллах трех типов индикатрис: шаровой, одноосной (эллипсоид вращения) и двуосной. Индикатрисы последних двух видов подразделяются еще на отрицательные и положительные.

Индикатриса в форме шара наблюдается в кристаллах кубической сингонии. Говорить здесь об ее ориентировке не приходится, так как всякая индикатриса находится в любой точке кристалла, в шаре же не имеется каких-либо особых направлений. Одноосная индикатриса характерна для кристаллов средних сингоний. Ось вращения ее (оптическая ось) совпадает с главной осью симметрии кристалла. Кристаллы низших сингоний характеризуются двуосной индикатрисой. В кристаллах ромбической сингонии с координатными осями, являющимися также двойными поворотными осями (или нормальными к плоскостям симметрии), совпадают двойные оси симметрии индикатрисы (N_g , N_m , N_p). Их часто называют также осями индикатрисы. Оптические же оси располагаются, следовательно, под произвольными углами, вполне определенными при данной температуре и при данной длине волны света для каждого вещества или каждой модификации вещества.

Для определения ориентировки индикатрисы в кристаллах ромбической сингонии нужно, следовательно, найти, с какими из кристаллографических (координатных) осей (X , Y и Z) какие оси индикатрисы совпадают.

Возможно представить себе шесть комбинаций:

- 1) $N_g = X$, $N_m = Y$, $N_p = Z$;
- 2) $N_g = X$, $N_p = Y$, $N_m = Z$;
- 3) $N_m = X$, $N_g = Y$, $N_p = Z$;
- 4) $N_m = X$, $N_p = Y$, $N_g = Z$;
- 5) $N_p = X$, $N_g = Y$, $N_m = Z$;
- 6) $N_p = X$, $N_m = Y$, $N_g = Z$.

Характеризуя ориентировку, достаточно, конечно, указать совпадение двух осей индикатрисы, так как третья находится методом исключения.

В кристаллах моноклинной сингонии лишь одна ось индикатрисы совпадает с двойной осью или нормалью к плоскости сим-

метрии кристалла, то-есть координатной осью Y . Две другие оси индикатрисы лежат в плоскости симметрии или плоскости нормальной к двойной оси кристалла. Они располагаются там под определенным углом к третьей и первой координатным осям. Этот угол является характерным для данного вещества (модификации).

На рис. 17а, показан разрез моноклинного кристалла. Плоскость чертежа совпадает со вторым пинакоидом. Первый и третий пинакоиды перпендикулярны к плоскости чертежа. Координатные оси X и Z лежат в плоскости чертежа. Ось Y перпендикулярна к плоскости чертежа и проектируется в точку пересечения X и Z .

На чертеже показана также ориентировка индикатрисы. Nm и Np лежат в плоскости чертежа, Ng , следовательно, совпадает с координатной осью Y . Nm образует угол в 15° с осью Z . Обозначение такой ориентировки будет: $Ng = Y$; $Nm : Z = 15^\circ$.

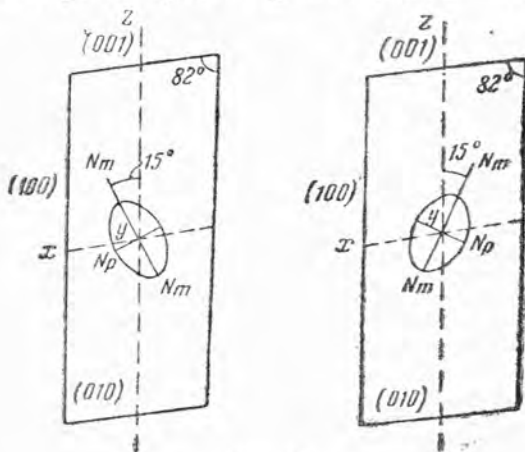


Рис. 17.

В моноклинной сингонии возможны те же шесть случаев, что и в ромбической, с той лишь разницей, что здесь лишь одна ось индикатрисы точно совпадает с кристаллографической осью, две же другие—образуют некоторые углы с координатными осями. Отмечается поэтому один из них. В нашем примере это будет угол в 15° , образуемый средней осью индикатрисы с координатной осью Z . Этот угол у разных веществ может принимать любое значение от 0 до 45° ; он носит название главного угла погасания моноклинных кристаллов (см. ниже).

Для полной характеристики необходимо еще указать, в какую сторону от оси Z наклонена ближайшая ось индикатрисы, иными словами, в тупом или остром углу системы координат кристалла она лежит.

Случай, изображенный на рис. 17 а, когда ближайшая к Z ось Nm лежит в тупом углу, обозначается буквой h или знаком $+$. (плюс) когда же эта ось лежит в остром углу (рис. 17,б)—буквой v

или знаком — (минус). Некоторые авторы знаками + и — обозначают обратное положение к только что указанному. Чтобы избежать путаницы, мы оставим буквенное обозначение.

В триклинной сингонии отсутствуют оси симметрии; поэтому индикатриса располагается произвольно; для характеристики ее ориентировки необходимо указать, какие углы образует каждая ось индикатрисы с ближайшей кристаллографической осью.

Если данное кристаллическое вещество обладает дисперсией, то величины показателей преломления (осей индикатрисы) будут различными для света различных длин волн. Вследствие этого может сильно измениться величина угла оптических осей. Ориентировка индикатрисы тоже меняется с изменением длины волны света.

Исследование дисперсии не обязательно при определении веществ; кроме того, оно занимает много времени и требует специальной аппаратуры.

Для целей определения вполне достаточно лишь констатировать наличие или отсутствие сильной дисперсии у исследуемого объекта.

IV. ПОЛЯРИЗАЦИОННЫЙ МИКРОСКОП

1. Устройство николя

Прибором для получения поляризованного света служит николь (призма Николя)¹. В основу его конструкции положено свойство лучей поляризоваться при прохождении через кристалл. Но так как луч света, попавший в кристалл, распадается на два луча поляризованных в двух взаимно-перпендикулярных плоскостях, то для того, чтобы иметь свет, поляризованный в одной плоскости, надо избавиться от одного луча. Это достигается тем, что лучи на своем пути в кристалле встречают расположенную под определенным углом пластинку с показателем преломления, подобранным таким образом, что для одного из лучей осуществляется полное внутреннее отражение. Этот луч отклоняется в сторону и поглощается оправой николя.

Обычно николи изготавливаются из кристаллов исландского шпата (CaCO_3). Для этого из совершенно прозрачного кристалла выбивают по спайности параллелепипед, у которого длина приблизительно втрое больше ширины. Затем верхняя и нижняя грани его подшлифовываются так, чтобы острый угол их в плоскости симметрии параллелепипеда стал равным 68° (рис. 18) вместо угла в $70^\circ 52'$, бывшего у параллелепипеда, выбитого по спайности. Затем

¹ Кроме призм Николя, в оптике часто применяется и ряд других конструкций поляризационных приборов. Условно, на практике, их принято также называть николями. Постепенно входят в употребление новые приборы — поляриды, — основанные на поглощении кристаллом одного из поляризованных лучей. Редакция.

параллелепипед распиливается так, чтобы плоскость распила BD шла под прямыми углами к верхней и нижней сторонам его. После полировки обе половинки кристалла склеиваются канадским балзамом и заделываются в черную оправу, показанную в разрезе AA_1DD_1 и BB_1CC_1 .

Главная ось симметрии кристалла показана на рис. 18 направлением $NpNp$. Она лежит в плоскости чертежа.

Луч, идущий от источника света S с постоянно меняющимися направлениями колебаний, при входе в кристалл распадается на два луча, один с колебаниями, параллельными плоскости чертежа (изображен линией с черточками), и второй с колебаниями, перпендикулярными к плоскости чертежа (изображен линией с точками). Эти лучи преломляются, так как входят в кристалл не под прямым углом, а под углом в 68° (в кристалле лучи будут преломляться даже при падении под углом 90°). От источника света они идут параллельно оси оправы николя, и в этом случае показатели преломления их в кристалле равны 1,658 и 1,536, показатель же преломления канадского балзама равен 1,537. Углы падения лучей на нижнюю грань николя и на плоскость распила его подобраны таким образом, что для луча с показателем преломления 1,658 получается полное внутреннее отражение.

Второй поляризованный луч с показателем преломления 1,536 свободно проходит через николь. Выйдя из николя, он остается поляризованным в той же плоскости.

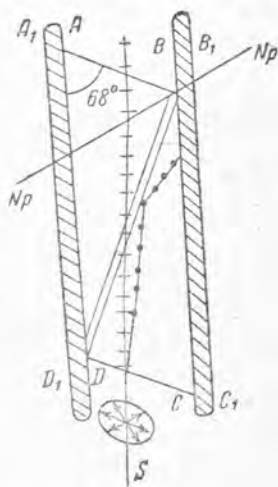


Рис. 18.

Выше мы говорили о том, что поляризованный свет удобно представить себе в форме жесткой ленты. Соответственно этому николь мы можем представить себе в виде щели, в которую такая лента проходит в одном направлении и не может пройти в перпендикулярном (рис. 19). Это представление, как бы грубо оно ни было, очень удобно при работе.

Если расположить по вертикали вместо одного два николя, притом один над другим так, чтобы оба они пропускали лучи с колебаниями в одной и той же плоскости (мы всегда предполагаем, что свет идет снизу вверх, как это имеет место при работе с микроскопом), то никакой разницы мы не заметим. Поле зрения будет освещено в случае прохождения света через один или через два николя. Такое положение николей носит название параллельного.

Если же верхний николь повернуть на 90° , то световая лента не сможет пройти в его щель, в результате чего мы не увидим источника света. Свет не сможет пройти через николи, установленные

таким образом. Это положение называется скрещенным. Если верхний николь мы повернем не на 90° , а на иной угол, отличный от 90° , то мы получим промежуточный эффект. Об этом более подробно будет сказано ниже.

При повороте верхнего николя на 360° мы, таким образом, будем наблюдать два положения темноты (никколи скрещены) и два положения максимального освещения (никколи параллельны).

Если верхний николь освещать снизу неполяризованным светом (убрав, скажем, для этого нижний николь), то, вращая его, мы не получим никаких изменений освещения от положения николя. Верхним николем мы как бы анализируем свет, определяем, поляризованный он или нет и, если поляризованный, то в какой плоскости. Поэтому верхний николь в системе из двух николей называется анализатором, а нижний — поляризатором, так как его назначение — поляризовать свет. Оба эти названия относятся только к назначению николей, устройству же их одинаковое.

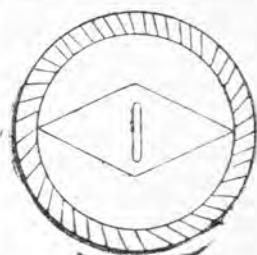


рис. 19.

2. Поляризационный микроскоп

Прибором, служащим для измерения оптических констант кристаллов, является по л я р и з а ц и о н н ы й м и к р о с к о п. Характерной его особенностью является сочетание обычного микроскопа с поляризационным аппаратом (два николя — поляризатор и анализатор) и с коноскопическим аппаратом (т. е. с прибором, позволяющим вести наблюдения в сходящемся пучке света).

В зависимости от того, работают ли в параллельном пучке поляризованного света (если коноскопический аппарат выключен) или в сходящемся (если коноскопический аппарат включен), различаются два метода работы: ортоскопический и коноскопический.

Для поляризационного микроскопа характерно также наличие двух взаимно перпендикулярных нитей в окуляре, пересечение которых указывает место выхода оптической оси микроскопа и вращающегося в своей плоскости предметного столика (ось вращения последнего совпадает с оптической осью микроскопа). Кроме того, поляризационный микроскоп имеет целый ряд измерительных приборов (угловых и линейных), о которых будет сказано позже.

Схема устройства поляризационного микроскопа представлена на рис. 20, а на рис. 21 изображен поляризационный микроскоп, причем обозначения частей на обоих этих рисунках одни и те же.

Окуляр Ок представляет собою систему линз, вделанных в цилиндрическую оправу (рис. 22), которая вставляется в верхнюю часть тубуса микроскопа. Окуляр дает прямое мнимое (увеличенное) изображение предмета.

В оправе окуляра имеется винтик 1, который входит в соответствующий прорез на конце тубуса. Это не позволяет окуляру вращаться вокруг оси микроскопа. Если же такое вращение почему-либо необходимо, то этот винтик легко можно вывинтить. В окуляре имеются две взаимно перпендикулярные нити (крест нитей, окулярный крест). Перед работой их нужно установить так, чтобы они были отчетливо видны (см. ниже раздел «Установка микроскопа»).

Точка пересечения нитей совпадает с оптической осью микроскопа. Направление каждой нити показывает направление колебаний в поляризаторе и анализаторе.

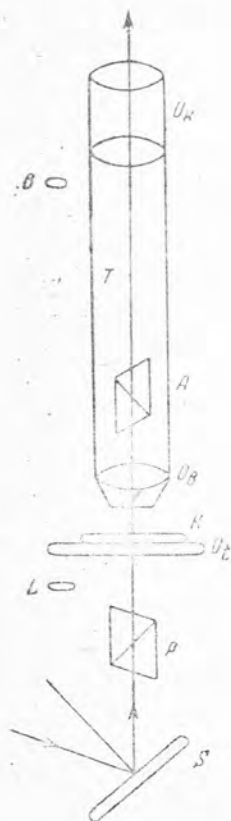


Рис. 20.

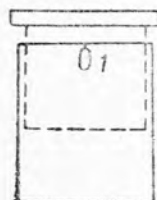


Рис. 22.

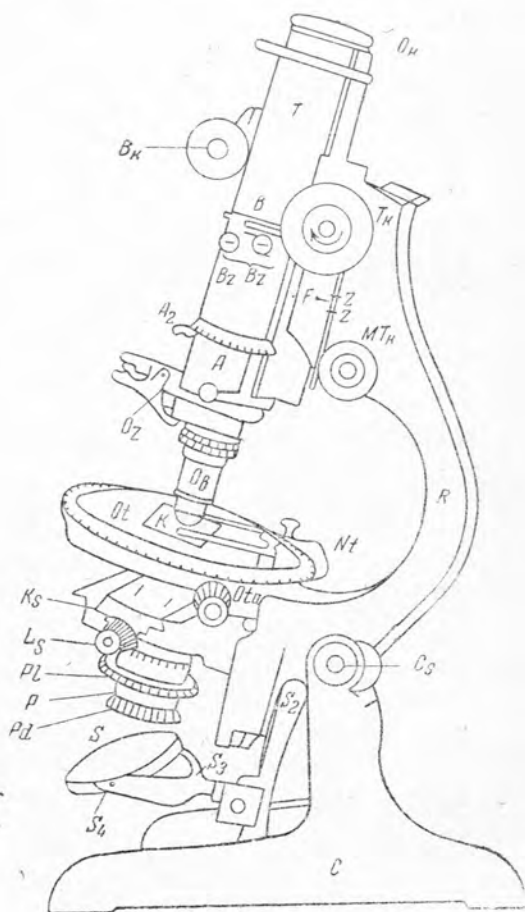


Рис. 21.

торе (см. ниже поверку этого). К микроскопу прилагается несколько окуляров, причем некоторые из них имеют вместо крестов нитей шкалу с делениями или же сеточку с взаимно перпендикулярными линиями, проведенными через равные промежутки. Установка шкалы и сеточки делается так же, как и установка крестов нитей. В некоторых конструкциях окуляров крест нитей, шкала или сеточка могут свободно выниматься и заменяться. Для этого необходимо только отвинтить верхнюю часть окуляра.

Об — объектив представляет собою систему линз, вделанных в оправу (см. рис. 21), которая укрепляется в нижней части тубуса при помощи щипцов Oz. Объектив дает обратное действительное (увеличенное) изображение предмета.

Смена объективов производится так: сначала сжимается левой рукой пружинка щипцов, затем правой рукой объектив поворачивается около своей оси и затем отделяется от тубуса. Чтобы вставить новый объектив, нужно сначала левой рукой сжать щипцы, затем правой приставить объектив к тубусу и повернуть так, чтобы наклонный штифт попал в соответствующий вырез в щипцах. Затем следует отпустить щипцы. После этого обязательно попробовать, не вращается ли (или не качается ли) объектив. Если такое качание возможно, то объектив вставлен неправильно и надо, разжав щипцы, вновь попытаться его вставить.

В других конструкциях микроскопов укрепление объективов и смена их производится иначе.

Часто применяется револьверное кольцо, в отверстия которого ввинчиваются объективы. Смена их производится простым поворотом кольца. Однако эту конструкцию нельзя предпочесть, так как со временем кольцо расшатывается и объективы не могут быть достаточно точно сцентрированы.

В некоторых конструкциях объективы находятся на плоских салазках, которые непосредственно вдвигаются в соответствующие прорезы на конце тубуса.

На верхней части оправы объектива имеется металлическое кольцо (рис. 23), за которое объектив прижимается щипцами к тубусу микроскопа. В кольцо вделаны два винтика с четырехгранными головками Z_1 и Z_2 , расположенные под 90° друг к другу. На эти головки могут быть надеты два ключика, которые прилагаются к микроскопу и хранятся обычно в коробке с объективами. Это — центрирующие винты. О способе центрировки объективов см. ниже. В некоторых конструкциях микроскопов центрирующие винты находятся не непосредственно на объективе, а на нижней части тубуса.

К микроскопу прилагается несколько объективов; они дают в комбинации с окуляром увеличения от 16 до 500 раз и больше.

При каждом микроскопе дается таблица увеличений для всех комбинаций окуляров с объективами. Если такая таблица отсутствует, то определение увеличения необходимо произвести самому.

Объектный столик Ot (см. рис. 21) у поляризационных микроскопов всегда круглый и может вращаться в своей плоскости. По краю столика расположен лимб с делениями через 1° . У края столика находится нониус Nt . Столик может быть закреплен в любом положении с помощью арретирующего винта Ota .

Препарат K кладется на середину столика и зажимается двумя пружинами-лапками (см. рис. 21). Вместо этих пружинных зажимов можно пользоваться специальными салазками, которые обычно прилагаются к микроскопу. Преимуществом последних является возможность плавно и через равные промежутки передвигать объект и таким образом систематически пересмотреть все осколки кристаллов в препарате.

S — зеркальце микроскопа. Свет от лампы, отраженный этим зеркальцем, освещает препарат. С одной стороны зеркальце плоское, с другой — слабо вогнутое. Зеркальце может перемещаться вверх и вниз по рычагу S_2 . Рычаг сам может отклоняться в стороны от плоскости симметрии микроскопа (на рис. 21 плоскость симметрии микроскопа почти совпадает с плоскостью чертежа). Кроме того, зеркальце может вращаться около двух взаимно перпендикулярных направлений. Одно из них лежит в плоскости симметрии микроскопа и перпендикулярно к оси микроскопа S_3 , второе перпендикулярно к плоскости симметрии микроскопа и к оптической оси его S_4 . Все эти движения зеркальца обеспечивают ровное и хорошее освещение препарата, независимо от того, пользуемся ли мы естественным (рассеянным) светом или светом от лампы.

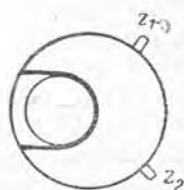


Рис. 23.

Станина микроскопа состоит из двух частей: тяжелой подставки C и соединенной с ней при помощи шарнира Cs рукоятки R . Последняя несет на себе кремальеру Tk , с помощью которой вдоль оптической оси микроскопа подымается и опускается тубус.

Несколько ниже кремальеры Tk расположена вторая кремальера MTk , служащая для микрометрических движений тубуса. На нижнем конце тубуса между анализатором A и объективом имеется прорез-щель, в которую вводятся при работе некоторые приборы (компенсаторы — соответствующее объяснение см. ниже).

Этот прорез идет под углом в 45° к направлению колебаний лучей в николях.

Поляризационный аппарат микроскопа состоит из двух николей: нижнего — поляризатора P и верхнего — анализатора A (см. рис. 21).

В начале главы были изложены принцип и схема устройства николя, чтобы читателю сразу же стало ясно основное отличие микроскопа для кристаллооптических работ от обычного.

Нижний николь, как это видно на рис. 21, вделан в цилиндрическую оправу, которая входит в полый цилиндр, могущий при помощи кремальеры (на рисунке не видно) подыматься к самому

столику или же удаляться от него вдоль оси микроскопа. Оправа поляризатора имеет штифик, который может быть вставлен и закреплен в одном из четырех вырезов цилиндрической оправы (0,90, 180 и 270°). В некоторых конструкциях вместо этих вырезов имеется лимб (Р1 на рис. 21).

Цилиндрическая оправа поляризатора сверху и снизу закрыта плоско-параллельными стеклами, назначение которых предохранять николю от загрязнения и царапин. В верхней или же в нижней части оправы поляризатора имеется ирисовая диафрагма Рd.

Верхний николю — анализатор А (рис. 21)—располагается в самой нижней части тубуса микроскопа. Он вделан в оправу и может выдвигаться вместе с нею в сторону (перпендикулярно к оси микроскопа) в том случае, когда имеют в виду сделать наблюдение без анализатора. Это движение производится легким нажимом пальца. У некоторых поляризационных микроскопов анализатор может также поворачиваться около оси микроскопа на 90°. Этим поворотом достигается смена скрещенного положения николей на параллельное. Осуществляется этот поворот анализатора при помощи ручки Аг.

В некоторых микроскопах оба николя соединены между собой штангой, позволяющей поворачивать их совместно на любые углы около оптической оси. Для отсчетов углов поворота служит в этом случае добавочный лимб, находящийся в верхней части тубуса. Верхний николю можно отстегнуть от штанги, и тогда с поворотом штанги вращается только нижний николю. Это приспособление имеет некоторые преимущества только при работе на федоровском столике.

Коноскоп, то-есть прибор для наблюдения в сходящемся свете, является необходимой частью поляризационного микроскопа. На особых салазках Кs,двигающихся в прорезы верхней части полого цилиндра, в котором помещается поляризатор, монтирована длиннофокусная линза-коллектор, назначение которой сосредоточить максимум света, прошедшего через поляризатор, на препарате. Коллектор дает слабо сходящийся пучок света. Над коллектором имеется ирисовая диафрагма.

При помощи поворота ручки Ls над коллектором вводится линза Лазо (Lasaux). Она может быть поднята вместе с оправой поляризатора с помощью кремальеры (на рис. 21 кремальеры не видно) до самого препарата. В этом случае препарат освещается сильно сходящимся пучком света. Салазки с коллектором, диафрагмой и линзой Лазо могут быть совсем удалены, если надо получить строго параллельный пучок света. Однако для этого вполне достаточно вывести только линзу Лазо (поворотом ручки Lг), оставляя коллектор на месте. Слабо сходящийся пучок света, даваемый им, не мешает работе ортоскопическим методом. Имея это в виду, в некоторых микроскопах коллектор прочно вделывают в оправу поляризатора, заменяя им в этом случае также и верхнее плоско-параллельное стекло.

Чтобы вести наблюдения в сходящемся свете, необходимо возможно ближе подвести объектив к объекту, то-есть пользоваться большими увеличениями (короткофокусными объективами).

Для наблюдения интерференционных фигур в сходящемся свете необходимо в тубус ввести добавочную линзу В—так называемую линзу Бертрана (Bertrand). Линза Бертрана вдвигается сбоку в тубус микроскопа аналогично анализатору, но в отличие от него может еще с помощью кремальеры Вк передвигаться вдоль оси микроскопа. Под линзой имеется еще ирисовая диафрагма. Наблюдать интерференционные фигуры можно и без линзы Бертрана, но тогда надо еще вынуть окуляр.

3. Компенсаторы

В конце первого раздела мы дали определение разности хода, указав, что она зависит от двух причин: 1) от разности показателей преломления обоих лучей в кристалле и 2) от толщины кристаллической пластинки, которую этим лучам приходится пройти. От величины же разности хода зависит, как это видно из табл. 1, интерференционная окраска кристаллической пластинки.

Таблица 1

Разность хода (в μ)	Интерфе- ренционная окраска	Разность хода (в μ)	Интерфе- ренционная окраска	Разность хода (в μ)	Интерфе- ренционная окраска
0	Черная	575	Резко-фиоле- товая	1100	Нежно-фиоле- товая
150	Синевато-се- рая	600	Синяя	1150	Синяя
230	Зеленовато-бе- лая	800	Зеленая	1350	Зеленая
275	Желтая	900	Желтая	1450	Зеленовато- желтая
536	Красная	1000	Красная	1550	Красная и т. д.

Из табл. 1 видно, что с увеличением разности хода Δ цвета меняются периодически. Если Δ мала, то интерференционные цвета называются низкими, а если велика—высокими. Один и тот же цвет, в зависимости от периода (порядка), принимает различные оттенки и становится по мере увеличения разности хода все более блеклым.

Если одно из условий, от которых зависит разность хода, оставить постоянным, а второе постепенно менять, то в скрещенных николях будет видно чередование (согласно таблице) всех интер-

ференционных цветов. Это как раз наблюдается в компенсаторах, в частности в кварцевом клине.

Как показывает само название этого прибора, он представляет собой пластинку из кварца, сошлифованную на клин (рис. 24). Этот клин заклеен канадским бальзамом между двумя стеклами. Ширина его такова, что он как раз входит в прорез тубуса микроскопа, длина же бывает разная, обычно около 50—60 мм. Толщина клина у толстого конца около 0,25 мм. Клин вышлифован из кристалла кварца таким образом, что большая ось Ng индикатрисы располагается по ширине его (как это условно показано эллипсами на рис. 24). Меньшая ось индикатрисы, следовательно, совпадает с длиной клина. Так как разность показателей преломле-

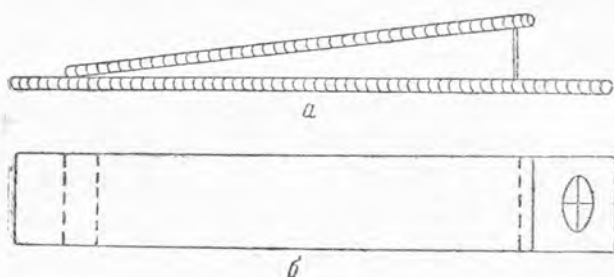


Рис. 24.

ния остается постоянной, а толщина кристалла все время меняется, то при вдвигании такого клина в прорез тубуса микроскопа в скрещенных николях будет видно постепенное изменение интерференционной окраски.

Несколько иначе построен очень распространенный компенсатор Берека. Конструктивно он отличается тем, что в нем имеется пластинка, вышлифованная из кристалла кальцита, которую с помощью ручки можно поворачивать внутри тубуса микроскопа. Разность хода в нем является функцией угла поворота. Компенсатор Берека снабжен лимбом, по которому всегда можно произвести отсчет угла поворота. В этом его преимущество перед обычными кварцевыми клиньями. Ориентировка индикатрисы в этом компенсаторе обратная ориентировке в кварцевом клине. Именно в компенсаторе Берека большая ось индикатрисы располагается по его длине.

Есть компенсаторы с постоянной разностью хода. Весьма распространенным компенсатором этого типа является гипсовая или кварцевая пластинка. Толщина ее взята такой, что она дает разность хода в 575 $m\mu$ (так называемый чувствительный фиолетовый цвет).

Небольшое изменение разности хода резко изменяет цвет пластинки. Уменьшение Δ влечет за собой изменение фиолетового

цвета на красный или желтый, а небольшое увеличение—на синий или зеленый.

Делают также пластинки, дающие не чувствительный фиолетовый цвет, а красный первого порядка (536 $m\mu$), также резко меняющийся на желтый или синий от уменьшения или увеличения разности хода.

Компенсаторы служат для определения оптического знака кристаллов осей индикатрисы, знака удлинения (зоны) и разности хода.

V. УСТАНОВКА И ПОВЕРКА МИКРОСКОПА

Перед тем как приступить к проверке микроскопа, необходимо прежде всего осветить препарат. Для этого вставляют объектив, выводят из тубуса микроскопа анализатор и линзу Бертрана и, глядя в окуляр, поворачивают зеркальце во все стороны, добывая яркого и ровного освещения. Легче найти нужное положение, если, вынув окуляр, смотреть в отверстие тубуса через объектив. Особенно это удобно, когда источником света является обычная электрическая лампочка. Если вынуть окуляр и глядеть в тубус, то можно видеть четкое изображение лампочки и без труда привести его в центр поля зрения. Пользуясь вогнутым зеркальцем, удастся лучше осветить объект. Однако лучи от вогнутого зеркальца получаются не строго параллельными. В качестве источника света лучше пользоваться специальным осветителем.

1. Установка окуляра

Окуляр перед работой должен быть установлен так, чтобы крест нитей был отчетливо виден. Всегда можно заставить глаз видеть эти нити, дав ему некоторое время для подготовки (аккомодация глаза). Однако это вредно для зрения и утомляет глаза при работе. Поэтому крест нитей должен быть установлен так, чтобы он находился в положении наиболее благоприятном для зрения. Это достигается передвижением самой верхней линзы вдоль оси окуляра. Эта линза вделана в цилиндрическую оправу (см. пунктир на рис. 22), которая может перемещаться внутри оправы окуляра. Она имеет маленький винтик, приходящийся против щели I в оправе окуляра.

Самая установка делается так: вынув окуляр из микроскопа и, глядя через него на небо или же на освещенный лист бумаги, держат его в левой руке, правой же выдвигают или вдвигают оправу верхней линзы до тех пор, пока нити не станут отчетливо видны сразу (после некоторого отдыха глаза). Нужное положение удерживается просто трением, причем обычно не имеется специальных зажимов, позволяющих иначе закрепить верхнюю линзу в этом положении.

Если на одном микроскопе работает несколько человек с разным зрением, эту операцию приходится производить каждый раз перед началом работы.

2. Центрировка объектива

Установив микроскоп, помещают на предметный столик препарат и наводят микроскоп на фокус. На центрирные винты объектива надевают ключики и, выбрав какую-либо характерную точку в препарате (маленькое зернышко, пузырек, пылинку и т. д.), совмещают ее с крестом нитей и поворачивают столик на 180° в ту или другую сторону. При этом точка из положения 1 переходит в положение 2, описав половину окружности (рис. 25). Если вращать столик в противоположную сторону, то точка придет в то же положение, но с другой стороны (пунктирная дуга).

Центр этой окружности O будет центром вращения столика микроскопа. Если совместить с ним крест нитей, то центрировка будет сделана. Для этого на-глаз передвигают препарат (не поворачивая столика) под зажимами так, чтобы этот центр O совпал с крестом нитей (рис. 26). Затем одним из центрирных вин-

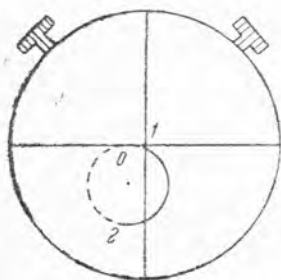


Рис. 25.

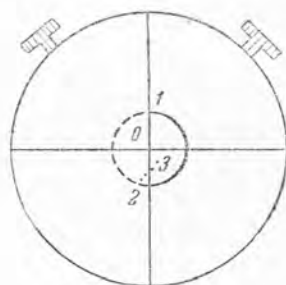


Рис. 26.

тов передвигают выбранную точку из положения 2 в положение 3, а оттуда вторым центрирным винтом ставят ее на крест нитей. После этих операций выбранная точка не должна сходить с креста нитей при вращении столика.

Такого положения никогда не удастся добиться с первого раза, но после первой центрировки диаметр круга, по которому вращается выбранная точка, всегда значительно уменьшается. Повторяя эту операцию 2—3 раза, легко добиваются того, что выбранная точка вращается вблизи самого креста нитей. Нет необходимости стремиться к тому, чтобы она при вращении столика оставалась на одном месте.

В некоторых конструкциях центрирные винты расположены по направлению нитей окулярного креста, а не под углом в 45° к ним, как это показано на рис. 25 и 26.

После окончания центрировки необходимо осторожно снять с центрирных винтов ключи. Начинаящие часто при снятии этих ключей слегка их поворачивают и тем самым вновь нарушают центрировку. Перед работой необходимо сцентрировать все объективы, чтобы не отвлекаться затем во время работы.

Центрировку объективов приходится повторять каждый раз, как только становится заметным эксцентриситет. Обычно при ежедневной работе с микроскопом это приходится делать 1—2 раза в неделю. Уже при небольшом навыке центрировка объектива занимает не более двух-трех минут.

Микроскопы, у которых центрирные винты расположены не на объективе, а на конце тубуса, менее удобны в работе, так как в них часто приходится производить центрировку после каждой смены объектива. Объясняется это главным образом тем, что при смене объектива приходится при наводке на фокус опускать (или поднимать) тубус микроскопа. Это движение тубуса происходит не строго параллельно оптической оси микроскопа.

Предметный столик не центрируется. Единственное требование, которое к нему предъявляется,—это, чтобы он плавно (без скачков) и легко вращался и мог быть закреплен в любом положении арретирующим винтом. Если этого нет, то для исправления нужно пригласить специалиста-механика.

3. Установка николей в скрещенное положение

В качестве источника света берется обычная электрическая лампочка (не матовая). Вставляют объектив, дающий небольшое увеличение. Анализатор и окуляр удаляются. Глядя в отверстие тубуса, ловят зеркальцем изображение лампы и ставят его так, чтобы раскаленная нить лампы была в центре поля зрения. Вдвигают анализатор. Ручку Аг (см. рис. 21) ставят на нуль. Вращая нижний николь в своей оправе, добиваются максимального затемнения изображения раскаленной нити. В положении максимального затемнения закрепляют нижний николь. Это очень чувствительный способ. Небольших поворотов нижнего николя уже достаточно, чтобы изображение нити ярко осветилось.

4. Определение направления колебаний, пропускаемых поляризатором

Берут кусок стекла, кладут его на стол и освещают с одной стороны (рис. 27). От источника света S лучи идут, колеблясь, во всевозможных направлениях. Отразившись от стекла (точка O) лучи поляризуются, причем направление колебаний отраженных лучей перпендикулярно к плоскости SON . Зная это, легко определить направление колебаний, пропускаемых николем. Отодвинув в сторону или сняв зеркальце микроскопа, можно без труда снять всю нижнюю часть микроскопа, находящуюся под объектным столиком (P, Pd, Ks, Ls на рис. 21).

Разбирать нижнюю часть микроскопа по частям не следует. Держа ее в руке, смотрят через поляризатор на стекло в направлении отраженных лучей (см. рис. 27) и поворачивают указанную выше часть микроскопа вокруг этого направления. При некотором

положении ее наступит максимальное затемнение. Это произойдет тогда, когда направление колебаний, пропускаемых никодем, будет перпендикулярно к направлению колебаний отраженных лучей.

Легче бывает вынуть анализатор; поэтому определять направление колебаний удобнее в нем. Запомнив это направление, вставляют на место вынутую часть микроскопа. После этого надо вновь проверить установку николей в скрещенное положение.

Рекомендуется приколоть кнопкой к внутренней стороне дверки футляра от микроскопа кусочек ватманской бумаги. На этом листке должны быть выписаны результаты некоторых проверок и установок, а также все дефекты микроскопа, которые сам исследователь устранить не может, но существование которых при работе всегда нужно учитывать.

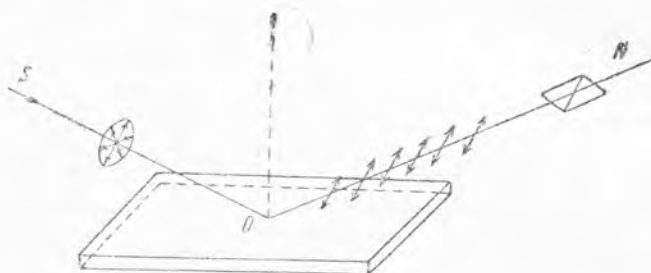


Рис. 27.

На этот листок записывается, что поляризатор пропускает лучи с колебаниями, совершающимися в плоскости симметрии микроскопа, или с колебаниями в перпендикулярной плоскости (если это наблюдается при работе с данным микроскопом).

5. Проверка перпендикулярности креста нитей

Нити в окуляре должны быть взаимно перпендикулярны. Выбирают в препарате какую-нибудь ясную прямую линию (край длинного кристалла, след от спайности, край покровного стеклышка и т. п.) и ставят ее параллельно одной из нитей окулярного креста. Подвигают эту линию возможно ближе к нити, но так, чтобы между линией и нитью оставалась, как это изображено на рис. 28, весьма тонкая щель.

Берут отсчет по нониусу лимба столика микроскопа для этого положения. Затем поворачивают столик в направлении, указанном на рис. 28 стрелкой, до тех пор, пока кристалл К не станет в положение, указанное пунктиром. Край кристалла, почти совпадавший (параллельный) с горизонтальной нитью, теперь встал в такое же положение по отношению к вертикальной нити. Разность отсчетов обоих этих положений дает угол, который образуют нити в правом верхнем квадранте. Эту операцию надо повторить несколько раз с

точностью до половины градуса и взять среднее. Если оно отличается от 90° более, чем на 1° , то его следует записать на листок, в котором собраны сведения об установке микроскопа и его дефектах.

Итак, если измерявшийся угол оказался равен, допустим, 88° , то на этом листке записывают: «Правый верхний угол между нитями в окуляре (№ такой-то) равен 88° ». Если при повороте столика кристалл отходит далеко от нити, то это значит, что объектив расцентрирован и надо повторить центрировку, как это указано выше. При производстве проверок и при работе препарат должен быть хорошо закреплен на столике зажимами или же вставлен в салазки.

6. Проверка совпадения нитей окулярного креста с направлением колебаний в николях

Для этой проверки проще всего воспользоваться веществом, кристаллизующимся в средней сингонии (т. е. оптически одноосным). Выбрать нужно одно из тех веществ, которое находится под рукой в лаборатории. Единственным требованием является, чтобы указанное вещество кристаллизовалось в удлинённых, а еще лучше игольчатых кристаллах.

Выбрав такой кристалл в препарате и установив его так, как это указано в предыдущем случае (см. рис. 28), вдвигают анализатор, и, вращая столик в ту или другую сторону, устанавливают кристалл на максимальную темноту. Выдвинув затем анализатор, смотрят, совпадает ли край кристалла с нитью или не совпадает.

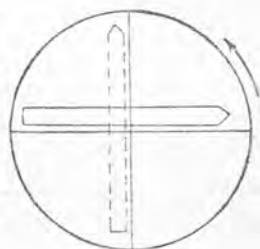


Рис. 28.

Ввиду того, что глазу бывает трудно уловить максимальное затемнение, нужно проделать это несколько раз, осторожно подводя кристалл к положению затемнения то слева, то справа, и из разности отсчетов взять среднее. Если при установке столика на этот средний отсчет край кристалла будет параллелен нити окуляра, то проверяемое нами совпадение направлений колебаний в николях с нитями в окуляре действительно существует. Если же предыдущая проверка показала, что угол между нитями не равен 90° (в нашем примере он 88 и 92°), то это обозначает, что направления колебаний в николях не могут совпадать с той и другой нитью. В этом случае надо определить, с какой же из двух нитей (вертикальной или горизонтальной) совпадает направление колебаний в одном из николей и записать это затем на специальном листке. В последнем случае измерение углов погасания надо вести, пользуясь только одной (правильной) нитью окулярного креста.

Когда направление колебаний не совпадает ни с одной нитью, работать с таким окуляром чрезвычайно неудобно, и нужно обра-

таться в оптико-механическую мастерскую, чтобы крест нитей там повернули на соответствующий угол. Если этого сделать нельзя, лучше таким окуляром не пользоваться.

Эту поверку можно сделать также, пользуясь ромбическим кристаллом.

7. Установка линзы Лазо

Оптическая ось линзы Лазо должна совпадать с оптической осью микроскопа. Как сказано в разделе «Поляризационный микроскоп», линза Лазо и коллектор с диафрагмой помещаются на особых салазках K_s (см. рис. 21). Эти салазки имеют винтик, упирающийся в оправу поляризатора. Ввинчивая или вывинчивая этот винт и вдвигая доотказа салазки, можно изменить положение линзы Лазо.

Обычно достаточно бывает такой установки на-глаз. Для этого, включив линзу Лазо, поднимают ее вверх с помощью кремальеры доотказа и совмещают центр ее с центром отверстия в столике микроскопа. Если ось линзы не совпадает с осью микроскопа, то интерференционная фигура в сходящемся свете будет освещена неравномерно—одна сторона ее будет расплывчата и освещена хуже другой. Если на-глаз установка не удалась, то ее надо улучшить, рассматривая фигуру в сходящемся свете и добываясь ровного освещения.

8. Установка линзы Бертрана

Включив линзу Бертрана, часто можно видеть, что крест нитей эксцентричен по отношению к полю зрения. Особенно хорошо это видно, если линзу Бертрана задиафрагмировать. Это происходит в том случае, когда оптическая ось линзы не совпадает с оптической осью микроскопа. Двумя винтиками B_z B_z (см. рис. 21), действующими взаимно перпендикулярно, легко ликвидировать этот эксцентриситет, совместив центр поля зрения с крестом нитей.

9. Установка микрометричного винта тубуса микроскопа

Кремальера у микроскопов обычно имеет две одинаковые головки с накаткой T_k , находящиеся с обеих сторон микроскопа (см. рис. 21). Делается это для того, чтобы поднимать и опускать тубус было одинаково удобно любой рукой (на рис. 21 видна только левая головка T_k , правая же заслонена). Если вращать головки на себя (по часовой стрелке—левой рукой и против часовой стрелки—правой рукой, при условии, если производя опыт, смотрят с той же стороны, с какой вращают), то тубус микроскопа подымается. Если же их вращать от себя, то тубус опускается. Микрометричное движение достигается вращением кремальеры MT_k , причем она, так же как и T_k , имеет две головки по обеим сторонам станины микроскопа. Микрометричное движение контролируется указателем F , который перемещается вместе с тубусом. Этот указатель всегда находится между двумя черточками

zz (см. рис. 21)¹, остающимися неподвижными при вращении микрометрического винта.

Если сначала указатель находится в середине расстояния между черточками, то при вращении микрометрического винта он начнет перемещаться (скажем, подниматься). Дойдя до верхней черточки, указатель начнет уже опускаться, несмотря на то, что МТк вращается все время в одну и ту же сторону. Дойдя затем до нижней черточки, указатель вновь изменит направление своего движения на обратное.

Таким образом, сколько бы мы ни вращали МТк, мы никогда не встретим сопротивления. Смотря на указатель, находящийся в любом положении относительно черточек, нельзя сказать, куда он начнет двигаться, если вращать левую кремальеру по часовой стрелке.

Перед работой надо установить микрометрическое приспособление так, чтобы оно действовало согласно макродвижениям тубуса, то-есть если вращать МТк на себя, тубус тоже поднимался бы (как и при вращении на себя Тк) и опускался бы при обратном вращении.

Из сказанного выше ясно, как это сделать.

Прежде всего, вращая (скажем, на себя) МТк, смотрят куда движется указатель. Если он движется вверх, то это благоприятный показатель. Остается только привести его на середину между черточками. Если же при вращении на себя указатель опускается, то следует продолжать вращение в ту же сторону. Указатель опускается до нижней черточки, затем начинает подниматься. Когда он, поднимаясь, дойдет до середины, следует прекратить вращение. Установка сделана.

Эту установку обязательно надо сделать перед работой и проверить несколько раз во время работы. Это сэкономит много времени при измерении показателей преломления. С кем из начинающих работать измерсионным методом не случалось «странного» явления, что в некоторый момент полоска Бекке начинает идти в противоположную сторону. Начинаящий работник prepares новые препараты с другими жидкостями, а полоска все идет и идет в одну сторону, и нет возможности, беря даже большие интервалы между жидкостями, заставить ее идти в противоположную сторону. Только потеряв массу времени, исследователь догадывается, наконец, посмотреть на указатель, и тогда оказывается, что последний уже переменял направление движения.

В некоторых конструкциях микроскопов микрометрическое движение устроено так, что вращение МТк становится в одну сторону невозможным (винт упирается в препятствие), как только указатель достиг предельного положения (черточки).

¹ На рис. 21 F и ZZ изображены с левой стороны микроскопа, обычно же они расположены на правой стороне, не видимой на чертеже.

VI. ПРИГОТОВЛЕНИЕ ПРЕПАРАТОВ ДЛЯ РАБОТЫ ИММЕРСИОННЫМ МЕТОДОМ

Кусочек кристалла испытуемого вещества измельчается в порошок в агатовой ступке, а если кристалл имеет малую твердость и хрупок, то можно его раздробить ножом или шпателем непосредственно на предметном стекле.

Для работы удобно иметь под руками препараточную иглолку или же перышко для подчистки чертежей, вставленное в ручку. Такое перышко удобнее тем, что им, как лопаткой, берется из ступки порошок, а на стекле этот порошок уже разделяется с удалением из него острым кончиком пера крупных зерен,

Одним из этих предметов часть порошка со стекла смахивается, рядом же с оставшимся порошком помещается капля иммерсионной жидкости. Затем кончиком пера порошок смешивается с жидкостью и накрывается сверху покровным стеклом (перо после этого должно быть вытерто фильтровальной бумагой или тряпкой).

Тыльный частью ручки придавливают сверху покровное стекло, выжимая из-под него попадающие туда иногда пузырьки воздуха. Если жидкости взято мало, то помещают новую каплю на границе покровного стекла. Капиллярными силами эта капля затягивается под стекло. Жидкости надо брать столько, чтобы она заполняла весь промежуток под стеклом, но препарат не был бы очень толстым, каким он бывает обычно при избытке жидкости. Лишнюю жидкость вытягивают из-под покровного стекла фильтровальной бумагой. Не следует делать препарат такой же величины, какую имеет все покровное стекло (1,5×1,5 см). Совершенно достаточно делать его в три-четыре раза меньше, пользуясь для этой цели осколками покровных стекол.

Если исследуемое вещество нерастворимо в воде, то прежде чем помещать на предметное стекло иммерсионную жидкость можно смочить порошок водой, которую затем нужно испарить, осторожно подогревая стекло.

После этой операции кристаллические зерна прилипнут к стеклу и будут неподвижными во время работы. Это создает известное удобство, так как позволяет вести наблюдение, наклоняя микроскоп.

Для растворяющихся в воде веществ с успехом применяются летучие органические жидкости (например, бензин, спирт или эфир), также способствующие прилипанию зерен к стеклу.

Когда нужно сменить одну иммерсионную жидкость на другую, проще всего сделать новый препарат. Однако иногда необходимо бывает произвести определение показателей преломления на одном зерне. В этом случае надо всю иммерсионную жидкость вытянуть из-под покровного стекла фильтровальной бумагой, а затем посадить каплю новой жидкости так, чтобы она втянулась на место прежней. Это очень кропотливая работа и к тому же еще менее точная, так как предыдущую жидкость не удастся удалить

целиком, и незначительная ее часть, смешиваясь с новой жидкостью, меняет у последней показатель преломления.

При работе этим способом вышеописанное «приклеивание» зерен к предметному стеклу обязательно, так как в противном случае при смене жидкостей зерно можно потерять. Если оно и не потеряется, то будучи не прикрепленным может перевернуться, и интересующий нас разрез все равно будет потерян.

Если нужно определить симметрию кристаллов и ориентировку индикатрисы в них, то препараты из мелко раздробленных осколков применять не следует, а надо иметь целые кристаллы. Для этой цели необходимо получить мелкокристаллический осадок исследуемого вещества. Если раствор или расплав, из которого происходит кристаллизация, очень вязок и не впитывается фильтровальной бумагой, то его следует отцентрифугировать.

Препарат делается обычным способом, но полученный осадок не надо измельчать в ступке, а следует сразу после удаления из него остатков раствора помещать на предметное стекло.

Чтобы приготовить препарат для определения высоких показателей преломления, пользуются в качестве иммерсионной среды твердыми сплавами. Сплавы пиперина с иодидами мышьяка и сурьмы плавятся в пределах температуры от 70 до 130°. Для приготовления препарата нельзя доводить сплав до плавления. Надо держать температуру на 1—2° ниже точки плавления; при этом сплав станет мягким. Поместив кусочек сплава при этой температуре на предметное стекло, посыпают его испытуемым порошком, и размазывают сплав по стеклу. Когда порошок смешается со сплавом, последний покрывается покровным стеклом, и препарату дают остыть.

Сложнее приготовление препаратов со сплавами серы с селеном. Эти сплавы необходимо быстро охлаждать (закалять). Предметные стекла употреблять нельзя, так как при быстром охлаждении они лопаются. Препарат готовится из двух покровных стекол. Сначала на нижнее покровное стекло насыпается испытуемый порошок и кладутся куски сплава. Все это подогревают на плитке до плавления, хорошо перемешивая стеклянной палочкой. Подогревать надо до появления дыма. В момент его появления сплав придавливают верхним (тоже подогретым) покровным стеклом, и сбрасывают препарат на несколько секунд в холодную воду. Долго оставлять сплав в воде нельзя. Недогретый сплав быстро закристаллизовывается, а перегретый бывает покрыт пузырьками, мешающими работе.

VII. ОПТИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ, НАБЛЮДАЮЩИЕСЯ В ИММЕРСИОННЫХ ПРЕПАРАТАХ ПОД МИКРОСКОПОМ

Приготавливают препарат из вещества, кристаллизующегося в средней или низшей сингонии, кладут его на столик микроскопа и, выключив анализатор, устанавливают микроскоп на фокус.

В препарате видны всевозможные осколки кристаллов (зерна). Если теперь включить анализатор, то видно, что некоторые зерна при этом оказываются окрашенными в тот или иной цвет. При вращении столика микроскопа осколки попеременно освещаются, гаснут и затем снова освещаются, не меняя цвета.

Если поставить одно из зерен на крест нитей и затем медленно поворачивать столик микроскопа на 360° , то легко заметить, что испытываемое зерно придет при этом четыре раза в положение затемнения. В промежутке между двумя затемнениями оно будет просветляться и окрашиваться. Каков бы зерно мы ни брали, всегда оно будет затемняться четыре раза.

Это явление объясняется тем, что в общем случае сечение индикатрисы будет эллипсом. Приготавливая препарат путем измельчения его в ступке, обычно не заботятся о какой-либо закономерности в расположении на предметном стекле кристаллов, поэтому осколки ориентируются к плоскости препаратов самым различным образом.

Произвольная ориентировка кристаллических осколков обуславливает, следовательно, тоже произвольную ориентировку индикатрисы. Препарат всегда лежит так, что его плоскость совпадает с плоскостью столика микроскопа и перпендикулярна к оптической оси микроскопа, а также к лучам, идущим параллельно этой оси.

Представляет интерес разрез индикатрисы перпендикулярный к направлению распространения света, то-есть как раз тот разрез, который получается в результате мысленного пересечения ее плоскостью препарата. Разрез индикатрисы всегда мыслится через ее центр, так как представляют, что она находится в любой точке кристаллического вещества.

Произвольное сечение одноосной или двуосной индикатрисы является эллипсом. Большая и меньшая оси этого эллипса соответствуют величинам обоих показателей преломления двух лучей, распространяющихся в кристалле в направлении оси микроскопа.

Следует помнить, что лучи света, идущие от лампы, отражаются зеркальцем микроскопа и попадают в нижний николю, который всегда пропускает лучи с колебаниями в определенной плоскости (pp на рис. 29).

Выйдя из поляризатора, лучи уже не меняют плоскости поляризации. Войдя в кристалл, каждый луч разлагается на два луча с колебаниями по осям эллипса сечения индикатрисы X и Y . Выйдя из кристалла, лучи продолжают колебаться в тех же направлениях. Но по пути следования им еще приходится пройти через верхний николю, который пропускает лучи с колебаниями aa .

В анализаторе луч с колебаниями X распадается на два луча с колебаниями X_a и X_p , а луч Y — тоже на два луча с колебаниями Y_a и Y_p . Колебания X_p и Y_p гасятся анализатором, а колебания X_a и Y_a проходят через анализатор и попадают в глаз наблюдателя.

В этом положении кристаллическое зерно будет светлым и окрашенным. Если повернуть столик микроскопа, как указано на рис. 30, по часовой стрелке из положения а в положение б, то будет видно, что кристаллическое зерно потемнело и стало почти черным (положение а на рис. 30 отвечает положению, изображенному на рис. 29). В положение б оси эллипса совпадают с направлением колебаний в николях: ось X совпадает с направлением колебаний поляризатора, а ось Y с направлением колебаний анализатора. Луч света, прошедший поляризатор, пройдет без изменений также и кристалл, так как составляющая по оси Y равна нулю. Пройдя кристалл, луч попадет в анализатор, последний же пропускает лучи только с колебаниями aa ; поэтому все прошедшие кристалл лучи будут погашены. Глазом это будет восприниматься как потемнение кристаллического зерна.

При дальнейшем вращении можно будет вновь наблюдать просветление (положение в, рис. 30), затем новое затемнение и т. д. На рис. 30 изображены промежуточные положения при полном повороте препарата. Видно четыре по-

ложения затемнения (б, г, е, з) с просветлениями в промежуточных положениях. Отдельные части рис. 30 иллюстрируют повороты через 45° . Весь этот рисунок показывает поворот на 360° кристаллического зерна между скрещенными николями.

Лишь у веществ, заметно вращающих плоскость поляризации (или имеющих сильную косую дисперсию), не удастся получить четырехкратного погасания. При вращении столика микроскопа кристаллические зерна все время остаются освещенными. Если работа производится в монохроматическом свете, то зерна с сильной дисперсией можно погасить как обычно, а зерна, вращающие плоскость поляризации, гасятся поворотом одного николя.

Вернемся теперь к вопросу о том, какие оптические явления происходят в кристалле при вращении его между скрещенными николями в промежуток между двумя положениями затемнения.

В начале этого раздела говорилось, что поляризованный луч с колебаниями pp (см. рис. 29), войдя в кристалл, разлагается на два луча с колебаниями по X и Y , каждый из которых, в свою оче-

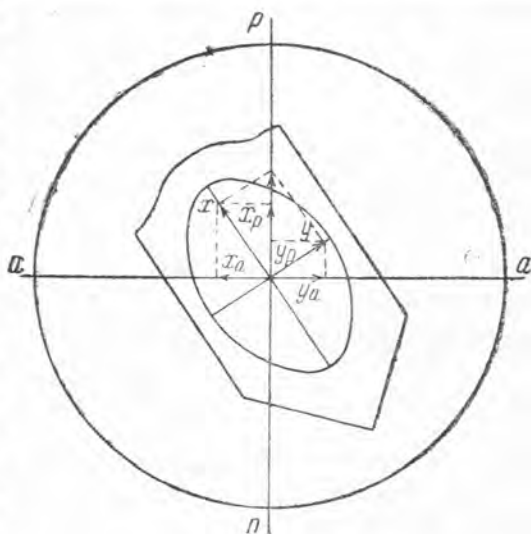


Рис. 29.

редь, разлагается в анализаторе еще на два, а именно: X на X_a и X_p и Y на Y_a и Y_p , причем X_p и Y_p гасятся, а X_a и Y_a взаимодействуют друг с другом. В первом разделе указывалось, что для условия интерференции необходимо, чтобы оба луча происходили от одного источника света, были поляризованы в одной и той же плоскости и имели бы одинаковые длины волн. Из сказанного в настоящем разделе нетрудно убедиться, что случай нахождения кристалла между двумя скрещенными николями как раз удовлетворяет тем условиям, которые теория и опыт требуют для возможности интерференции, т. е. взаимодействие колебаний лучей X_a и Y_a выражается в том, что они будут интерферировать.

В результате интерференции меняется только сила света, а длина волны остается такой же, как у двух исходных лучей. Поэтому при повороте кристаллической пластинки будет меняться только яркость освещения. Последняя будет максимальной когда разность хода Δ равна четному числу полуволи данного монохрома-

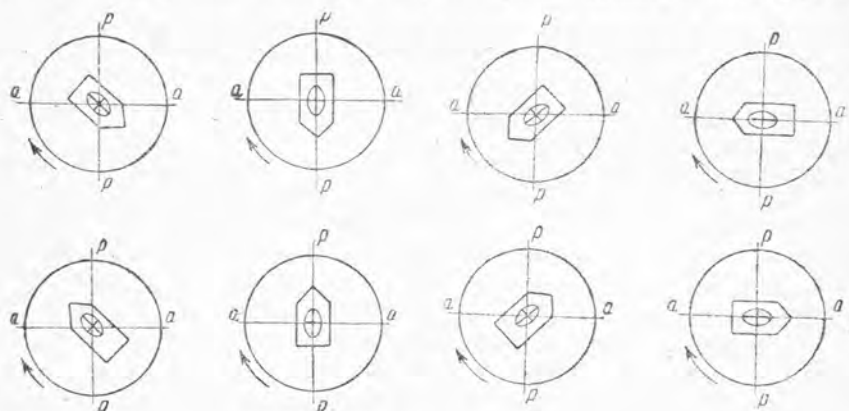


Рис. 30.

тического света. При наблюдении в белом свете, благодаря тому, что в анализаторе встретятся лучи со всевозможными длинами волн, интенсивность некоторых лучей возрастет. Максимальная яркость будет у тех из этих лучей, у которых длина полуволи четное число раз содержится в разности хода, получившейся в результате прохождения лучей через кристаллическое зерно. Лучи же, длина полуволи которых содержится нечетное число раз в Δ , проинтерферировав, исчезнут¹. Таким образом, некоторая часть спектра будет усилена, а другая ослаблена. В результате этого кристаллическое зерно будет окрашено в тот или иной цвет, не ме-

¹ При определении разности хода следует помнить, что анализатор добавляет $\frac{1}{2} \lambda$ поэтому наблюдаемая разность хода больше, чем получающаяся в кристалле. Вследствие этого эффект четного (или нечетного) числа полуволи меняется на обратный.

нящийся при повороте столика микроскопа и зависящий от толщины кристаллического зерна и от положения индикатрисы по отношению к плоскости препарата.

Сейчас мы рассмотрели общий случай сечения индикатрисы и уяснили себе те оптические явления, которые при этом наблюдаются. Однако мы исключили из рассмотрения кристаллы кубической сингонии. Вернемся к ним. Они, как было указано в разделе «Оптические поверхности в кристаллах», обладают индикатрисой в форме шара. Любое сечение шара плоскостью есть круг, а мы знаем, что луч, идущий перпендикулярно к круговому сечению, не распадается на два, поэтому в данном случае никаких интерференционных явлений наблюдаться не может. Следовательно, такой кристалл между освещенными николями будет темным. Никаких просветлений и окраски наблюдаться не будет. Таким путем удастся отличать под микроскопом кристаллы кубической сингонии (оптически изотропные) от кристаллов средних и низших сингоний (оптически анизотропных).

Однако и в анизотропных кристаллах есть изотропные сечения индикатрисы. Для одноосных кристаллов это сечение будет перпендикулярно к главной оси симметрии, так как с ней совпадает оптическая ось индикатрисы. В кристаллах с двуосной индикатрисой имеющиеся там два круговых сечения располагаются косо по отношению к элементам симметрии.

Если кристаллическое зерно ориентировано так, что круговое сечение индикатрисы будет совпадать с плоскостью препарата, то при вращении между скрещенными николями такое зерно будет оставаться темным. Таким образом, в препарате, сделанном из анизотропного вещества, отдельные кристаллические зерна могут казаться изотропными. Такие зерна с изотропным сечением индикатрисы особенно важны при определении характера индикатрисы; поэтому зачастую при работе иммерсионным методом приходится специально разыскивать их в препарате.

По изотропным сечениям иногда удается определить сингонию исследуемых кристаллов. Так, например, если препарат состоит из мелких кристалликов (см. раздел «Приготовление препаратов») и изотропное сечение наблюдается на зернах, имеющих правильные ограничения, например квадратов, то мы можем прийти к выводу, что эти кристаллы относятся к тетрагональной сингонии, если же ограничения имеют форму треугольников или шестиугольников, то к гексагональной. Такие сечения часто наблюдаются у пластинчатых кристаллов, но не исключена возможность встретить обломок, ориентированный в препарате главной осью перпендикулярно плоскости препарата, также и у игольчатых кристаллов.

На игольчатых кристаллах удобно бывает определять углы погасания. Если препарат сделан из оптически одноосного вещества, то все игольчатые кристаллы его гаснут параллельно нитям окулярного креста (рис. 31).

Кристалл в положении погасания (нарисованный сплошными ли-

ниями и заштрихованный) при повороте столика микроскопа просветляется и окрашивается (пунктирное изображение). Такой характер погасания будет наблюдаться для всех кристаллов средних сингоний, так как разрез через оптическую ось будет одновременно разрезом и через главную ось симметрии, по которой получил развитие кристалл.

Такое погасание называется **прямым** (на рис. 31 в обоих положениях показан разрез индикатрисы в виде эллипса).

Прямым погасанием будут также характеризоваться кристаллы ромбической сингонии, так как направление вытянутости кристаллов у них также совпадает с осью симметрии. Отличить кристаллы ромбической сингонии от кристаллов средних сингоний легко по форме индикатрисы. У ромбических она двуосна, у кристаллов же средних сингоний одноосна. Делается это при помощи фигур, наблюдаемых в сходящемся свете (см. ниже).

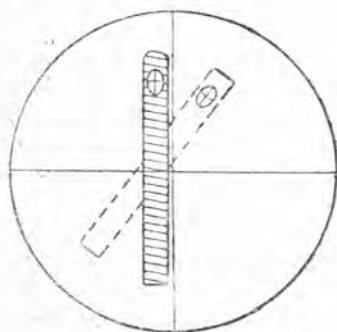


Рис. 31.

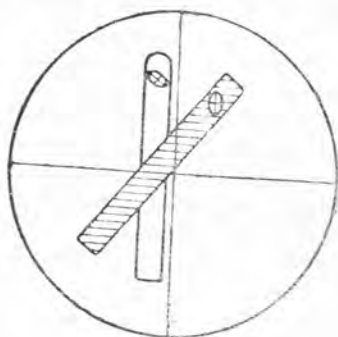


Рис. 32.

Кристаллы моноклинной и триклинной сингоний в общем случае обладают **косым погасанием**, т. е. они становятся темными при рассматривании их между скрещенными николями не тогда, когда их линии ограничения располагаются параллельно колебаниям в николях (параллельно нитям окулярного креста), а когда они располагаются под некоторым углом к этому положению (рис. 32). Это происходит вследствие того, что направление вытянутости этих кристаллов может не совпадать с осью симметрии, между тем с осью симметрии обязательно совпадает ось индикатрисы (см. раздел «Ориентировка индикатрисы в кристаллах»). На рис. 32 в верхней части кристаллов показано сечение индикатрисы.

Если удлинение игольчатых моноклинных кристаллов вдоль двойной оси, то погасание их будет прямое. Прямое оно будет также и в том случае, когда сама иголка, развитая по третьей координатной оси, ориентируется в препарате плоскостью симметрии вверх (перпендикулярно плоскости препарата).

Из сказанного ясно, что кристаллы моноклинной сингонии могут иметь как косое, так и прямое погасание. Кристаллы же три-

клинной сингонии всегда обладают косым погасанием. Конечно, в частном случае и здесь возможно прямое погасание, как вообще возможен случай нахождения одноосной или шаровой индикатрисы в кристаллах низших сингоний, особенно для какого-либо определенного участка спектра, однако эти случаи чрезвычайно редки и на практике с ними можно не считаться.

До сих пор мы рассматривали оптические явления, которые наблюдаются в бесцветных кристаллах. В кристаллах же, которые имеют свою, присущую им окраску, отчетливо видимую без анализатора даже в мелких зернах, интерференционные явления усложняются, так как в этих кристаллах можно видеть суммарный эффект как интерференционной, так и собственной окраски кристаллов. Характер же погасания у окрашенных кристаллов ничем не отличается от такового у неокрашенных.

Неодинаковое поглощение различных участков спектра по разным направлениям в кристалле вызывает изменение в интенсивности и окраске кристаллов в зависимости от направления. Это явление носит название **плеохроизма**. Наблюдать его надо с одним поляризатором (анализатор должен быть выключен), так как в противном случае наблюдению будет мешать интерференционная окраска. Заметить это явление очень нетрудно—для этого нужно только вращать столик микроскопа с препаратом из окрашенного анизотропного вещества. Цвет последнего во время поворота будет постепенно меняться.

При рядовой работе обычно нет надобности определять, по какой из осей индикатрисы происходит максимальное поглощение такого-то участка спектра. Вполне достаточно констатировать наличие у данного вещества плеохроизма и указать, в каких именно пределах происходит изменение окраски. Например, от светложелтой до темнокоричневой или от светлосиней до розовой, и т. п. Однако если ориентировка индикатрисы известна (способ определения ее описан ниже), то указание, по какой из осей индикатрисы наблюдается тот или иной цвет кристалла, не представляет особых затруднений.

Перейдем теперь к описанию явления Бекке (**полоска Бекке**). Это явление заключается в том, что в иммерсионном препарате по краям кристаллического зерна наблюдается тоненькая светлая полоска, отчетливо видимая в момент точной наводки препарата на фокус. Легко заметить, что при небольших движениях микрометрическим винтом (МТк на рис. 21) эта светлая полоска передвигается с кристалла на жидкость или же в обратном направлении. Этот эффект наблюдается не только на границе кристалла с жидкостью, но и на всякой другой границе (например на стыке двух кристаллов), если она разделяет собой две среды с различными показателями преломления. Особенно хорошо полоска Бекке видна при увеличениях порядка 500, но ее можно видеть и при значительно меньших увеличениях. Однако точность работы при малых увеличениях резко снижается.

Заканчивая настоящий раздел, необходимо еще указать, что в иммерсионных препаратах у веществ, обладающих хорошей спайностью, часто наблюдаются следы спайности, которые в виде тоненьких черточек испещряют всю поверхность кристаллического зерна (рис. 33). Нередко одно и то же зерно обладает двумя или тремя системами спайности. На рис. 34 показана спайность по ромбической призме, а на рис. 35—по ромбоэдру. Часто в иммерсионных препаратах такие следы спайности бывают не видны. О нали-



Рис. 33.

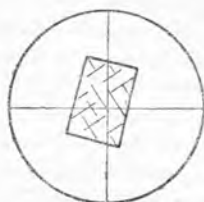


Рис. 34.

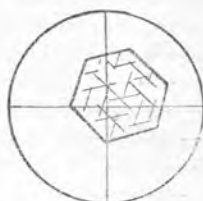


Рис. 35.

чий спайности тогда можно судить по форме осколков или же по характерным однообразным разрезам индикатрисы во многих зернах в препарате.

Некоторые вещества очень склонны давать **двойники**. Напомним, что двойником называется закономерный сросток по определенному кристаллографическому направлению двух индивидов. На рис. 36 среди зерен одно (вблизи креста нитей) представляет собой двойник. Характерным признаком его является то, что в нем

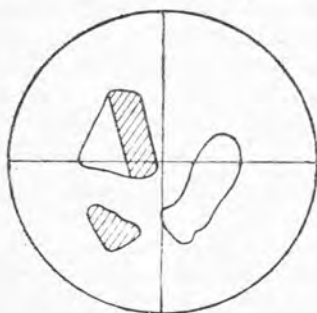


Рис. 36.

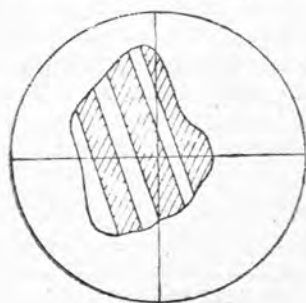


Рис. 37.

один индивид погашен, а второй в этот же момент остается светлым. Если вращать столик микроскопа, то первый индивид постепенно просветлится, второй же погаснет, и, таким образом, положения погасания и просветления будут чередоваться у обоих индивидов.

Часто в одном и том же зерне по одному направлению сростаются не два, а много индивидов, чередуясь друг с другом. Такое образование носит название **полисинтетического двойника**.

Под микроскопом в этом случае мы видим в одном зерне ряд полос, которые попеременно гаснут и просветляются (рис. 37).

Когда одна система полос погашена, вторая система в этот момент освещена и наоборот. Плоскость срастания индивидов называется двойниковым швом. Относительно нее можно определить ориентировку индикатрисы, угол погасания и т. п. Однако для обычной работы бывает достаточно лишь указать, что исследуемое вещество склонно давать простые или полисинтетические двойники и обладает спайностью, или же что спайность у него отсутствует.

VIII. ПРИНЦИП ИММЕРСИОННОГО МЕТОДА. ИММЕРСИОННЫЕ СРЕДЫ

В основу иммерсионного метода положено два оптических явления: 1) «исчезновение» бесцветного объекта в окружающей среде, если показатели преломления их равны, и 2) возможность с помощью полоски Бекке определить относительную величину показателя преломления, то-есть определить, где показатель преломления больше— у объекта или же у среды.

Имея набор жидкостей с различными (заранее известными) показателями преломления и погружая последовательно в них осколки испытуемых кристаллов, можно всегда подобрать две соседних жидкости, у одной из которых показатель преломления (n_1) будет больше, чем у кристалла (n_k), а у другой (n_2) меньше. Если величина, $n_1 - n_2$ невелика, то показатель преломления кристалла будет определен, а именно:

$$n_k = \frac{n_1 + n_2}{2}.$$

Точность определения будет тем больше, чем интервалы между соседними жидкостями меньше.

Работая в белом свете и не пользуясь специальной аппаратурой, нельзя получить точности, больше чем ($\pm 0,002 - 0,004$). Эта точность вполне достаточна для рядовых работ. Для нормального глаза при разности в показателях преломления объекта и среды, меньше чем 0,002, полоска Бекке обычно уже плохо видна. Это обстоятельство ставит нижней предел рациональному интервалу между эталонными жидкостями.

К самым иммерсионным жидкостям предъявляется ряд требований, а именно: 1) они должны быть плохими растворителями; 2) должны быть стойкими; 3) не должны быть гигроскопичны; 4) их коэффициент расширения должен быть невелик, так как иначе их показатель преломления будет резко меняться с температурой; 5) для жидкостей, представляющих собой смесь, необходимым условием является близкая скорость испарения компонентов, так как, в противном случае, одна составляющая смеси будет быстрее улетучиваться и показатель преломления будет изменяться, приближаясь к показателю преломления второй жидкости; 6) иммерсионные жидкости не должны быть легко летучими;

7) не следует также применять жидкости с резким запахом, так как длительная работа с ними вызывает головную боль.

В настоящее время выработано много рецептов для составления наборов иммерсионных жидкостей, в той или иной степени удовлетворяющих этим требованиям.

В СССР три организации занимались изготовлением иммерсионных наборов:

1. Петрографическая лаборатория ВСЕГЕИ (Ленинград, В. О., Средний проспект 72/6).

2. Экспериментальные мастерские ВИМС (Москва 17, Пыжевский пер. 7).

3. Институт геологических наук АН СССР (Москва 17, Старомонетный пер., 35).

Ниже в табл. 2 приводится описание набора иммерсионных жидкостей Института геологических наук АН СССР.

Каждая жидкость находится в небольшой (3 см³) баночке с притертой пробкой (рис. 38). Последняя имеет стеклянный отросток, доходящий почти до дна банки. Вынув такую пробку, мы на конце ее имеем каплю жидкости, которую сразу можно перенести на предметное стекло. Все 100 баночек помещаются в деревянном ящике. Время от времени надо проверять показатели преломления всех жидкостей.



Рис. 38.

Необходимо иметь в виду, что при повышении температуры показатели преломления эталонных жидкостей уменьшаются. Поэтому если нет возможности каждый раз проверять показатели преломления жидкостей, надо брать поправку на температуру. Поправочный коэффициент указывается в описи жидкостей, прилагаемой к набору (обычно это 0,0004 на 1°). За этой поправкой особенно надо следить летом, так как температура в помещении в это время года утром и днем нередко разнится на 10—15°.

Если имеется возможность не вычислять, а измерять показатели преломления жидкостей, то необходимо это делать всякий раз у тех двух жидкостей, между которыми лежит искомый показатель преломления кристалла. Измерение показателя преломления жидкости на рефрактометре Аббе занимает несколько минут (см. ниже).

Жидкие иммерсионные среды не могут перекрыть всего интервала показателей преломления кристаллов. Поэтому для показателей преломления выше, чем 1,8, употребляются уже твердые (стеклообразные) сплавы. Для определения показателей преломления в интервале от 1,75 до 2,0 служат сплавы пиперина с иодидами мышьяка и сурьмы, а в интервале от 2,0 до 2,7—сплавы серы с селеном.

Ввиду сильной дисперсии самих сплавов, а обычно и кристаллов, обладающих высокими показателями преломления, работа с ними должна вестись в монохроматическом свете.

Таблица 2

№№ по пор.	Показатели преломления при 20°C	Поправка на 1°C	Состав жидкости	№№ по пор.	Показатели преломления при 20°C	Поправка на 1°C	Состав жидкости			
1	1,406	0,00020	Глицерин + + вода	26	1,520	0,00040	Кедровое масло + ани- совое масло			
2	1,414	0,00050		27	1,523					
3	1,425			28	1,526					
4	1,430			29	1,529					
5	1,434	0,00045	30	1,532	0,00040					
6	1,440		31	1,534						
7	1,445		32	1,537						
8	1,452	Смеси пара- финовых и циклопара- финовых углеводо- родов	33	1,540						
9	1,456		34	1,544						
10	1,461		35	1,547						
11	1,465		36	1,550						
12	1,470	0,00040	37	1,553					0,00040	
13	1,474		38	1,556						
14	1,479		39	1,559						
15	1,483		40	1,562						
16	1,487	0,00030	41	1,465	0,00040					
17	1,490		42	1,568						
18	1,494		43	1,571						
19	1,498		Касторовое масло + кедровое масло	44				1,574		
20	1,502	45		1,577				Жидкий парафин + α моноклор- нафталин		
21	1,505	46		1,580						
22	1,508	0,00040		47					1,583	
23	1,511		48	1,586						
24	1,514		49	1,589		0,00041				
25	1,517		50	1,592						

№№ по пор.	Показатели преломления при 20°С	Поправка на 1°С	Состав жидкости	№№ по пор.	Показатели преломления при 20°С	Поправка на 1°С	Состав жидкости
51	1,595	0,00041	Жидкий на- рафин + α монохлор- нафталин	76	1,690	0,00057	Монохлор- нафталин + + иодистый метилен
52	1,598	0,00042		77	1,694	0,00058	
53	1,601			78	1,698	0,00059	
54	1,604			79	1,702	0,00060	
55	1,608			80	1,706	0,00061	
56	1,612			81	1,110	0,00062	
57	1,616	0,00043		82	1,714	0,00063	
58	1,620			83	1,718	0,00064	
59	1,624			84	1,722	0,00065	
60	1,627			85	1,726	0,00066	
61	1,630	0,00044	86	1,730	0,00067	Иодистый метилен + + кристал- лическая сера	
62	1,634		87	1,734	0,00068		
63	1,638		88	1,738	0,00069		
64	1,642		89	1,742	—		
65	1,646		90	1,746	—		
66	1,650	0,00047	91	1,750	—		
67	1,554	0,00048	92	1,754	—		
68	1,658	0,00049	93	1,758	—		
69	1,662	0,00050	94	1,762	0,00070		
70	1,666	0,00051	95	1,766	—		
71	1,670	0,00052	96	1,770	—		
72	2,674	0,00053	97	1,774	—		
73	1,678	0,00054	98	1,778	—		
74	1,682	0,00055	99	1,785	—		
75	1,686	0,00056	100	1,789	—		

На рис. 39 показана зависимость показателя преломления сплавов пиперина с иодидами мышьяка и сурьмы от состава. Сплошная кривая—для свежих сплавов, пунктирная—для сплавов, пролежавших несколько лет¹. На этом рисунке отчетливо видно изменение показателей преломления сплавов во времени.

На рис. 40 показана зависимость показателей преломления от состава для сплавов серы с селеном в натровом свете.

Проверка показателей преломления иммерсионных сред для высоких показателей преломления делается с помощью призм, приготовленных из этих сплавов.

В последние годы в качестве твердых иммерсионных сред были предложены сплавы галогенидов таллия. Последние кристаллизуются в кубической сингонии и поэтому, будучи изотропными, являются удобной иммерсионной средой с очень большим показателем преломления (до 2,8). Однако надо иметь в виду, что работа с любыми сплавами всегда значительно труд-

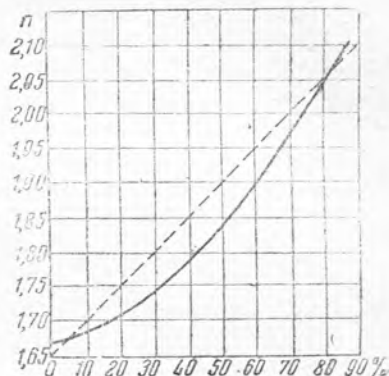


Рис. 39.

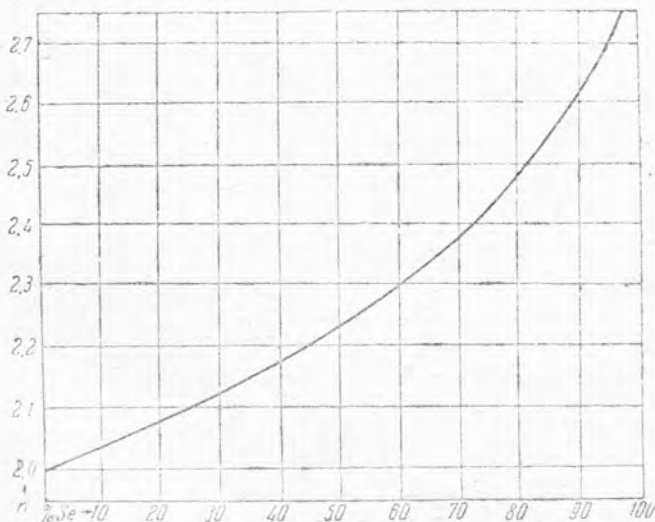


Рис. 40.

¹ Первая кривая измерена Ларсеном, вторая—в Институте прикладной минералогии в Москве.

нее, а полученные результаты менее точны, чем работа с иммерсионными жидкостями¹.

IX. ОБЪЯСНЕНИЕ ПОЯВЛЕНИЯ ПОЛОСКИ БЕККЕ. ЭФФЕКТ КОСОГО ОСВЕЩЕНИЯ

В разделе VII мы говорили, что явлением Бекке называется наличие светлой полоски на стыке двух веществ с различными показателями преломления. Полоска эта перемещается параллельно границе раздела этих веществ при движении тубуса микроскопа вдоль оси (при наводке на фокус).

Рис. 41 представляет собой разрез через плоско-параллельный иммерсионный препарат, причем N —это кристалл, а n —иммерсион-

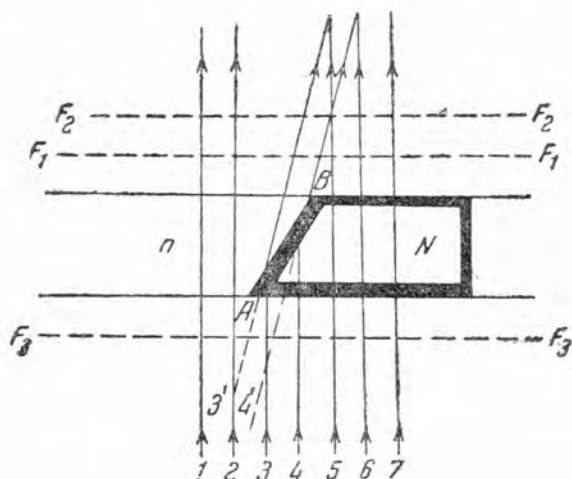


Рис 41.

ная жидкость. Показатель преломления кристалла больше показателя преломления жидкости, т. е. $N > n$.

Препарат, освещенный снизу параллельным пучком света (лучи 1—7), пропускает без преломления лучи 1; 2; 5; 6 и 7. Лучи же 3 и 4, попадающие на косой срез кристалла, отклоняются к основанию получающейся призмы, благодаря чему на стыке В край

¹ По нашему предложению, аспирантом кафедры минерологии МГУ Н. Д. Топором была в 1944—1946 гг. проведена большая работа по подысканию и исследованию жидкости с показателем преломления выше 1,84. Наиболее подходящей оказалась жидкость (впервые предложенная в 1936 г. С. Д. Вестом), представляющая собой раствор желтого фосфора и серы в иодистом метиле. Наибольший показатель преломления ее для линии D равен 2,040, а для линии F—2,087. Применение этой жидкости в иммерсионной практике чрезвычайно перспективно.

кристалла оказывается сильнее освещенным за счет соседнего участка вещества с низким показателем преломления, который будет несколько темнее общего фона. Если, поднимая тубус, мы передвинем фокус¹ из положения F_1F_1 в положение F_2F_2 , то освещенный участок (полоска Бекке) как бы переместится вправо—в сторону вещества с большим показателем преломления. Опустив тубус микроскопа настолько, чтобы в фокусе оказалось сечение F_3F_3 , мы увидим картину такой, какой она была бы в том случае, если бы преломленные в препарате лучи ($3'$ и $4'$) продолжались назад, т. е. на стыке более освещенным окажется в этом случае вещество с меньшим показателем преломления. Таким образом, при опускании тубуса микроскопа полоска Бекке перемещается в сторону вещества с меньшим показателем преломления.

Если косой срез кристалла наклонен в обратную сторону (рис. 42), то лучи 3 и 4, преломившись к основанию призмы, вновь осветят ярче край более преломляющего кристалла.

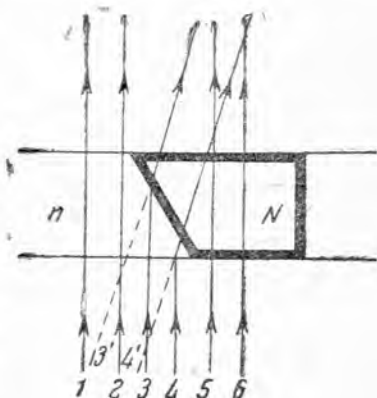


Рис. 42.

До сих пор мы принимали во внимание только параллельные лучи света. Если же граница между кристаллом и жидкостью будет вертикальна, то преломления параллельного пучка лучей не произойдет. Однако явление Бекке будет наблюдаться и в этом случае, так как в микроскопе, как мы говорили выше, пучок света из-за наличия коллектора является слегка сходящимся. Только что рассмотренные явления в косых срезах кристаллов от этого не изменятся. На рис. 43 изображен случай освещения слабо сходящимся пучком лучей вертикальной границы раздела двух сред с различными показателями преломления ($N > n$).

Лучи 1—5, падающие слева и попадающие на границу раздела от среды с меньшим показателем преломления, обязательно войдут в кристалл N. Лучи же, идущие со стороны вещества с большим показателем преломления, если угол наклона их невелик, претерпевают полное внутреннее отражение и не пройдут границу раздела (см. ход лучей 8 и 9). В результате край вещества с большим показателем преломления вновь будет освещен ярче, и направление движения полоски Бекке при движении тубуса останется прежним. Если же пучок света будет сильно сходить, то лучи из среды N войдут в среду n (см. показанный пунктиром луч

¹ Точнее говоря, не фокус, а плоскость наилучшего видения.

13), и эффект опыта будет несколько уменьшен¹. Отсюда вытекают два практических правила для наблюдения полосы Бекке:

- 1) необходимо диафрагмировать пучок лучей;
- 2) поляризатор с находящимся над ним коллектором следует опустить ниже.

Если исследуемые в препарате зерна освещать косым односторонним пучком света, то для некоторых лучей можно будет наблюдать полное внутреннее отражение, ввиду чего часть поверхности будет казаться темной. В случае когда показатель преломления кристалла больше показателя преломления жидкости (рис. 44), край кристалла, обращенный к пучку лучей, будет темным. В случае обратного соотношения показателей преломления край кристалла, обращенный к лучам, будет светлым (рис. 45). При

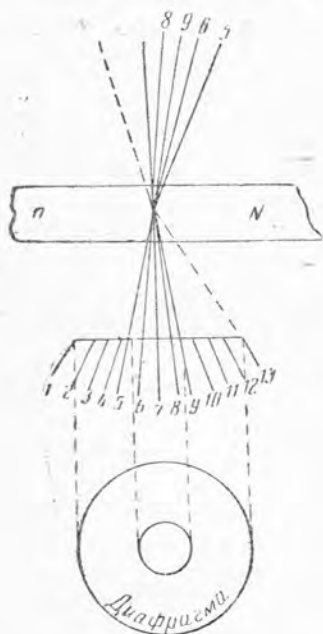


Рис. 43.

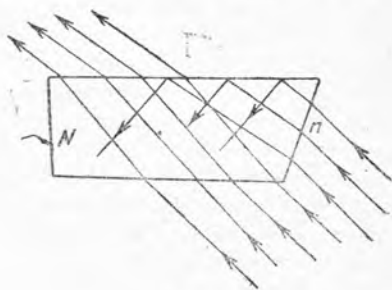


Рис. 44.

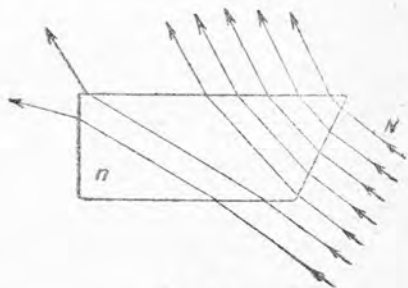


Рис. 45.

сильной дисперсии граница между темным и светлым участками бывает окрашена.

Косое освещение препарата достигается тем, что на пути следования лучей света ставится ширмочка, загораживающая половину пучка. С помощью этой ширмочки можно загораживать све-

¹ В настоящей книге мы даем весьма упрощенное представление об эффекте Бекке. Лицам, желающим познакомиться с современной строгой теорией этого явления, мы рекомендуем книгу И. В. Обреимова «О приложении френелевой дифракции для физических и технических измерений». АН СССР, Москва, 1945.

товой пучок в различных местах. Эффект от этого будет одинаковым. Удобнее всего вдвигать ширмочку в прорез тубуса микроскопа над объективом, но возможно загораживать свет и под поляризатором или над окуляром.

Если мы будем вдвигать ширмочку в щель тубуса с правой стороны (рис. 46 и 47), то в случае, когда показатель преломления кристалла меньше показателя преломления жидкости, зерно потемнеет со стороны, противоположной той стороне, с которой вдвигается ширмочка (рис. 47). Если же показатель преломления кристалла больше показателя преломления жидкости, то потемнение

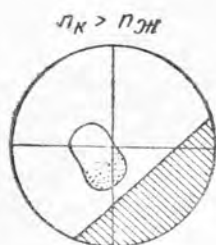


Рис. 46.



Рис. 47.

зерна будет с той стороны, с какой вдвигается ширма (рис. 46). Когда пучок света загораживается под поляризатором или над окуляром, то распределение света и тени в зернах получится обратным только что описанному. Эффект хорошо заметен на мелких зернах и не требует таких сильных увеличений, как полоска Бекке.

В 1935 г. Сейлор, стремясь уточнить метод косого освещения, предложил диафрагмировать световой пучок одновременно под объектом и над ним. Метод двойного диафрагмирования имеет все преимущества метода косого освещения, а именно: наблюдение ведется здесь также при неподвижном тубусе микроскопа, причем эффект опыта виден для всех зерен, находящихся в поле зрения. По точности он не уступает методу Бекке. Недостатком метода является то, что существующие в продаже микроскопы не имеют необходимого специального приспособления. Только по этой причине мы не останавливаемся на этом чрезвычайно перспективном методе.

В СССР разработкой этого метода много занимались сотрудники ВИМС—проф. Н. Е. Веденеева, Н. М. Меланхолин и др.

Х. ПРАКТИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРЕЛОМЛЕНИЯ ИММЕРСИОННЫМ МЕТОДОМ

В предыдущих главах мы говорили о благоприятных условиях наблюдения полоски Бекке. Перечислим их:

1. Увеличение микроскопа должно быть не менее 300, а лучше 500—700-кратное.

2. Край кристалла, граничащий с иммерсионной средой, должен быть чистым (не иметь включений, корки выветривания и т. п.).

3. Поляризатор с коллектором необходимо опустить.

4. Препарат следует осветить при помощи плоского зеркальца.

5. Пучок света, выходящий из поляризатора, должен быть задифрагмирован. Постепенным уменьшением отверстия диафрагмы необходимо добиться отчетливо видимого эффекта Бекке.

В разделе IX было указано, что полоска Бекке при поднимании тубуса микроскопа движется в сторону вещества с большим показателем преломления, при опускании же тубуса—в сторону вещества с меньшим показателем преломления. Обозначая условно вещество с большим показателем преломления положительным, а вещество с меньшим показателем преломления—отрицательным, В. Н. Лодочников рекомендует следующее мнемоническое правило для запоминания направления движения полоски Бекке:

«При поднятии тубуса — полоска передвигается в положительную сторону, при опускании—в отрицательную».

Это очень удобное правило.

Определение показателей преломления изотропных веществ, в частности кристаллов кубической сингонии, поскольку они характеризуются одним показателем преломления, делается чрезвычайно просто. Как говорилось выше, они имеют индикатрису в форме шара, т. е. любое ее сечение плоскостью будет окружностью.

Сначала изготавливают препарат, взяв любую иммерсионную жидкость. Если никаких указаний на показатель преломления исследуемых кристаллов нет, то жидкость надо взять из средней части набора. Затем под микроскопом с помощью полоски Бекке узнают, где показатель преломления больше—у кристалла или у жидкости. Если показатель преломления оказался больше у кристалла, то следующий препарат изготавливают из жидкости с большим показателем преломления.

Если в первой жидкости осколки кристаллов были отчетливо видны, граница раздела была резкой (или, как говорят в кристаллооптике, рельеф кристаллов был высокий), это значит, что разница в показателях преломления значительна, и следующий препарат надо делать с жидкостью, отстоящей от первой достаточно далеко. Третий препарат делают уже в зависимости от результатов испытания второго.

Изготавливая последовательно ряд препаратов, в конце концов приходят к такому положению, когда для опыта будет взято две соседних жидкости, показатели преломления которых отличаются между собой обычно на 0,005 (см. список), причем одна из взятых жидкостей будет иметь показатель преломления меньший, чем у кристалла, вторая—большой. После этого следует взять поправки на температуру или же измерить на рефрактометре показатели преломления обеих жидкостей. Этим самым величина показателя преломления кристалла будет определена. Она будет равна

сумме величин показателей преломления обеих жидкостей, деленной на два, а точность измерения равна $\pm$ разности среднего и крайних значений показателей преломления.

Сложнее определение показателей преломления анизотропных кристаллов. Одноосная и двуосная индикатрисы в сечении плоскостью препарата, в общем случае, дают эллипс. Напомним, что большая и меньшая оси этого эллипса показывают величину показателей преломления кристалла. В производном сечении индикатрисы оси сечения эллипса не будут отвечать главным показателям преломления кристалла. Обозначим их условно N_g' и N_p' .

Итак, в препарате из анизотропного вещества в любом зерне имеются два ^и одинаковых по величине показателя преломления. Для получения наиболее точных данных необходимо порознь определять* величину каждого из них. Этого можно достичь, ставя испытуемое зерно на погасание.

В случае, когда с направлением колебаний в поляризаторе pp совпадает меньшая ось эллипса $N_p' N_p'$, все оптические явления (полоска Бекке, рельеф и проч.) обуславливаются только показателем преломления N_p' . Пусть в нашем примере $N_p' = 1,448$, а жидкость имеет показатель преломления 1,452.

В этом случае при том положении кристалла, которое показано на рис. 48а, будет наблюдаться картина оси N_p' , то-есть рельеф будет слабым. Полоска Бекке в этом случае будет при поднятии тубуса перемещаться с кристалла на жидкость.

Положению же 48б будет соответствовать картина оси N_g' , равной 1,459. Кристалл будет иметь в этом случае немного более резкий рельеф, чем тот, который показан на рис. 48а. При этом полоска Бекке при поднятии тубуса будет перемещаться с жидкости на кристалл.

Отсасывая фильтрованной бумагой из-под покровного стекла иммерсионную жидкость и наполняя затем препарат другой жидкостью, можно будет определить показатели преломления для данного сечения индикатрисы. В настоящем примере показатель преломления взятой жидкости был равен 1,452, причем N_p' не-

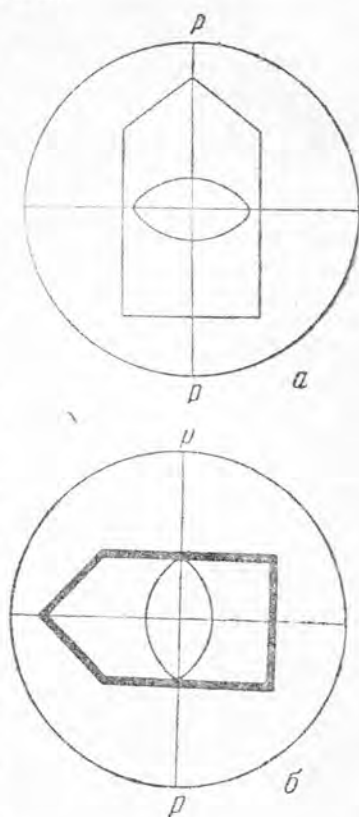


Рис. 48.

сколько меньше этой величины. Если заменить эту жидкость на следующую (с показателем преломления 1,445), то будет видно, что полоска Бекке при поднимании тубуса перемещается на кристалл, то-есть N_p' теперь больше, чем у взятой жидкости. Полу-сумма величин показателей преломления этих соседних жидкостей и дает искомое значение.

$$N_p' = \frac{1 \cdot 452 + 1 \cdot 445}{2} = 1,449 \pm 0,003.$$

При небольших разностях показателей преломления (0,001—0,002) полоску часто уже не удается наблюдать¹. Кристалл исчезает, «растворяется» в такой жидкости, что указывает на совпадение показателей преломления.

Этими причинами лимитируется точность работы иммерсионным методом. Определив N_p' , переходят к определению на том же зерне N_g' . Поскольку рельеф N_g с жидкостью, имеющей показатель преломления 1,452, был более резким, то ее нужно сменить на жидкость с большим показателем преломления, отстоящую от нее на более значительный интервал, и далее поступать таким же образом, как и в предыдущем случае.

Итак, мы познакомились с определением N_g' и N_p' произвольного сечения. Однако в знании N_g' и N_p' данного сечения индикатрисы редко возникает надобность. Исследователя всегда более интересуют главные показатели преломления N_g и N_p . С помощью сходящегося света (см. раздел XII) можно отличить главное сечение от случайного, и тогда указанный выше способ даст окончательный результат. Однако для нахождения таких сечений требуется наличие достаточно крупных зерен в препарате, что не всегда бывает.

Главные показатели преломления можно определить и не прибегая к выбору частных случаев сечения индикатрисы. Мы знаем, что N_g всегда больше любого N_g' , а N_p всегда меньше любого N_p' . Работа должна проводиться в следующем порядке: приготовив препарат с любой жидкостью, например с показателем преломления 1,490, ставим зерно с помощью салазок на крест нитей. Затем, вдвинув анализатор, поворачивают столик до затемнения зерна. Выдвинув анализатор, наблюдают полоску Бекке. При этом оказывается, что первый показатель преломления меньше, чем у жидкости. Тогда вдвигают анализатор и поворачивают столик до нового затемнения зерна (через 90°). Вновь выводят анализатор и наблюдают полоску Бекке. Оказывается, что второй показатель преломления кристалла тоже меньше, чем у жидкости. В тетрадке записывают это так:

$$I < 1,490$$

$$II < 1,400.$$

¹ При силе двупреломления выше 0,010—0,015 диаметр зерна должен быть не меньше 0,05—0,04 мм. Ред.

Читается же это так: первый показатель преломления кристалла меньше, чем 1,490, второй—тоже меньше, чем 1,490. При приготовлении препарата в тетради заранее выписывают:

$$I \quad 1,490$$

$$II \quad 1,490,$$

а после наблюдения полоски Бекке вписывают значок $<$ или $>$ вместо которого, конечно, можно ставить и буквы, например m и b (меньше или больше). Затем, передвигая салазки, ставят на крест второе зерно в том же препарате и вновь определяют на нем для обоих затемнений направление движения полоски Бекке. Так поступают для ряда зерен (5—10), испытывая каждый раз оба показателя.

Если хотя бы в одном из десяти случаев один из показателей преломления окажется больше, чем у жидкости, это значит, что N_g кристалла больше, чем у жидкости, а во всех остальных зернах наблюдались разрезы, N_g' которых оказывался меньше, чем показатель преломления жидкости. Следовательно, в этом случае нужно переходить к жидкости с большим показателем преломления.

В нашем примере был просмотрен ряд зерен и не найдено ни одного, у которого показатель преломления был бы больше 1,490. Только после этого и было записано:

$$I < 1,490$$

$$II < 1,490.$$

Рельеф кристаллических зерен был резким, поэтому изготавливают препарат из жидкости, отстоящей от этой на несколько интервалов.

Берут, например, жидкость с показателем преломления 1,474.

После определения обоих показателей преломления на ряде зерен оказывается опять что:

$$I < 1,474$$

$$II < 1,474$$

Затем готовят препарат с соседней жидкостью, то-есть с имеющей показатель преломления 1,470. Результат оказался тот же:

$$I < 1,470$$

$$II < 1,470$$

Вновь готовят препарат с соседней жидкостью, то-есть с показателем преломления 1,465.

Большое количество просмотренных зерен показало, что оба показателя преломления меньше, чем у жидкости. Переходя от одного зерна к другому, удается, в конце концов, найти одно зерно, у которого один показатель преломления много меньше, а вто-

рой почти равен показателю преломления жидкости, но все же чуть-чуть меньше:

$$\begin{aligned} I &< 1,465 \\ II &\leq 1,465 \end{aligned}$$

В следующей жидкости ($n = 1,461$) на ряде просмотренных зерен оказывается, что оба показателя преломления меньше, чем у жидкости. При этом один показатель всегда резко меньше, а второй почти равен, но все же меньше, чем у жидкости. Однако затем удастся найти зерно, у которого один показатель преломления меньше, а второй чуть-чуть больше, чем у жидкости. Этого одного измерения достаточно, чтобы сказать, что n больше, чем 1,461.

Записывается:

$$\begin{aligned} I &< 1,461 \\ II &\geq 1,461 \end{aligned}$$

Следовательно, между значениями показателей преломления двух последних жидкостей лежит величина N_g кристалла.

Записывают так:

$$1,465 > N_g > 1,461.$$

Затем на рефрактометре проверяют показатели преломления последних двух жидкостей.

Оказывается, что жидкость с n , равным 1,465, не изменила своего показателя преломления. Показатель же преломления второй жидкости на 0,0007 больше, чем было указано на этикетке.

Следовательно, неравенство в окончательном виде следует переписать так:

$$1,465 > N_g > 1,462, \text{ откуда } N_g = 1,463 \pm 0,002.$$

После того как определен максимальный показатель преломления, переходят к определению минимального.

При этом рассуждают так же, как и в предыдущем случае, учитывая, что теперь требуется найти самый малый показатель преломления. Ниже приводятся результаты измерения, без подробного изложения самого хода измерения, которое делается точно так же, как и для определения N_g .

Вначале готовят препарат из жидкости с n равным 1,413. Оказывается:

$$\begin{aligned} I &> 1,413 \\ II &> 1,413 \end{aligned}$$

Затем берется жидкость с $n = 1,440$:

$$\begin{aligned} I &< 1,440 \\ II &> 1,440 \end{aligned}$$

После этого готовится препарат с $n = 1,434$:

$$I < 1,434$$

$$II > 1,434$$

а затем с $n = 1,430$:

$$I = 1,430$$

$$II > 1,430$$

Для проверки готовится препарат с $n = 1,425$:

$$I \geq 1,425$$

$$II > 1,425$$

Показатели преломления последних трех жидкостей проверяются, и оказывается, что показатель преломления жидкости с этикеткой 1,434 в действительности равен 1,437, с этикеткой 1,430 равен 1,434, а с этикеткой 1,425 равен 1,429. Так как с этим набором иммерсионных жидкостей работа велась уже больше года, то жидкости, как это видно, значительно изменили свои показатели преломления

$$N_p = 1,434.$$

После того как определены N_g и N_p , можно приступить к определению среднего показателя преломления N_m .

Прежде всего необходимо вспомнить, что разрезы индикатрисы, перпендикулярные лучу, могут проходить только через центр ее, так как самую индикатрису мы мысленно представляем себе в любой точке кристалла.

Максимальная площадь эллипса сечения будет проходить через оси N_g и N_m , а минимальная—через оси N_m и N_p . Нельзя получить в сечении через центр индикатрисы эллипса с осями $N_p N_p'$ или $N_p' N_p''$ так же, как нельзя получить сечений $N_g N_g'$ или $N_g' N_g''$ (где N_g' и N_g'' меньше N_g и больше N_m , а N_p' и N_p'' больше N_p и меньше N_m).

При измерении среднего показателя преломления приходится иметь дело с разрезом $N_g' N_p'$ (где N_p' весьма близко к N_m , то-есть в пределе $N_g' N_m$) и $N_g' N_p'$ (где N_g' весьма близко к N_m , то-есть в пределе $N_m N_p'$).

Если угол оптических осей и знак индикатрисы еще неизвестны, то первый препарат изготавливается с жидкостью, показатель преломления которой приблизительно равен:

$$\frac{N_g + N_p}{2}$$

В нашем примере была взята жидкость с n равным 1,445. В ней находят такие зерна, оба показателя которых меньше или больше, чем показатели преломления взятой жидкости. Делают это обычным способом: сначала ставят кристалл в положение погасания,

затем, выведя анализатор, наблюдают полоску Бекке, затем поворачивают его в положение второго погасания (через 90°) и вновь наблюдают полоску.

Для большинства зерен при этом оказывается, что один показатель больше чем у жидкости, второй меньше. Такие зерна не принимают во внимание и переходят к наблюдению на следующем зерне, поставив его предварительно на крест нитей. В конце концов удастся найти зерно, для которого полоска Бекке движется в одну сторону для обоих показателей преломления. Этот результат записывают.

В нашем примере оказывается:

$$I > 1,445$$

$$II > 1,445$$

Имеется разрез $Ng'Nr'$. Это значит, что не только Ng' , но и Nr' больше 1,445, а Nr' заведомо меньше Nm . Следовательно, Nm тоже больше этой величины. Поскольку рельеф найденного зерна более или менее четкий, следующую жидкость берут через один интервал. В ней найдено зерно, оба показателя которого меньше показателя жидкости:

$$I < 1,456$$

$$II < 1,456$$

Один из них (безразлично, как обозначить его, I или II) близок к 1,456.

В соседней жидкости оказывается:

$$I > 1,452$$

$$II > 1,452$$

Как в предыдущем случае, один из показателей преломления кристалла почти равен показателю преломления жидкости.

Таким образом, для Nm имеет место следующее неравенство:

$$1,456 > Nm > 1,452.$$

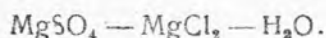
Проверка показателей преломления жидкостей на рефрактометре дала:

$$1,459 > Nm > 1,454.$$

откуда:

$$Nm = 1,456 \pm 0,003.$$

Пример взят из работ по определению твердых фаз в тройной системе



Полученные константы весьма близки к литературным данным для семиводного сернокислого магния ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$):

По нашим определениям:

$$N_g = 1,463 \pm 0,002; N_m = 1,456 \pm 0,003; N_p = 1,434 \pm 0,001$$

По литературным данным:

$$N_g = 1,461; N_m = 1,455 \quad N_p = 1,433.$$

Точность работы достаточно высока. Если бы под рукой не было рефрактометра, то полученные результаты были бы несколько хуже (именно: $N_g=1,463$; $N_m=1,454$; $N_p=1,430$), но во всяком случае они были бы вполне достаточны для целей определения.

Для обычной работы допустима точность $\pm 0,003-0,005$.

Если в лаборатории нет своего рефрактометра, и, следовательно, нельзя каждый раз определять показатели преломления двух взятых последними жидкостей, то надо периодически (раз в 3—4 месяца) проверять показатели преломления эталонных жидкостей всего набора. Это избавит от систематических односторонних погрешностей.

Разобранный случай определения среднего показателя преломления не является единственным. Если мы вспомним, что диаметр кругового сечения индикатрисы равен N_m , то не трудно будет понять, что, выбрав зерно с таким сечением, можно без труда определить его показатель преломления, вытягивая из-под покровного стекла препарата одну жидкость и заменяя ее другой. Найти в препарате зерна с круговым сечением индикатрисы будет нетрудно, так как в скрещенных николях они в силу отсутствия интерференционной окраски будут темносерыми.

Когда тем или иным способом найдены все три показателя преломления кристаллов, можно вычислить знак (плюс и минус) по следующей формуле:

$$\begin{aligned} N_g - N_m > N_m - N_p & \text{— знак } + \\ N_m - N_p > N_g - N_m & \text{— знак } - \end{aligned}$$

При этом необходимо учесть степень точности определения измеренных величин.

В разделе о работе в сходящемся свете будет указан способ экспериментального определения угла оптических осей, которое является более точным, чем вычисление этого угла по показателям преломления.

¹ Следует предостеречь начинающих исследователей от повторения часто встречающейся в литературе ошибки пытаться на основании полученных данных давать величину двупреломления N_g-N_p как разность значений N_g и N_p . Надо помнить, что ошибка получается весьма существенной, так как одно определение надо брать с некоторым плюсом, а другое с некоторым минусом. Таким образом, общая ошибка складывается из двух отдельных ошибок, что дает в результате недопустимую неточность. Ред.

XI. ИЗМЕРЕНИЕ УГЛОВ ПОД МИКРОСКОПОМ.

УГОЛ ПОГАСАНИЯ. ЗНАК ЗОНЫ.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОРИЕНТИРОВКИ ИНДИКАТРИСЫ

Часто вещества, принадлежащие к низшим сингониям, кристаллизуются в форме ромбических пластинок, игл с косо срезанным концом и т. п. Сравнение углов таких кристаллов является средством, с помощью которого можно отличать одно вещество от другого.

Для измерения угла АОВ (рис. 49) ставят кристалл так, чтобы край его находился очень близко и являлся параллельным одной из нитей окулярного креста (например вертикальной), но не совпадал бы с ней.

Затем, взяв отсчет по столику микроскопа, поворачивают столик в направлении, указанном стрелкой до тех пор, пока второе направление ОВ не станет в положение, параллельное вертикальной нити (см. пунктирное изображение кристалла). Разность двух отсчетов по столику и даст искомый угол. Измерение надо произвести несколько раз и затем взять среднее арифметическое из полученных величин. При аккуратной работе удастся получить точность в 1° , что вполне достаточно.

Желательно, чтобы во всех случаях, когда в препарате имеются подходящие кристаллы, углы их при работе иммерсионным методом были измерены. Когда кристаллы в направлении толщины препарата ограничены наклонными гранями, расположенными косо к плоскости препарата, измерение углов контура таких кристаллов будет неточным. Этот случай можно легко различить, если фокусировать микроскоп на такую косую грань. Линия ограничения кристалла в этом месте будет очень толстая и, кроме того, будет смещаться в сторону при движении тубуса.

В разделе VII мы показали случай прямого и косого погасания кристаллов (см. рис. 31 и 32, стр. 40).

Если кристалл имеет форму ромба и гаснет в момент совпадения его диагоналей с нитями в окуляре, то такое погасание носит название симметричного (рис. 50). Угол погасания удобно измерять у кристаллов, имеющих резко выраженное удлинение или хорошую спайность.

Погасание можно определять не только по отношению к линиям ограничения, но и к любому кристаллографическому направлению, как то: к плоскости спайности, к двойниковому шву и т. п.

Измерение угла погасания по отношению к ограничению делается так: выбрав в препарате удлиненный кристалл, помещают его в положение, параллельное нити окулярного креста, например вертикальной (см. рис. 32). Делают это без анализатора. Затем, скрестив николи, замечают, что кристалл не затемнен. Производят на столике отсчет по лимбу, а затем поворачивают столик до полного затемнения кристалла (изображение кристалла в этом поло-

жении заштриховано), после чего вновь производят отсчет по лимбу. Разность двух этих отсчетов даст угол погасания. Положение затемнения трудно определить точно, поэтому предпочтительно, чтобы второй отсчет был взят несколько раз, причем столик должен быть подведен к положению затемнения со с одной стороны (по часовой стрелке), то с другой (против часовой стрелки), после чего из полученных отсчетов должно быть взято среднее арифметическое.

В разделе VII мы рассматривали, для каких случаев характерно прямое погасание и для каких—косое. Там же было указано, что углом погасания является угол, который образует одна из осей индикатрисы (Ng , Nm или Np) с направлением вытянутости кристаллов (например по третьей координатной оси) или с каким-

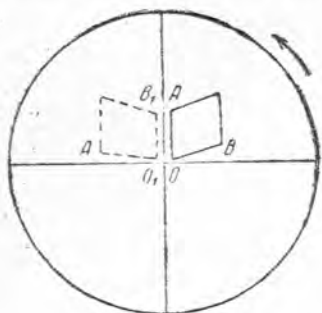


Рис. 49.

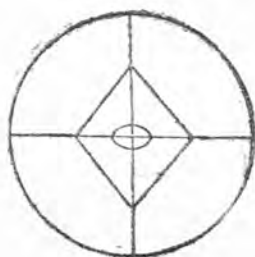


Рис. 50.

либо иным определенным кристаллографическим направлением в кристалле.

Если с направлением удлинения совпадает большая ось эллипса сечения индикатрисы, то характер удлинения или, иначе, знак зоны будет называться положительным. В обратном случае, когда с удлинением совпадает меньшая ось, характер удлинения будет отрицательным.

Определение знака зоны делается очень просто. Убедившись, что кристалл обладает прямым погасанием (или измерив угол погасания), ставят его в положение, параллельное прорезу тубуса микроскопа, то-есть под 45° к кресту нитей (рис. 51), и вдвигают клин в направлении, указанном стрелкой. Оси индикатрисы кристалла совпадают по направлению с осями индикатрисы клина. В нашем примере оси, совпадая по направлению, не совпадают по величине, то-есть с направлением большей оси кристалла совпадает меньшая ось клина. Вдвигая клин, компенсируют постепенно двупреломление кристалла, после чего в конце концов он станет темносерым. Другими словами, можно затемнить кристалл в том случае, когда оси его индикатрисы будут находиться в несогласном положении с осями клина, то-есть когда характер удлинения его является положительным.

Если бы взятый кристалл имел отрицательное удлинение, то, вдвигая клин, мы все время увеличивали бы разность хода и никогда не смогли бы затемнить кристалл, так как положения осей индикатрисы у кристалла и клина были бы согласны между собой.

Прежде чем определить знак, необходимо выяснить ориентировку индикатрисы в компенсаторе. Обычно она бывает указана. Для кристаллов с низкими интерференционными цветами (серыми), нужно пользоваться не клином, а гипсовой пластинкой. Если при этом получается понижение цвета, то положение осей несогласное, если же повышение—то согласное.

На рис. 52 показана зарисовка кристаллов, сделанная в рабочей тетради во время измерения показателей преломления.

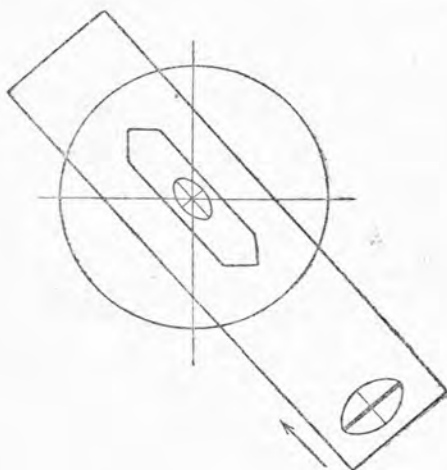


Рис 51.



Рис 52.

Из зарисовки следует, что вещество кристаллизуется в форме игл, острый угол которых равен 72° , угол погасания 15° знак удлинения положительный. На основании приведенных данных можно заключить, что это вещество принадлежит к моноклинной или триклинной сингонии.

На рис. 50 показано вещество, кристаллизующееся в форме ромбических табличек, причем с большей диагональю ромба совпадает меньшая ось индикатрисы.

По ориентировке индикатрисы и, в частности, по характеру удлинения часто удается различить два вещества со сходными показателями преломления.

Если вещество в иммерсионном препарате имеет хорошо выраженные кристаллы, то обычно не представляет труда параллельно

с определением показателей преломления определить и ориентировку индикатрисы. Поясним на примере, как это делается. Предположим, что на рис. 50 изображен один кристалл вещества, принадлежащего к ромбической сингонии и кристаллизующегося в форме ромбических пластинок. В этом случае погасание у кристалла должно быть симметричным. Определив с помощью компенсатора указанным выше способом, что с большой диагональю ромба совпадает меньшая ось эллипса сечения индикатрисы, следует считаться с двумя возможными случаями: 1) большей осью этого сечения является ось N_m , тогда меньшая обязательно будет N_p и 2) большей осью является ось N_g , тогда меньшая может быть осью N_m или N_p . Вопрос быстрее всего можно решить путем приготовления препарата с жидкостью с показателем преломления, равным или очень близким к N_m кристалла. Если большей осью индикатрисы в этом сечении является ось N_m , то при совмещении ее с той нитью окулярного креста, в направлении которой поляризатор пропускает колебания (например с вертикальной), кристалл должен «исчезнуть». После поворота столика на 90° (см. рис. 50) должна наблюдаться картина, соответствующая случаю, когда показатель преломления кристалла равен N_p , то есть у кристалла в этом положении показатель преломления будет меньше, чем у жидкости.

Если же в разбираемом сечении большей осью является ось N_g , а меньшей ось N_m , то кристалл «исчезнет» в положении, изображенном на рис. 50, а в положении, получающемся после поворота столика на 90° , будет наблюдаться картина, соответствующая случаю, когда показатель преломления кристалла равен N_g .

Наконец, если сечение (рис. 50) будет $N_g N_p$, то в жидкости с показателем преломления, равным N_m , «исчезновение» кристалла ни в исходном положении, ни после поворота столика на 90° не произойдет. Здесь будет наблюдаться картина, соответствующая в одном случае кристаллу с показателем преломления N_g , а в другом— N_p .

Для контроля лучше не довольствоваться одним препаратом, сделанным с жидкостью с показателем преломления N_m , но приготовить еще препарат с жидкостью с показателем, равным N_g или N_p , в зависимости от результатов, полученных при исследовании первого препарата. Кроме того, наименование осей сечений индикатрисы следует проверять с помощью компенсатора. Делается это совершенно так же, как и определение характера удлинения, подробно описанное в начале настоящего раздела.

Во всех случаях достаточно констатировать ориентировку двух осей индикатрисы—третья определится однозначно по положению первых двух.

ХИ. ИССЛЕДОВАНИЕ КРИСТАЛЛОВ В СХОДЯЩЕМСЯ СВЕТЕ

1. Установка микроскопа для работы в сходящемся свете

Как было сказано в разделе IV, для наблюдения в сходящемся свете нужно ввести линзу Лазо и поднять ее как можно выше, чтобы она была, по возможности, под самым препаратом. Диафрагмы над поляризатором и под ним должны быть открыты как можно шире. Наблюдение интерференционной фигуры в сходящемся свете ведется в скрещенных николях с включенной линзой Бертрана. Более мелкая, но зато более четкая фигура получается, если удалить окуляр и выключить линзу Бертрана.

В обоих случаях мы видим не самый кристалл, а интерференционную картину, получающуюся в фокусе объектива.

Надо иметь в виду, что хорошую интерференционную фигуру в сходящемся свете удастся видеть в том случае, когда размер зерна не менее 0,05 мм. Весьма полезно регулировать отверстие линзы Бертрана диафрагмой или использовать диафрагму над анализатором. Если нет вышеуказанных приспособлений, хороший результат даст накладная диафрагма.

2. Изучение одноосного кристалла

Рассмотрим теперь случай наблюдения одноосного кристалла, оптическая ось которого совпадает с оптической осью микроскопа. Пусть эллипсоид будет положительным, то-есть вытянутым эллипсоидом вращения.

На рис. 53 изображено, что луч 4 проходит в направлении оптической оси кристалла К. Перпендикулярным к этому лучу сечением индикатрисы будет окружность диаметра Nm (см. сплошной круг в центре верхней части рис. 53). Для ясности эта окружность показана повернутой на 90° и поэтому совпадает с плоскостью чертежа. В действительности эта окружность перпендикулярна к лучу 4 и в этой проекции должна была бы проектироваться в линию. Участок интерференционной фигуры, прилегающей к центру темного креста будет также темным. По мере увеличения угла наклона лучей от 4 к 3 и 5, к 2 и 5 и т. д. разрезы индикатрисы, перпендикулярные к этим лучам, будут характеризоваться эллипсами, все более вытянутыми по направлению радиусов круга интерференционной картины. Оси всех эллипсов, перпендикулярные к радиусам, будут равны между собой и равны Nm эллипсоида вращения. В тех участках интерференционной фигуры, где оси эллипсов совпадают по направлению с плоскостями колебаний в николях pp и aa , будет наблюдаться темнота (см. объяснение четырехкратного погасания, приведенное в разделе VII). Ввиду этого участки вблизи обеих нитей окулярного креста будут темными. В результате мы будем наблюдать в

поле зрения темный крест (на рис. 53 он заштрихован). В промежутках между концами темного креста оси эллипсов будут располагаться косо по отношению к кресту нитей (на рис. 53 показаны лишь эллипсы с осями под углом в 45°); поэтому здесь не будет темноты. Мы знаем, что интерференционная окраска зависит от двух причин: во-первых, от разности показателей преломления и, во-вторых, от толщины кристалла. Взяв какой-либо луч (например 3), расположенный по углом φ к центральному лучу 4, легко заметить, что в том же положении к центральному лучу будет находиться целый конус лучей, сечение которого плоскостью чертежа есть 305. Для этого конуса характерно равенство обеих величин, обуславливающих двупреломление; поэтому цвет всего кольца (сечение конуса лучей интерференционной фигурой) будет один и тот же. Если наблюдение ведется в монохроматическом свете, то увеличивающаяся от центра к периферии разность хода будет последовательно проходить значения $\frac{1}{2}\lambda$, $\frac{3}{2}\lambda$, $\frac{5}{2}\lambda$ и т. д., то-есть два интерферирующих луча будут гасить друг друга¹, поэтому на фигуре мы будем наблюдать ряд концентрических темных колец. Если же работа происходит в белом свете, то эти кольца будут цветными и окраска их будет от центра к периферии постепенно меняться. На рис. 54 схематически показана картина, наблюдающаяся при рассмотрении в сходящемся свете одноосного кристалла в направлении его оптической оси. При вращении столика микроскопа никакой разницы в картине наблюдаться не будет.

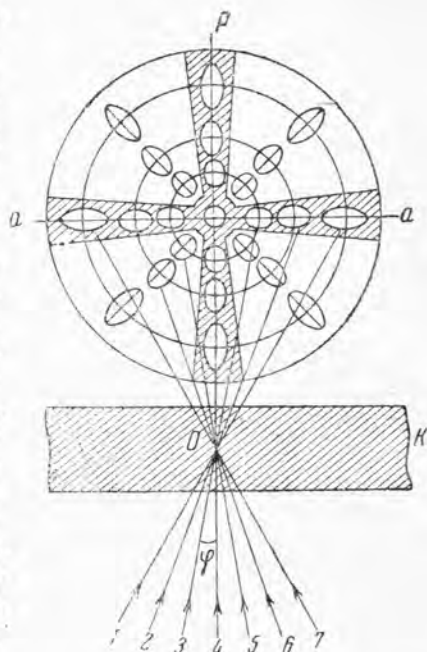


Рис. 53.

Если оптическая ось одноосного кристалла не попадет в поле зрения, то при вращении видно, как темная ветвь креста (балка) движется параллельно вертикальной нити окуляра (см. рис. 55, а и б) до исчезновения (рис. 55, в). Вслед за этим появляется вторая ветвь, движущаяся вниз параллельно горизонтальной нити.

¹ Следует помнить, что анализатор добавляет к разности хода, даваемой кристаллом, еще $\frac{1}{2}\lambda$; таким образом, места расположения темных колец будут соответствовать лучам, дающим в кристалле разность хода, равную нечетному числу полуволин. В параллельных николях в этих местах будут расположены максимумы освещенности. Ред.

Если оптическая ось одноосной индикатрисы лежит в плоскости препарата, то в сходящемся свете получается своеобразная интерференционная фигура (см. рис. 56). При вращении столика эта фигура исчезает всякий раз, как оптическая ось совпадает с направлением колебаний в николях. В этот момент поле зрения становится темным¹.

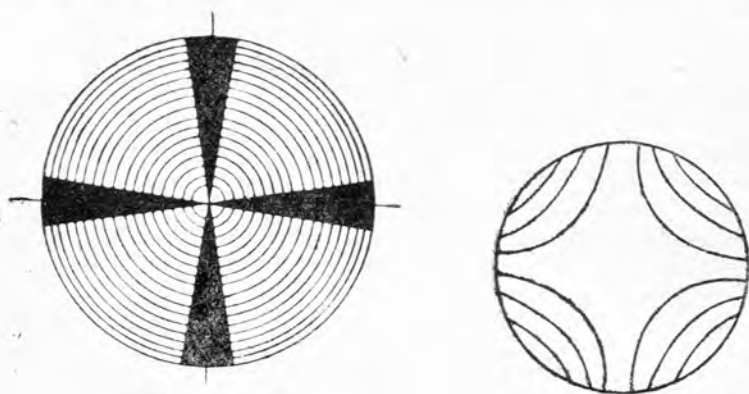


Рис. 54.

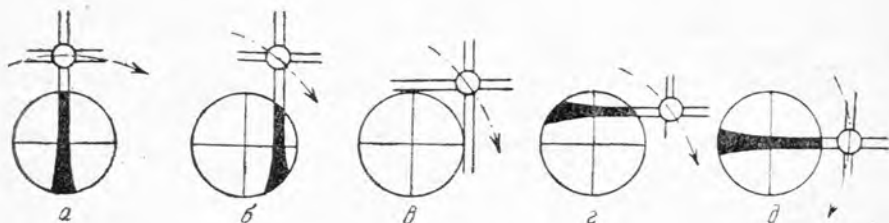


Рис. 55.

3. Определение оптического знака одноосного кристалла

Знак одноосной индикатрисы определяется удобнее всего в разрезах, перпендикулярных оптической оси. На рис. 57а схематически показана интерференционная фигура одноосного положительного кристалла, на рис. 57б — фигура отрицательного кристалла. Вблизи центра темного креста указана ориентировка эллиптических сечений индикатрисы. Если в прорез тубуса вдвинуть гипсовую пластинку (ориентировка эллипсоида на ней указана), то легко видеть, что в I и III квадрантах для случая «а» будет соглас-

¹ При этом затемнение наступает вследствие надвигания двух гиперболовидных кривых, сходящихся симметрично в центре поля зрения. При повороте столика кривые расходятся и быстро исчезают из поля зрения. Направления их исчезновения соответствуют направлению оптической оси кристалла. Ред.

ным совпадением осей, причем будет наблюдаться повышение интерференционной окраски. В квадрантах же II и IV большая ось индикатрисы кристалла совпадает с меньшей осью индикатрисы гипсовой пластинки, то-есть положение будет несогласным, что повлечет за собой понижение интерференционной окраски. Гипсовая пластинка, в случае незначительного увеличения разности хода, меняет фиолетовый цвет на синий, а в случае незначительного

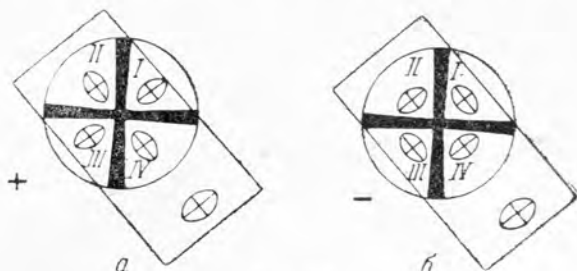


Рис. 57.

уменьшения—на желтый. Итак, цвета вблизи темного креста будут располагаться следующим образом: в случае положительного одноосного кристалла квадранты I и III будут окрашены в синий цвет, а квадранты II и IV—в желтый (см. рис. 58, а), в случае же отрицательного кристалла (рис. 58, б) расположение цветов будет обратным.

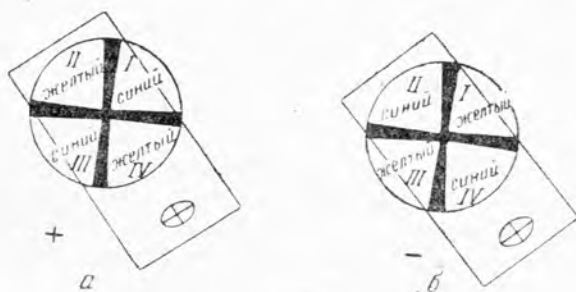


Рис. 58.

Если препарат толстый или двупреломление кристалла велико, то цветных (изохроматических) колец на интерференционной фигуре будет много. В этом случае пользоваться гипсовой пластинкой неудобно, так как трудно заметить небольшое изменение интерференционной окраски. В этом случае следует воспользоваться кварцевым клином. Вдвигая его в прорез тубуса микроскопа (рис. 59—направление движения указано стрелкой), мы увидим,

как изохроматические кольца в случае положительного кристалла побегут в I и III квадрантах от периферии к центру, а во II и IV квадрантах—от центра к периферии.

В случае отрицательной индикатрисы направление движения изохроматических колец будет противоположным (рис. 59, б).

Прежде чем определить знак эллипсоида, нужно дать себе отчет в ориентировке индикатрисы у компенсатора (гипсовая пластинка, клин и т. п.) и, если ориентировка индикатрисы в компенсаторе обратная указанной на рис. 57, 58 и 59, то и наблюдающаяся картина тоже будет обратной. Это относится, в частности, к компенсатору Берека, где бо́льшая ось индикатрисы располагается по длине компенсатора.

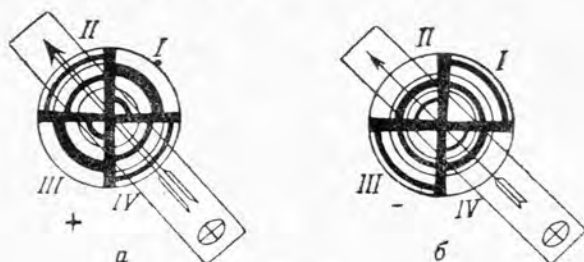


Рис. 59.

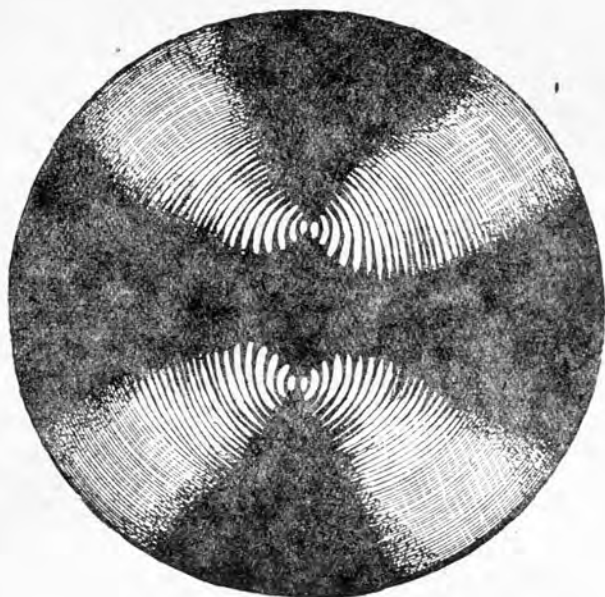
В разделе VII мы указывали, как можно в параллельном свете определять вещества, вращающие плоскость поляризации. В сходящемся свете то же удастся это сделать, изучая интерференционные фигуры. В частности, одноосная интерференционная фигура, полученная на препарате из вещества, вращающего плоскость поляризации, отличается от обычной тем, что центр темного креста, вследствие максимального поворота плоскости поляризации вдоль оптической оси, оказывается светлым¹.

4. Изучение двуосного кристалла

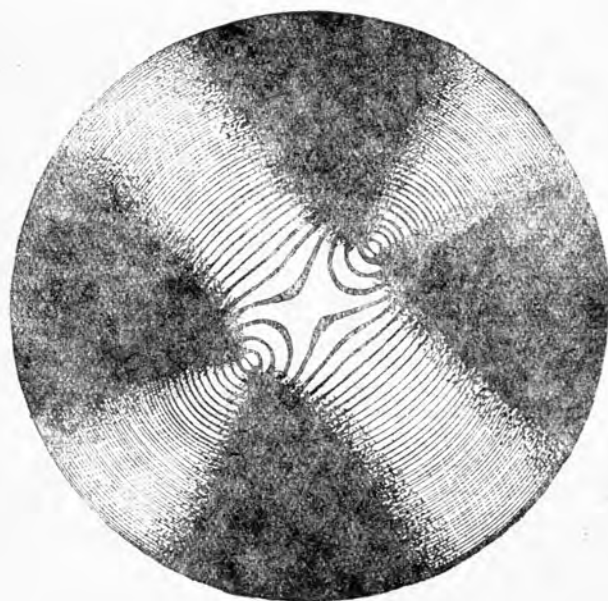
Интерференционная фигура, полученная в сходящемся свете для двуосного кристалла, вырезанного перпендикулярно острой биссектрисе, изображена на рис. 60 а, причем видны выходы оптических осей. Они лежат сейчас в плоскости колебаний одного из николей. В этом случае, как и для одноосной фигуры, наблюдается темный крест, однако форма его несколько иная (следует сравнить рис. 60 а, и 54). Его более размытая ветвь направлена по N_m , а узкая лежит в плоскости $A_1 A_2$.

Если повернуть столик микроскопа, то темный крест разорвется и превратится в гиперболу. На рис. 60 б препарат повернут так, что плоскость оптических осей оказалась под 45° к нап-

¹ Правое и левое вращения могут быть определены при наличии пластинки $\frac{1}{4} \lambda$ по спиральям Эри. Ред.



a



б

Рис. 60.

равлению колебаний в николях. При вращении столика на иные углы будут получаться промежуточные положения. На рисунке отчетливо видно, что изохроматические линии только вблизи выходов оптических осей имеют форму окружностей или овалов. По

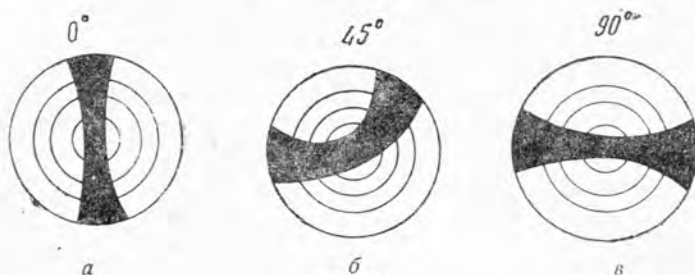


Рис. 61.

мере удаления от оптической оси форма изохроматических линий усложняется, и, наконец, они принимают форму, напоминающую восьмерку (лемниската).

Интерференционная фигура двуслойной индикатрисы в разрезах, близких к плоскости оптических осей или перпендикулярных к биссектрисе очень тупого угла, весьма близка к фигуре одноосных кристаллов, изображенной на рис. 56. В разрезах, перпендикулярных к одной оптической оси двуслойной индикатрисы, будет видна одна темная ветвь, вращающаяся при вращении столика микроскопа (см. рис. 61 а, б и в).

Если $2V$ кристалла не очень велико, то в промежуточных положениях ветвь креста превращается в ветвь гиперболы, обращенной своей выпуклой стороной к острой биссектрисе. Чем ближе $2V$ к 90° , тем прямее ветвь гиперболы (рис. 62).

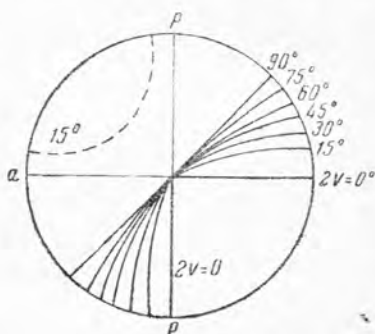


Рис. 62.

В косых разрезах двуслойной индикатрисы ветви гиперболы передвигаются не параллельно нитям окулярного креста (рис. 63).

Благодаря этому последнему явлению, пользуясь сходящимся

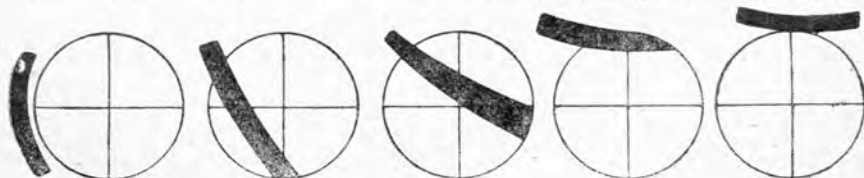


Рис. 63.

светом, удастся легко отличить одноосные кристаллы от двуосных.

5. Определение оптического знака двуосного кристалла

Знак двуосной индикатрисы определяется в разрезах, перпендикулярных острой биссектрисе или оптической оси.

В обоих случаях столик поворачивают так, чтобы плоскость оптических осей была под углом в 45° к направлению колебаний в николях, после чего вдвигают гипсовую пластинку.

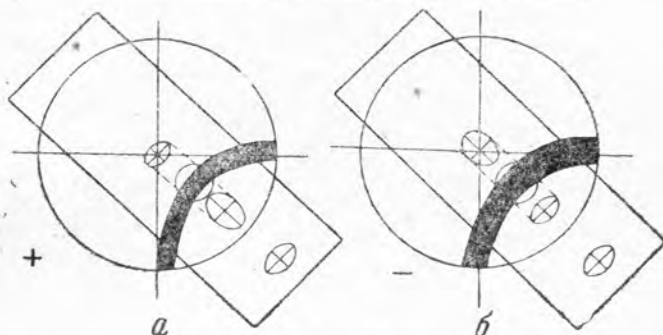


Рис. 64.

На рис. 64 показано расположение сечений индикатрисы на выпуклой и вогнутой сторонах ветви гиперболы: а) для двуосного положительного кристалла и б) для двуосного отрицательного. На рис. 65 показано для этих же случаев расположение цветов после введения гипсовой пластинки. Если пользоваться кварце-

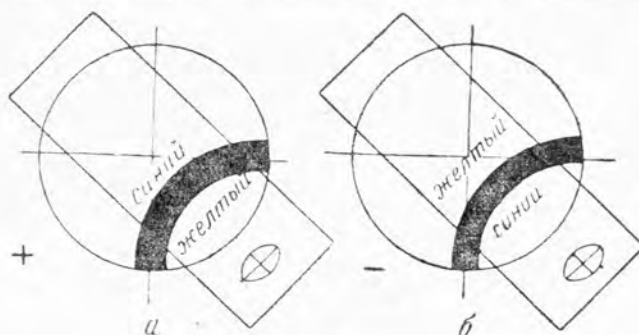


Рис. 65.

вым клином, то при его вдвигании изохроматические линии в случае положительной индикатрисы будут двигаться, как это показано (на рис. 66, а), то-есть при вдвигании клина они будут перемещаться от оптической оси в сторону вогнутости гиперболы к периферии поля зрения и от периферии к центру поля зрения в квадрантах, в которых нет оптических осей.

Обратное движение изохроматических линий будет наблюдаться в случае отрицательной двуосной индикатрисы (рис. 66, б).

Из сказанного выше ясно, как отличить одноосные кристаллы от двуосных. Теперь надо указать еще на отличие изотропных кристаллов от анизотропных, то-есть кристаллов кубической сингонии от всех остальных. В разделе II мы указывали, что кубические кристаллы характеризуются индикатрисой в форме шара, разрезы которой, следовательно, всегда круговые. Поэтому поляризованный луч никогда не распадается в таких кристаллах на два, а следовательно, не может возникнуть интерференции. Сказанного достаточно, чтобы суметь разрешить поставленную задачу. Если в препарате имеются зерна, которые при вращении между скре-

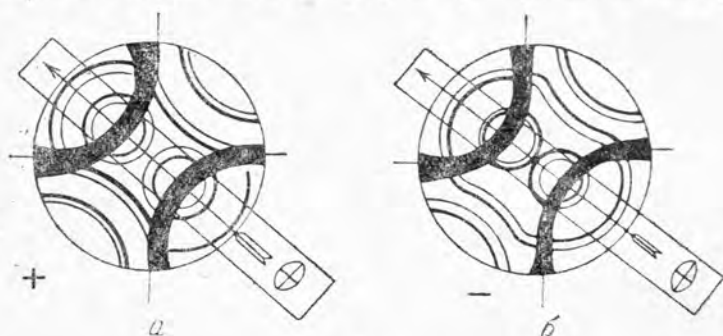


Рис. 66.

щенными николями остаются темными, то может быть два случая: 1) это любой разрез кристалла кубической сингонии или 2) это изотропный разрез анизотропного кристалла.

Переходим от рассмотрения этих зерен в параллельных лучах к рассмотрению их в сходящемся свете. Если удалось получить интерференционную картину, то значит, что кристаллы анизотропны. Если же при правильной установке микроскопа интерференционной картины получить не удалось, то из этого следует, что кристаллы принадлежат к кубической сингонии.

6. Измерение угла оптических осей

По интерференционной фигуре в сходящемся свете удастся измерить угол оптических осей.

Луч света, идущий в кристалле по направлению оптической оси A_1 , или A_2 (рис. 67), преломляется на границе раздела с воздухом и отклоняется от перпендикуляра. Между углом падения V и углом преломления E существует уже известная нам зависимость, а именно:

$$\frac{\sin V}{\sin E} = \frac{n}{Nm}, \quad (1)$$

где N_m — средний показатель преломления кристалла, поскольку луч света идет по направлению оптической оси, а n — показатель преломления среды, в которую входит луч, выйдя из кристалла. В нашем примере это — воздух, то-есть $n=1$. Откуда:

$$\sin V = \frac{\sin E}{N_m}, \quad (2)$$

При работе иммерсионным методом мы всегда измеряем величину угла оптических осей в воздухе, так называемого кажущегося угла оптических осей $2E$, а величину истинного угла оптических осей $2V$ вычисляем из величин кажущегося угла и среднего показателя преломления по формуле (2).

Для измерения величины $2V$ поступаем следующим образом.

Найдя подходящий разрез и получив для него хорошую интерференционную фигуру, следует убедиться, что при вращении столика микроскопа ветви гиперболы не уходят из поля зрения. Только в этом случае возможно измерение величины угла оптических осей.

Вынув обычный окуляр, вставляют такой, в котором крест нитей заменен шкалой с делениями. Поставив затем ветви гиперболы на наибольшее расхождение (рис. 68), считают число делений, приходящихся между ними. Угол E вычисляется по формуле:

$$\sin E = \frac{D}{K}. \quad (3)$$

В этой формуле D — число делений между ветвями гиперболы, а K — постоянная величина, зависящая от оптической системы. Величина « K » должна быть определена заранее для данной комбинации объектива и окуляра. Для ее определения необходимо иметь вещество, для которого известны средний показатель преломления и угол оптических осей. Измерение угла оптических осей этим способом возможно не во всех случаях. Например, если угол оптических осей приближается к 90° , то в случае разрезов, перпендикулярных как к тупой, так и к острой биссектрисе, ветви гиперболы при вращении столика будут уходить из поля зрения. Если применять обычную для иммерсионного метода комбинацию объектива и окуляра, то этим способом у вещества с показателями преломления около 1,5 удастся измерить $2V$ в пределах от 0 до 60° .

Найдя в препарате разрез, перпендикулярный острой биссектрисе, кроме угла оптических осей и знака, удастся еще определить и формулу дисперсии. Для последних двух определений достаточно бывает таких разрезов, когда в поле зрения микроскопа наблюдается даже одна оптическая ось.

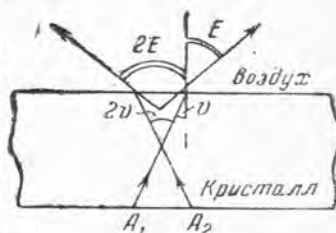


Рис. 67.

Формулой $\gamma > v$ обозначается, что угол оптических осей в красных лучах (в длинноволновой части спектра) больше, чем в фиолетовых (в коротковолновой части спектра). Обратное отношение обозначается формулой $\gamma < v$.

Если исследуемое вещество обладает дисперсией оптических осей, то ветви темной гиперболы должны иметь на выпуклой и вогнутой сторонах цветной оттенок.

В случае, если $\gamma > v$, гипербола имеет красноватый оттенок на выпуклой стороне и синеватый на вогнутой. В случае, когда $\gamma < v$ распределение оттенков противоположное.

Поясним случай $\gamma > v$, то-есть когда угол оптических осей в красных лучах 1—1 больше, чем в фиолетовых 3—3 (рис. 69).

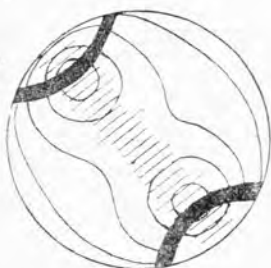


Рис. 68.

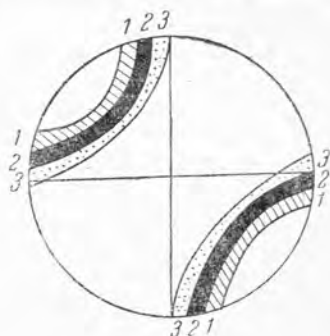


Рис. 69.

На рис. 69 1—1 (заштрихованная гипербола) показывает положение темных ветвей гиперболы в красном свете, а 3—3 положение темных ветвей гиперболы (на рисунке они покрыты точками) в фиолетовом свете. Если вести наблюдение в белом свете, то темная гипербола 2—2 окажется окрашенной с вогнутой стороны в синий цвет, так как в этой стороне будут погашены красные лучи (для них в этом месте должна проходить темная ветвь гиперболы), на выпуклой же стороне ветвей гиперболы будет окрашена в красный цвет, так как для синих лучей здесь будут проходить темные ветви гиперболы, и синие лучи, поэтому, будут погашены.

7. Определение ориентировки индикатрисы в кристаллах

В разделе III мы подробно разобрали с геометрической стороны ориентировку индикатрисы в кристаллах, в настоящем же разделе будет дан метод определения этой ориентировки. В разделе III было указано, что нельзя говорить об ориентировке индикатрисы в кристаллах кубической сингонии, так как сечение ее (шара) всегда круг.

В кристаллах средних сингоний круговое сечение индикатрисы (эллипсоида вращения) располагается всегда перпендикулярно главной оси симметрии. Другими словами, с главной осью всегда совпадает ось вращения эллипсоида.

Отсюда следует, что ориентировка здесь всегда известна.

Сложнее обстоит вопрос в низших сингониях, для которых, как указывалось в разделе III, ориентировка может быть весьма разнообразной. Выше мы уже познакомились с явлениями, связанными с ориентировкой индикатрисы: прямое и косое погасание, величина угла погасания, знак зоны и т. п. В соответствующих местах текста приводились методы измерения этих величин и способ опре-

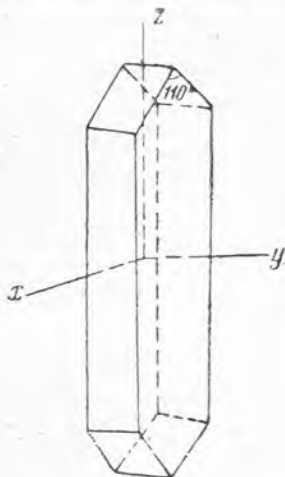


Рис. 70.

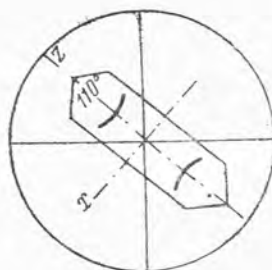


Рис. 71.

деления ориентировки индикатрисы при работе ортоскопическим методом.

Однако определение ориентировки индикатрисы легче всего сделать с помощью интерференционных фигур в сходящемся свете.

Для примера возьмем кристалл ромбической сингонии (рис. 70). В нашу задачу входит определить, какая из осей индикатрисы (N_g , N_m или N_p) с какой из кристаллографических осей совпадает.

Оптические константы были уже определены (допустим, что $N_g=1,522$, $N_m=1,515$, $N_p=1,461$, $2V=40^\circ$).

Вещество дает игольчатые кристаллы. Ориентируются они в препарате так, что вверх направлена или ось X или, чаще, ось Y.

Найдя в препарате подходящий кристалл, следует убедиться, что здесь имеется нужный разрез. Для этого измеряют угол между косыми гранями (рис. 71) и сравнивают его с соответственным углом на кристалле (см. рис. 70). Углы совпадают. Сле-

довательно, у кристалла в препарате вверх направлена ось Y . Включают коноскоп. Предположим, что при этом установленное сечение кристалла оказалось перпендикулярным тупой биссектрисе¹. Так как индикатриса в нашем примере отрицательная, то, следовательно, вверх направлена ось Ng , а в плоскости препарата лежат оси Np и Nm .

Итак $Ng=Y$. По интерференционной фигуре можно заключить, что Nm совпадает с осью X . В последнем можно также убедиться, определив знак удлинения кристаллов; в настоящем примере он будет отрицательным. Отсюда оптическая ориентировка кристалла определена: $Ng=Y$, $Nm=X$.

В моноклинных кристаллах надо еще определить, под каким углом к оси Z располагается ближайшая ось индикатрисы и в какую сторону она наклонена (см. конец раздела III). Ориентировка определяется также с помощью интерференционной фигуры в сходящемся свете, знака зоны и угла погасания, причем безразлично, получить ли фигуру для разреза, перпендикулярного острой или тупой биссектрисе, или же для разреза, параллельного плоскости оптических осей. В любом из этих случаев ориентировка определяется однозначно.

ХIII. СОВРЕМЕННЫЕ ПУТИ РАЗВИТИЯ ИММЕРСИОННОГО МЕТОДА

Недостатки обычного иммерсионного метода, изложению основ которого посвящена настоящая книга, заключаются, во-первых, в сравнительно небольшой точности (около 0,003 в рядовых случаях, в некоторых случаях доходящая до 0,010) и, во-вторых, в громоздкости статистического метода определения показателей преломления, описанного в X разделе. Развитие иммерсионного метода за последние 20 лет пошло по линии устранения обоих этих недостатков.

Для повышения точности определения показателей преломления кристаллов необходимо прежде всего считаться с дисперсией, которой мы до сих пор пренебрегали. Напомним, что под дисперсией подразумевается изменение показателей преломления кристалла в зависимости от длины волны света, в котором происходит определение показателей преломления. Чтобы сразу же огдать себе отчет, о каких порядках величин идет речь, в табл. 3 приведены два примера измерений показателей преломления веществ, кристаллизующихся в кубической сингонии.

¹ Такое сечение должно дать в сходящемся свете симметрично окрашенное поле подобно изображенному на рис. 56. При этом более низкие окраски расположены в направлении острой биссектрисы, а более высокие в направлении Nm . Ред.

Таблица 3

Вещество	N_C	N_D	N_F
	656 $m\mu$	589 $m\mu$	486 $m\mu$
NaCl	1,5407	1,5443	1,5534
K ₂ PtCl ₆	1,811	1,825	1,843

Из табл. 3 видно, что изменение величины показателя преломления во втором из приведенных в этой таблице случаев достигает нескольких единиц второго знака; поэтому, работая в белом свете, нельзя рассчитывать провести измерение с большой точностью. Чтобы повысить точность, надо проводить все измерения в монохроматическом свете. Если исследуется не вся кривая дисперсии кристалла, а измерение производится только для одной точки, то обычно этой точкой является монохроматический свет натрия, длина волны которого, равная 589 $m\mu$, совпадает с D=фраунгоферовой линией спектра. Для получения монохроматического света натрия достаточно поместить в пламя газовой горелки кусок асбестовой ваты, смоченной раствором поваренной соли или соды. В случае, когда приводятся три точки кривой дисперсии, обычно, кроме точки соответствующей D-линии, берут одну точку в длинноволновой части спектра (красный свет лития, приблизительно совпадающий с линией C) и вторую точку в коротковолновой части спектра (синий свет, совпадающий с линией F).

Для изучения кривой дисперсии необходимо пользоваться соответствующими монохроматическими светофильтрами или же специальным монохроматором. Принцип устройства монохроматора заключается в том, что свет от сильного источника попадает на призму, разлагающую его в спектр, из которого соответствующей диафрагмой вырезается пучок с небольшим интервалом длин волн. Если вырезаемый диафрагмой пучок достаточно узок, то практически его можно считать монохроматическим.

Существенным шагом вперед в направлении повышения точности определения показателей преломления кристаллов явилась разработка основ метода хроматической вариации, предложенного в 1925 г. Тсюбои. Принцип метода и приемы работы заключаются в следующем: после предварительного определения показателей преломления кристалла обычным способом изготавливается препарат с жидкостью с показателем преломления, близким к показателю преломления исследуемого кристалла. Затем в приготовленном препарате находят определенно ориентированный разрез, на котором и проводят измерение. Пусть для конкретности это будет разрез, перпендикулярный к N_p двуосного отрицательного кристалла, установленный по фигуре в сходящемся свете. В плоско-

сти препарата лежат оси Nm и Ng, которые следует определить. На рис. 72 показаны кривые дисперсии двух соседних иммерсионных жидкостей I и II. По оси абсцисс отложены длины волн от больших значений к меньшим, по оси ординат — показатели преломления.

Глядя в микроскоп совмещают ось Nm с направлением колебаний поляризатора, для чего ставят зерно на соответствующее погасание, выключив для этого коноскоп. Затем ведут наблюдение за полоской Бекке, изменяя длину волны света, падающего на зеркальце микроскопа. Для этой цели удобнее всего пользоваться монохроматором. При некоторой длине λ_1 волны полоска Бекке исчезает; фиксируют это положение на кривой I точкой 1. Проделав ту же

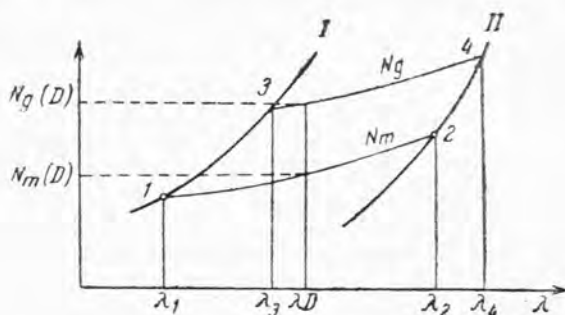


Рис. 72.

операцию во второй жидкости II, констатируют исчезновение полоски Бекке при длине волны λ_2 (точка 2). Соединив на миллиметровой бумаге плавной, слегка вогнутой кривой точки 1 и 2 получают кривую дисперсии показателя преломления Nm исследуемого кристалла. Для стандартной длины волны (обычно λ_D) находят значение показателя преломления Nm, как это указано на рис. 72. Если двупреломление кристалла невелико, то обычно в том же препарате удается определить и второй показатель преломления (см кривую 3—4 для Ng). Точность определения показателей преломления методом хроматической вариации достигает 0,002.

Недостатки метода заключаются, во-первых, в том, что графическое определение N_D снижает точность, а во-вторых, что для определения одного стандартного показателя преломления приходится пользоваться монохроматором—прибором редким и очень дорогим.

Чтобы устранить необходимость пользования монохроматором, сотрудниками ВИМС проф. Н. Е. Веденеевой и особенно Н. М. Меланхолиным разработаны упрощенные варианты метода хроматической вариации. В частности, для замены монохроматора сконструирован очень простой прибор (рис. 73), представ-

ляющий собой металлическую пластинку, в которую заключены пять или шесть монохроматических светофильтров, оптические характеристики которых приведены в табл. 4.

Таблица 4

Номер свето-фильтра	Цвет светофильтра	Эффективная длина волны (в μ)
1	Красный	670
2	Желтый	592
3	Желто-зеленый	563
4	Зеленый	527
5	Голубой	500
6	Синий	470

Пластика-монокроматор вводится в нижний прорез тубуса микроскопа, предназначенный для компенсаторов.

Наиболее совершенным иммерсионным методом является метод двойной вариации, предложенный Эммонсом в 1926 г. Сущность его

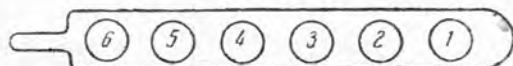


Рис. 73.

сводится к тому, что препарат помещается под микроскопом на нагревательный столик, и исследователь, помимо возможности изменять длину волны света, еще может менять и температуру иммерсионной жидкости. Незначительное изменение температуры препарата практически совершенно не сказывается на изменении показателя преломления кристалла, но сильно изменяет показатель преломления эталонной жидкости. Возможность менять показатель преломления иммерсионной среды посредством изменения температуры дает возможность измерять величины показателей преломления кристаллов для определенных длин волн света, то-есть полностью исследовать кривую дисперсии кристаллического вещества. Метод двойной вариации обеспечивает точность работы до 0,001.

В качестве иммерсионных сред при этом методе используются чистые вещества. Набора, состоящего из 13 жидкостей, уже достаточно, чтобы перекрыть обычный интервал показателей преломления. На рис. 74 показаны кривые дисперсии и изменений показателей преломления иммерсионных жидкостей от темпера-

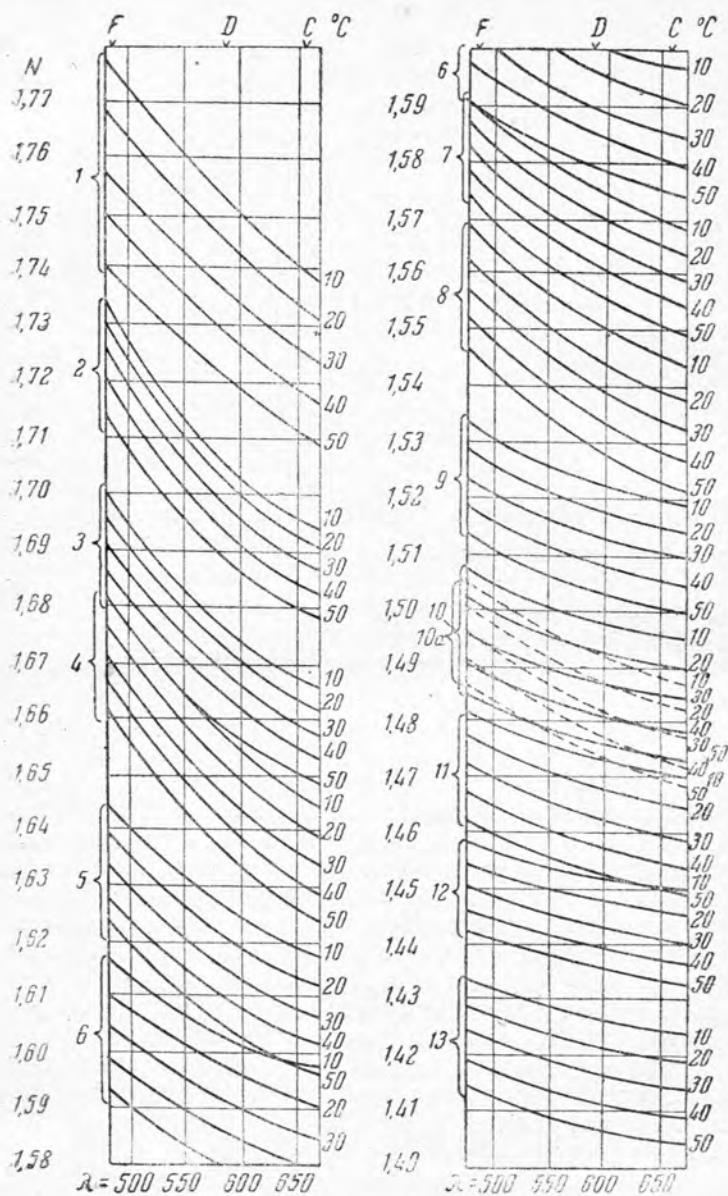


Рис. 74.

туры для такого набора. Жидкости эти следующие: 1) нодистый метилен, 2) α -иоднафталин, 3) β -бромнафталин+дибромнафталин, 4) фенилизотиоцианат, 5) иодбензол, 6) бромформ, 7) ортотолуидин, 8) ортонитротолуол, 9) бромистый пропилен, 10) хлоробромистый этилен, 10а) метил фурфурол, 11) метил тиоцианат, 12) хлористый триметилен, 13) моноклоруксусный этил.

ХИВ. КОНТРОЛЬ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРЕЛОМЛЕНИЯ ИММЕРСИОННЫХ ЖИДКОСТЕЙ

Работая иммерсионным методом, необходимо иметь возможность контролировать показатели преломления эталонных иммерсионных жидкостей. В противном случае нельзя избежать внесения в определения оптических констант кристаллов систематических ошибок.

Измерять показатели преломления жидкостей можно с помощью шкал эталонных стекол, выпускавшихся до Великой Отечественной войны фирмой Фюсс. Определение ведется обычным методом полоски Бекке. Гораздо удобнее, однако, пользоваться для этой цели рефрактометром. Наиболее распространенным рефрактометром является рефрактометр Аббе. Основную его часть представляют две призмы, между которыми помещается прослойка испытуемой жидкости. Предельный луч, ход которого изображен на рис. 75, выходя из нижней призмы, идет по этой прослойке, затем преломляется в верхней призме под углом α и, наконец, выходит из нее в воздух под углом β . Поворотом обеих призм можно совместить этот луч с оптической осью зрительной трубы рефрактометра. Это положение достигается тем, что появляющаяся в поле зрения черно-белая граница совмещается с крестом нитей окуляра. После этого остается только взять отсчет по лимбу, градуированному на показатели преломления в натровом свете. Если работа ведется в белом свете, то граница раздела в поле зрения оказывается окрашенной и размытой. Ее можно ахроматизировать, поворачивая специальные призмы, приводящие предельные лучи всех длин волн в положение, параллельное предельным D-лучам. Таким образом, радужная граница исчезает, и мы, работая в белом свете, получим значение показателей преломления испытуемых жидкостей сразу для натрового света. Точность определения будет 0,0001. Если надо измерить показатель преломления для других длин волн, то рефрактометр должен быть специально проградуирован. Ахроматизирующие призмы в этом случае ставятся в исходное положение (на тридцатое деление). Рефрактометр Аббе имеет приспособление для водяного обогрева основных призм и поэтому с успехом может быть использован при работе методом двойной вариации. Недостатком рефрактометра Аббе является сравнительно низкий предел (обычно до 1,7) значений показателей преломления жидкостей, которые могут быть на нем измерены.

Универсальным методом контроля иммерсионных жидкостей является «метод призмы». Жидкость, показатель преломления которой следует измерить, наливается в полую призму, составленную из двух плоско параллельных стекол (рис. 76), приклеенных к медной станине А, В, С по плоскостям С (на рисунке эти плоскости заштрихованы). В нижнюю полость призмы по трубке D может подаваться теплая вода, вытекающая затем из трубки E. Теплопроводность медного наклонного дна В гарантирует надлежащий подогрев иммерсионной жидкости Ж, находящейся в призме. Измерение показателей преломления жидкостей с помощью полых призм достаточно просто. Для этого призма помещается на однокружный гониометр и ребро ее приводится в поло-

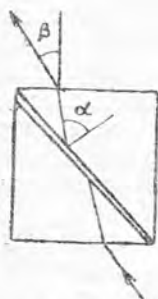


Рис. 75.

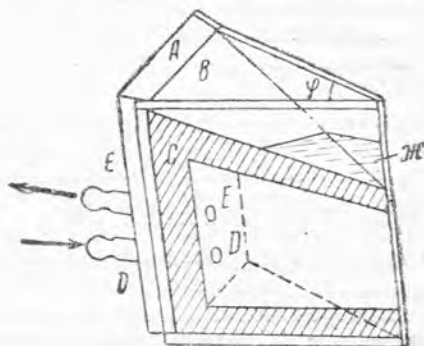


Рис. 76.

жение, параллельное оси вращения гониометра, после чего по отсветам от стеклянных граней, измеряется угол призмы φ . Затем в призму наливается жидкость и через нее пропускается пучок света. После этого, вращая на оси гониометра призму, определяют угол минимального отклонения луча δ .

По известной формуле

$$n = \frac{\sin \frac{\varphi + \delta}{2}}{\sin \frac{\varphi}{2}}$$

легко рассчитать показатель преломления жидкости для той длины волны света и при той температуре, которые были взяты в момент измерения угла δ .

Метод призмы всегда гарантирует точность измерения не ниже чем 0,0001 и применим для любых величин показателей преломления. Имея кусочек плоскопараллельного стекла, такую призму можно сделать самому. Однако для измерения с ее помощью необходимо иметь однокружный гониометр.

Если в лаборатории нет никаких приборов, позволяющих измерять показатели преломления иммерсионных жидкостей, контроль их можно произвести с помощью кристаллических веществ,

показатели преломления которых известны. Для этой цели надо брать не минералы, а искусственные, химически чистые вещества. Для выбора их следует воспользоваться одним из справочников, указанных в списке литературы, помещенном в конце этой книги. Контроль осуществляют, наблюдая полосу Бекке в препарате из вещества, имеющего нужный показатель преломления. Одинаково удобно пользоваться для этой цели как изотропными веществами, так и одноосными. В последнем случае следует использовать показатель преломления N_m . Надо помнить, что в каждом разрезе одноосной индикатрисы одно из положений погасания — обязательно N_m , а второе — Ng' или Np' , в зависимости от того, положителен или отрицателен характер эллипсоида. В табл. 5 приводится, в качестве примера, возможный набор веществ для контроля иммерсионных жидкостей в интервале от 1,525 до 1,545.

Таблица 5

п	Знак	Состав вещества
1,524	—	$MgSO_3 \cdot 6H_2O$
1,524	+	$AlPO_4$
1,525	—	$NH_4H_2PO_4$
1,526	—	KBO_2
1,529	—	$ZnSeO_4 \cdot 6H_2O$
1,530	—	$K_2Ca(CO_3)_2$
1,530	—	$RbAlSiO_4$
1,531	—	$LiAlSiO_4$
1,533	—	$Ba(ClO_4)_2 \cdot 3H_2O$
1,534	—	$CsCl$
1,536	—	$SrCl_2 \cdot 6H_2O$
1,538	—	$LiNaCO_3$
1,538	—	$LiKCO_3$
1,540	—	$Zn(NH_3)_6Cl_2$
1,544	+	SiO_2
1,544	—	$NaCl$
1,545	—	$KAl(SO_4)_2$
1,547	—	$Na_2Ca(CO_3)_2$

Конечно к этому способу контроля можно прибегать только в случае крайней необходимости, например, при работе со старым иммерсионным набором и при невозможности проконтролировать его другим способом. Подобрать все необходимые для контроля

вещества практически нельзя. Поэтому приходится довольствоваться контролем только некоторых жидкостей из данного набора и тем самым оценить, пригоден ли еще для работы этот набор или нет. Если работа иммерсионным методом в данном учреждении проводится систематически, то необходимо стремиться получить рефрактометр или гониометр.

ЛИТЕРАТУРА

1. Белянкин Д. С. Кристаллооптика. Л., 1931.
2. Бокий Г. Б. Кристаллооптический анализ, ч. I, М., 1944.
3. Вавилов С. И. Оптика в военном деле, ч. I. М., 1945.
4. Веденеева Н. Е. Лабораторное руководство по иммерсионному методу. ОНТИ, 1937.
5. Винчелл А. Н. Оптика и микроскопия искусственных минералов. Пер. под ред. Д. С. Белянкина. Л., 1933.
6. Кирьянов Р. Н. Методика исследования кристаллического вещества с помощью поляризационного микроскопа. М., 1939.
7. Ларсен Е. и Берман Г. Определение прозрачных минералов под микроскопом. Пер. под ред. Д. С. Белянкина. М.-Л., 1937.
8. Лодочников В. Н. Основы микроскопических методов исследования кристаллического вещества. Л., 1937.
9. Меланхолин Н. М. Определение показателей преломления под микроскопом. М., 1941.
10. Обреимов И. В. О приложении френелевой дифракции для физических и технических измерений АН СССР, М., 1945.
11. Ринне Ф. и Берек М. Оптические исследования при помощи поляризационного микроскопа. Пер. под ред. Н. П. Пескова и А. В. Шубникова. М., 1937.
12. Шубников А. В., Флинт Е. Е. и Бокий Г. Б. Основы кристаллографии. М., 1940.
13. Bunn C. W. Chemical crystallography. Oxford, 1945.
14. Emmons R. C. The universal stage. Washinton, 1943.
15. Larsen E. S. and Berman H. The microscopic determination of the opaque minerals. Washington, 1934.
16. Rinne F. und Berek M. Anleitung zu optischen Untersuchungen mit dem Polarisationsmikroskop. Leipzig, 1934.
17. Winchell A. N. The microscopic characters of artificial inorganic solid substances or artipicial minerals. New-Jork, 1931.
18. Winchell A. N. Elements of optical mineralogy. New-Jork, 1937.
19. Winchell A. N. Optical properties of organic compaunds. New-Jork, 1943.

О П Е Ч А Т К И

Стр.	Строка	Напечатано	Следует читать
9	15 сверху	от источника	от источника S
53	19 сверху	два одинаковых	два неодинаковых
66		нет подписи к рисунку	рис. 56

Заказ 1597