

НОВЫЕ ПРИБОРЫ И МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЙ

**НОВЫЕ ИНТЕРФЕРОМЕТРИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ И ИХ
ПРИМЕНЕНИЕ К ИЗУЧЕНИЮ КРИСТАЛЛОВ*).**

С. Толанский.

НОВЫЕ ПРИЁМЫ.

В настоящей статье даётся краткий обзор некоторых новых приёмов, разработанных автором в последнее время в области интерферометрической оптики. Эти приёмы особенно пригодны для изучения подробностей топографии почти плоских поверхностей; в частности, они были применены при исследовании поверхности кристаллов. Описываемые ниже методы являются весьма мощными: они позволяют измерять неровности молекулярных размеров, используя лишь свет видимых длин волн. В этих методах используется интерференция низших порядков многократно отражённых лучей; многократно отражённые лучи получаются в тонком слое, заключённом между двумя отражающими металлическими поверхностями с высокой отражающей способностью (обычно серебро). Они могут быть грубо разделены на наблюдения с монохроматическим светом и на наблюдения с белым светом. Сначала мы рассмотрим наблюдения, проводимые с монохроматическим светом; в качестве источника освещения обычно используется свет ртутной дуги в вакууме, пропущенный через зелёный фильтр.

Применение интерференционных методов к изучению формы поверхности очень старо. Но в большинстве случаев практически использовалась интерференция только двух лучей. Точно так же методы с многократно отражёнными лучами давно использовались для исследования качества оптически плоских поверхностей. Линии равной толщины, образуемые многократно отражёнными лучами на клине, использовались ещё при классических определениях длины метра Фабри, Перо и Бенуа. Если, однако, просмотреть внимательно ранние работы, то мы увидим, что в них не осуществлялись условия, необходимые для достижения наилучшего разрешения; точно так же не были достаточно оценены широкие возможности, которые даёт улучшенная техника. Из дальнейшего изложения станет очевидным, насколько обширны эти возможности.

*) Journ. Sci. Instruments т. 22, вып. 9, 1945. Перевод В. М. Харитоновой.

В описываемых в настоящей статье опытах интерференция многократно отражённого луча получалась с помощью полупрозрачных серебряных слоёв с высокой отражающей способностью, нанесённых на поверхности, для которых мы хотим получить интерференционные картины. Достигнуть произведения коэффициентов отражения, приближающегося к 90% без заметного поглощения, представляет довольно трудную экспериментальную задачу, которая была, однако,

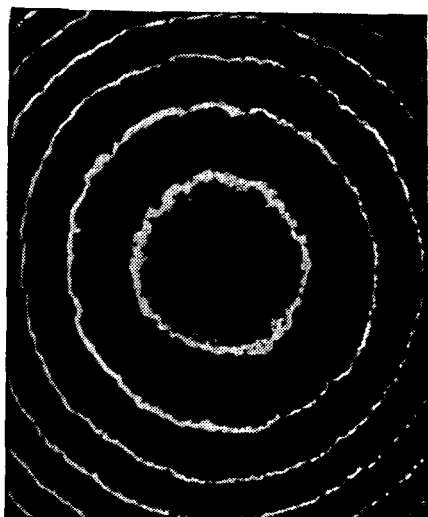


Рис. 1. Типичный пример применения новой интерференционной техники (видоизменённые посеребрением кольца Ньютона).

полностью разрешена. Точно так же, как и в случае применения хорошо известной теории многократных лучей Эйри к интерферометру Фабри-Перо, при суммировании всех лучей, которые получают от посеребрённых поверхностей, появляются очень резкие и отчётливые линии. Для линий равного наклона (параллельные лучи) суммирование легко получить, концентрируя лучи с помощью линзы; для линий равной толщины (клинья) условия суммирования, однако, совершенно отличны. Нам кажется, что до сих пор не отдавали себе ясного отчёта в том, что необходимым условием является требование, чтобы максимальное боковое смещение всех лучей, участвующих в интерференции, вдоль поверхности любой из оптиче-

ских компонент не превышало бы малой величины (скажем, $\frac{1}{50}$) расстояния между соседними порядками. Это условие лучше всего достигается, если мы воспользуемся почти точечным источником света, помещённым в фокусе хорошей линзы, и нормальным падением луча и сведём расстояние между отражающими поверхностями к наименьшей возможной величине, желательно, если это возможно, порядка длины волны используемого света. Чем выше коэффициент отражения серебра, тем важнее лучи высших порядков отражения и тем более строгими являются оптические условия. При наилучшем возможном покрытии можно ясно насчитать до 100 отражений, и при этих условиях необходима весьма прецизионная установка, если мы хотим достичь наилучшего разрешения.

Типичный пример удачного применения изложенной техники показан на рис. 1. На нём показаны кольца Ньютона, полученные при

соответствующем серебрении поверхностей стекла и при оптимальных оптических условиях. Источником света служила зелёная линия ртутной дуги. Интерференционные линии замечательны своей резкостью. Для того чтобы были видны детали, линии сфотографированы на неконтрастной пластинке. Таким образом, полученная резкость не является искусственной фотографической резкостью. Нерегулярные изгибы, которые встречаются на линиях, указывают на дефекты на поверхности линзы. Если мы учтём, что расстояние между соседними порядками равно $2700 \text{ \AA}$ и что при столь высоком разрешении мы можем различить отклонения линии порядка $1/135$ расстояния между ними, то, очевидно, что мы можем заметить местное отклонение порядка всего $20 \text{ \AA}$. Это — величина порядка молекулярных размеров. Очевидно, что с первоклассными оптическими поверхностями можно достичь очень большой точности в определении диаметров колец. Кольца Ньютона всё ещё часто используются в метрологических измерениях. Преимущество линий, получающихся при использовании многократно отражённого луча по сравнению с обычными линиями от двух лучей, настолько очевидно, что они всегда должны использоваться вместо последних.

Линии с многократно отражёнными лучами настолько резки, что при этом наблюдаются новые интерферометрические явления. При падении, отличном от нормального, кольца расщепляются на дублеты, как показано на рис. 2, *a*. Можно показать, что линии этих двух систем образованы лучами, плоскополяризованными во взаимно перпендикулярных направлениях, что объясняется различным изменением фазы поляризации для разных направлений при отражении от серебряного слоя. На рис. 2, *b* и *c* показано поведение колец при введении пластинки поляроида, ориентированной в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Угол падения для этих фотографий равнялся 60° . Дублетное расщепление даёт нам новый и очень мощный метод измерения разности в изменении фазы при различных углах падения. Величины, полученные для слоя серебра толщиной в $550 \text{ \AA}$, показаны на рис. 3. Очевидно, что использованием других

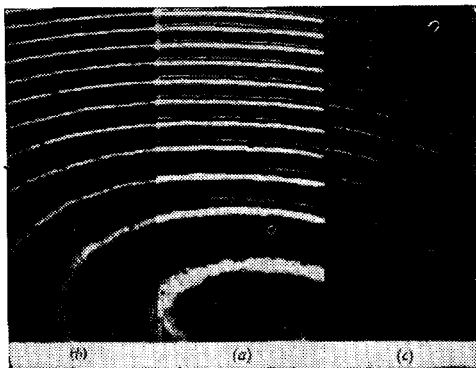


Рис. 2. Иллюстрация интерферометрических явлений с многократно отражёнными лучами при падении, отличном от нормального: (*a*) — без поляроида, (*b*) и (*c*) — с поляроидом, повернутым в двух взаимно перпендикулярных направлениях.

металлов с высокой отражающей способностью или введением различных жидкостей между металлизированными поверхностями откры-

вается обширное поле для возможных исследований.

Мы напомним, что прежние классические методы определения изменения фазы были связаны с измерением эллиптичности поляризации и требовали дорогих и сложных оптических приборов. Простота нового метода — не последнее, что делает его привлекательным.

Таким образом, этот способ позволяет провести новые исследования оптических свойств металлов. К сожалению, место не позволяет нам рассмотреть дальнейшие

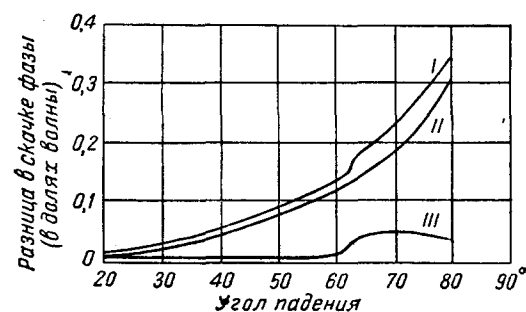


Рис. 3. Величины, полученные из расщепления линий измерением разности в изменении фазы при различных углах падения для серебряной плёнки толщиной в 550 Å. I — экспериментальная кривая, II — кривая, даваемая классической электромагнитной теорией, III — разность между кривыми I и II.

интересные результаты, которые получаются с кольцами Ньютона; ссылки на некоторые из этих работ можно найти в краткой библиографии, приложенной в конце.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТИ ЕСТЕСТВЕННЫХ КРИСТАЛЛОВ.

Только что описанная техника монохроматических многократно отражённых лучей была с успехом применена к изучению топографических особенностей приблизительно плоских кристаллических поверхностей. Необходимо рассмотреть два случая, а именно: (а) оптически хорошие, прозрачные кристаллы; (б) неп полностью прозрачные или совершенно непрозрачные кристаллы, включая металлические поверхности, или любые, сколько-нибудь плоские поверхности. Поскольку серебряный слой получается испарением серебра в вакууме, очевидно, чтобы исследуемая поверхность в вакууме не разрушалась. Для случая (а) могут быть использованы как линии в проходящем свете, так и в отражённом, тогда как для случая (б) — только линии в отражённом свете. Серебро испаряется на поверхность кристалла и на поверхность оптически плоской кварцевой пластинки высшего качества, точной до $1/60$ длины волны. Эти две поверхности помещаются очень близко друг от друга, и наблюдаются линии, получающиеся в результате интерференции многократно отражённых лучей. При исследовании на слюде было показано, что осаждённое серебро точно по-

вторяет очертания всех топографических особенностей поверхности кристалла. Это справедливо вплоть до пределов точности наблюдения ($20 \text{ \AA}$) и было проверено в случаях, когда поверхностное увеличение не превышало $100\times$. При больших увеличениях опыты пока не проводились.

Типичные результаты, получаемые описываемым методом, показаны на рис. 4 и 5, которые относятся к хорошо блестящей (100)

поверхности левого кристалла кварца; площадь поверхности около квадратного сантиметра. Изгибы линий определяются контурами различных участков, тогда как конкретная наблюдаемая картина зависит от угла наклона между посеребренными поверхностями. Если учесть этот факт, то две какие-либо совершенно различные по внешнему виду картины приведут к одним и тем же результатам. На рис. 4 показаны линии, получающиеся в проходящем свете на большей части поверхности; оптические условия были таковы, что не

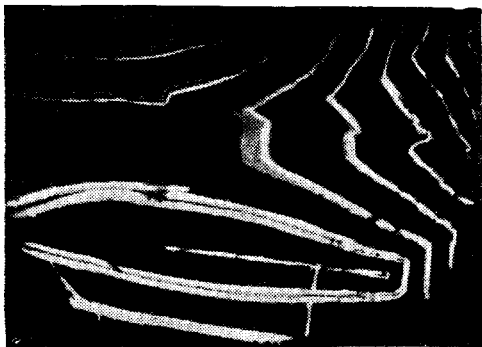


Рис. 4. Исследование очень блестящей (100) поверхности левовращающего кристалла кварца с помощью монохроматического многократно отражённого луча (проходящий свет).

позволяли охватить всю поверхность. Одновременно показаны линии, получающиеся для жёлтой и зелёной линий ртути. Мы видим на фотографиях резкие узкие блестящие линии на тёмном фоне. Характеристикой успеха метода является узость линии по сравнению с расстоянием между соседними порядками, что позволяет зафиксировать мельчайшие детали. (На всех рисунках настоящей статьи фотографическое увеличение резкости путём использования контрастных материалов отсутствует. Неконтрастные пластинки и бумага использовались как для получения естественной картины, так и для сохранения мелких деталей.)

На рис. 5 показаны зелёные линии в отражённом свете, в виде тонких тёмных линий «поглощения» на широком светлом фоне. Отчётливость линий просто изумительна и лучше даже, чем в интерферометре Фабри-Перо при таком же серебрении (в последнем никогда не достигается точный параллелизм, и все поверхностные дефекты проявляются в результирующей картине). Из картины рис. 5 ясно, что эта методика может быть с успехом применена и к непрозрачным поверхностям, в частности металлическим, для изучения, например, влияния полировки, травления и т. п. Помещением кри-

сталла над различными участками оптической плоскости можно показать, что кристалл характеризуется целым рядом примечательных топографических особенностей; отсутствие места не позволяет, к сожалению, рассмотреть этот вопрос в подробностях. Оказы-

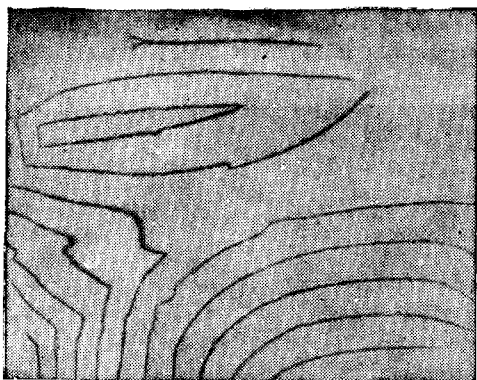


Рис. 5. Исследование того же кристалла, что и на рис. 4, но в отражённом свете.

вается, между прочим, что на поверхности кристалла обнаруживаются небольшие возвышения и углубления порядка всего 20 молекул высотой (глубиной); наша методика позволяет также заметить местные наклоны поверхности порядка всего $1/100$ угловой минуты. (Описанный далее метод, использующий белый свет, позволяет обнаружить уклоны порядка $1/300$ угловой минуты.) Интерферометрические методы дают, таким образом, результаты, по крайней мере в 100 раз луч-

шие, чем получаемые с наиболее дорогими прецизионными гониометрами, и, кроме того, позволяют производить раздельное изучение весьма малых участков поверхности.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТЕЙ РАСКОЛА

В предыдущем параграфе мы рассмотрели исследование поверхностей естественных кристаллов; здесь же мы рассмотрим наш метод в применении к изучению поверхностей раскола слюды и селенита. Посеребрённая поверхность раскола

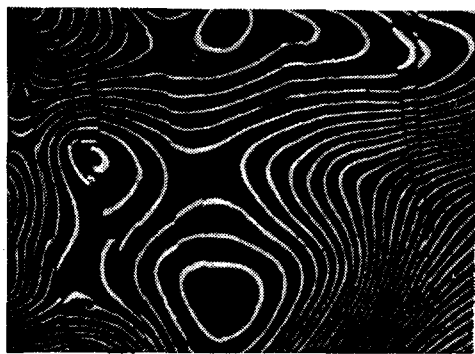


Рис. 6. Топография поверхности слюды (около 1 кв. см).

устанавливалась около посеребрённой же оптически плоской поверхности; освещение производилось с помощью коллиматора так, что наблюдение велось при оптимальных условиях. На рис. 6 показана типичная топография поверхности раскола слюды площадью около квадратного сантиметра. Было исследовано очень большое число слюдяных поверхностей и практически

у всех картина оказывалась аналогичной. Исследование тонких сколов слюды с помощью интерференции двух лучей очень старо, но существенно отметить то, что интересные детали появляются только в том случае, если мы применим усовершенствованную технику интерференции многократно отражённых лучей. На исследованных таким образом поверхностях слюды наблюдаются обычно возвышения и углубления, размеры которых колеблются от малых долей длины волны света и вплоть до $\frac{1}{200}$ мм. Наиболее интересными особенностями, видными на рис. 6, являются: (а) гладкие непрерывные линии и (б) — резкие «линии» скола, представляющие отдельные ступени скола, длина которых может варьироваться вплоть до нескольких миллиметров, а в некоторых крайних случаях даже и сантиметров.

На рис. 7 показан график поперечного сечения поверхности образца мусковита на длине около 6 мм, проходящего более или менее перпендикулярно к группе типичных линий скола. Путём точных измерений было

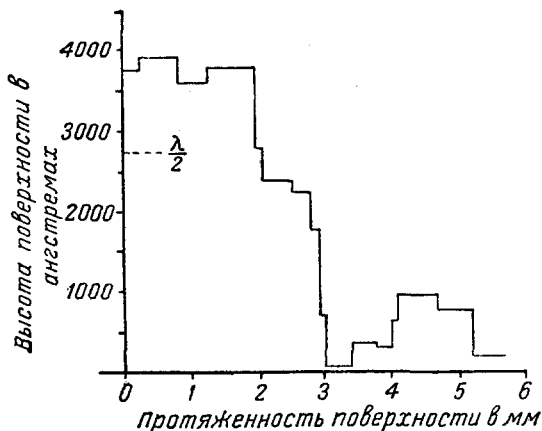


Рис. 7. График сечения длиной около 6 мм в направлении, более или менее перпендикулярном к типичной группе линий скола образца мусковита.

установлено, что скачки вдоль линий скола в большинстве случаев отличаются лишь небольшим целым множителем от величины, почти равной 20 Å (с неточностью, меньшей 1 Å). Ступени в 20, 40, 60 и т. д. Å были действительно измерены. Кристаллографические исследования с помощью рентгеновых лучей показывают, что постоянная молекулярной пространственной решётки слюды в направлении, перпендикулярном к поверхности скола, равна точно 20 Å. Следовательно, пользуясь видимым светом, мы действительно можем дать 20 Å точно так же, как и исследуя пространственную решётку. Двадцать ангстрем мы можем рассматривать как величину, за которую можно ручаться при проведении оптических исследований с помощью многократно отражённых лучей.

Очень важным является то обстоятельство, что наблюдаемое значение величины ступени оказалось постоянным вдоль линии скола, что доказывает, что при серебрении слой серебра в точности повторяет контуры поверхности. Кроме того, на основании гладкости и непрерывности интерференционных линий можно показать, что слюда

действительно скалывается по плоскости спайности, по крайней мере с точностью до $30 \text{ \AA}$, т. е. почти наверное, в пределах одной молекулы; факт этот может быть подкреплён независимыми опытами с ростом на слюде кристаллов иодистого аммония. Мы разобрали несколько детальнее лишь немного из того, что можно почерпнуть, изучая фотографии слюды.

На рис. 8 показаны очертания поверхности скола кристалла селенита (площадь порядка одного квадратного сантиметра). Как и

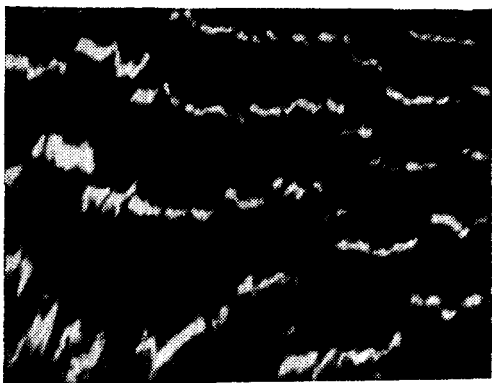


Рис. 8. Поверхность скола кристалла селенита (около 1 кв. см).

в случае слюды, хорошо видны типичные линии скола, однако, было найдено, что в противоположность слюде соседние поверхности, примыкающие к линии скола, слегка наклонены по направлению друг к другу, с уклоном к линии скола. Наблюдаемые величины наклона варьируются в пределах небольшой величины порядка $0,011—0,063$ угловой минуты, откуда видна разрешающая способность данного метода. Для сравнения на рис. 9 показана типичная трёхмерная диаграмма контура поверхности на протя-

жении 8 мм (мелкие детали на диаграмме опущены). Чёрные линии показывают отклонение поверхности от горизонтальности.

Наблюдения с большой дисперсией показывают, что дифракционные линии получаются рваными из-за наличия вторичной поверхностной структуры, состоящей из небольших многочисленных вытянутых площадочек, смещённых вверх и вниз на небольшое целое кратное $15 \text{ \AA}$, что представляет величину постоянной пространственной молекулярной решётки селенита, полученную из наблюдений с рентгеновыми лучами.

НАБЛЮДЕНИЯ БЕЗ ОПТИЧЕСКИ ПЛОСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ.

Во всех описанных выше опытах поверхность, подлежащая исследованию, помещалась около оптически плоской поверхности высшего качества. В приводимых ниже экспериментах мы обходились без подобной поверхности. Тонкие лепестки слюды толщиной порядка $\frac{1}{50}—\frac{1}{150} \text{ мм}$ серебрились с обеих сторон и затем подвергались исследованию. Несмотря на известную уже нам сложность топографии каждой из поверхностей, линии Физо, получающиеся в резуль-

тате интерференции многократно отражённых лучей, оказываются удивительно простыми. На образцах, подобных приведённым на рис. 10, наблюдаются значительные участки, ограниченные линиями скола и окрашенные совершенно однородно (на данном этапе мы

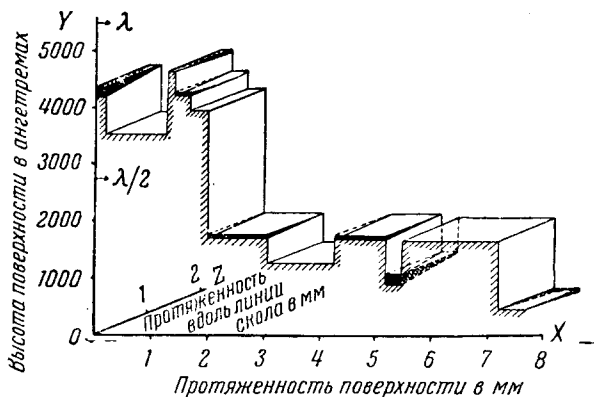


Рис. 9. График очертания поверхности кристалла селенита (рис. 8) на протяжении 8 мм (мелкие детали опущены).

можем пренебречь вторичной системой слабо видимых линий). Постоянная окраска в многократно отражённом луче очень чувствительна к изменению толщины, особенно, если пользоваться светом



Рис. 10. Типичные примеры отщеплённых лепестков слюды.

ртутной дуги, не пропущенным через светофильтр. Однородно окрашенные области соответствуют участкам, на которых листки слюды имеют одну и ту же толщину с точностью до малой части длины.

волны. Отсюда следует, что выступам и углублениям на одной стороне точно соответствуют углубления и выступы на другой, и разница в толщинах оказывается лишь вдоль линии скола. Поверхности представляются, таким образом, совершенно параллельными; в результате невозможно определить ни высоту, ни направление ступеней и, следовательно, невозможно интерпретировать и наблюдаемую картину (разрешение этой трудности дано в следующем разделе, рассматривающем интерференционные линии, образующиеся при наблюдении в белом свете).

Несмотря на это, линии интерференции представляют всё же значительный интерес. Кроме того, что они показывают, что задняя поверхность в отношении искажения плоскости следует за передней, данный метод исследования обладает большей чувствительностью, поскольку в формулу входит относительный показатель преломления слюды; в результате измерения получаются на 60% точнее. Таким образом может быть выявлено наличие местных ядер роста, отдельные включения, варьирование химического строения, двойное лучепреломление и т. п. Была разработана методика наблюдений с помощью микроскопа; интерференционные линии наблюдались с линейным увеличением вплоть до 100×; детали и некоторые результаты будут рассмотрены в последующих параграфах.

ИНТЕРФЕРЕНЦИОННЫЕ ЛИНИИ В БЕЛОМ СВЕТЕ.

На фотографиях 6 и 8, полученных на слюде и на селените, выступы невозможно отличить от углублений или определить действительное направление ступеней. Новые интерферометрические методы, кроме наличия иных свойств, разрешают также и эти трудности. Едва ли будет преувеличением сказать, что новые методы с интерференцией многократно отражённых лучей, описываемые ниже, являются наиболее мощными в области точной оптики, использующей интерференцию малых порядков. В последующем изложении это утверждение будет достаточно обосновано. В данном способе интерференционные линии образуются в белом свете и в то же время имеют многочисленные преимущества по сравнению с линиями в монохроматическом свете. На основании теоретических соображений эти линии предлагается называть линиями равного хроматического порядка. Для того чтобы показать, как образуются эти линии и выяснить некоторые их свойства, мы рассмотрим кольца Ньютона, получающиеся на установке с посеребрёнными поверхностями, которая даёт линии Физо, показанные на рис. 1. Оптическая установка в этом случае очень проста. Изображение белого источника света образуется на небольшом круглом отверстии, находящемся в фокусе хорошей ахроматической линзы. Параллельный пучок белого света падает под прямым углом на поверхности, от которых отражаются интерферирующие лучи. Изображение поверхностей проск-

тируется затем на тонкую щель хорошего спектрографа, и получающиеся на пластинке линии фотографируются. Величина увеличения при проектировании изображения поверхности на щель спектрографа имеет большое значение и сильно влияет на отчётливость линий и даже на их появление; однако мы не можем рассмотреть здесь этот вопрос детальнее.

Линии для видимой области, которые получаются на установке для получения колец Ньютона с посеребрёнными поверхностями, показаны на рис. 11 (шкала на фотографии даёт длины волн). Эти, в высшей степени необыкновенные интерференционные линии обладают следующими свойствами: (1) каждая линия изумительным образом окрашена в большое количество цветов; (2) все линии в высшей степени отчётливы, несмотря на то, что был использован белый свет; ширина линий составляет лишь незначительную величину от расстояния между соседними порядками; (3) наблюдаемая форма линий может быть предугадана с помощью весьма простой теории; (4) местные дефекты, видимые и на линиях Физо, снова появляются (в увеличенном виде) и на наших линиях; (5) направление выпуклости (вогнутости) линий сразу же показывает, имеем ли мы дело с возвышением или с углублением (поверхность линзы является в данном случае возвышением).

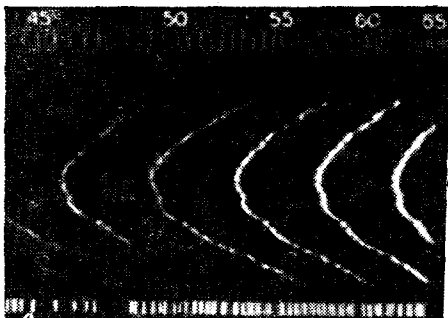


Рис. 11. Линии равного хроматического порядка для видимой области спектра, полученные с помощью установки для получения колец Ньютона с посеребрёнными поверхностями.

Легко показать, что для каждой линии отношение t/λ постоянно, где t — расстояние между посеребрёнными поверхностями в рассматриваемой точке (мы напомним, что изображение этих поверхностей проектируется на щель спектрографа). С помощью этих линий, которые очень резки, несмотря на то, что мы не пользуемся монохроматическим источником света, можно разрешить то, что оставалось неопределённым в предыдущих разделах, и получить много дополнительных сведений. Возможности в применении метода подсказываются двумя простыми формулами, которые получаются следующим образом. Если $\Delta\lambda$ — разница в длине волны между двумя соседними линиями по горизонтали, то $t = \frac{1}{2} \Delta\lambda$. Если небольшое изменение толщины dt вызывает при данной длине волны изменение порядка на dn , то $dt = dn \cdot \frac{1}{2} \lambda$. Отсюда видно с первого взгляда, что по-

сколько величина dn , измеряемая по фотографии, очень мала, то мы можем без труда оценить величину дефектов порядка молекулярных размеров.

При использовании этого метода можно достичь высшей степени точности. Мы рассмотрим теперь некоторые из возможных применений.

Линии равного хроматического порядка могут быть с успехом использованы для изучения топографии поверхностей кристаллов. На рис. 12 и 13 показаны два примера линий, получающихся от листка слюды, прижатого к оптически плоской поверхности. На

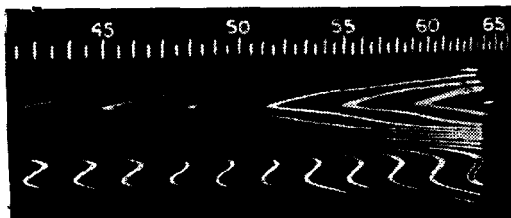


Рис. 12. Линии равного хроматического порядка, полученные от листка слюды, прижатого к оптически плоской поверхности; отчетливо виден гребень на поверхности слюды.

рис. 12 видно резкое гребнеобразное возвышение поверхности вместе с другими возвышениями и углублениями, которые легко могут быть теперь интерпретированы (фокусировка точна только в области 4000—5000 Å). Для нашего метода является характерным то, что точные измерения могут быть получены непосредственно с отпечатка с помощью одной только линейки. Действительные гребни увеличиваются на линиях, примерно, в 50 000 $\times$. На рис. 13 показана линия скола, пересекающая щель. Простого взгляда достаточно, чтобы установить истинное направление ступени, а для точнейшего определения можно воспользоваться простым подсчетом совпадений линий, применив формулу нониуса. Все сомнения в отношении выступа или углубления или в отношении направления ступени полностью отпадают, и последние могут быть определены с большой точностью.

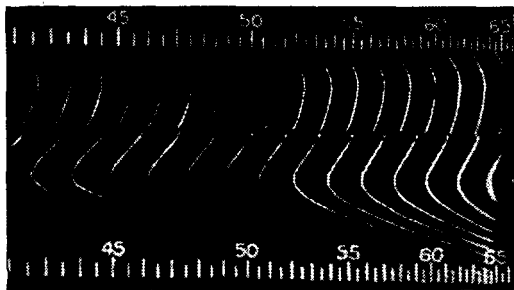


Рис. 13. Линии равного хроматического порядка, полученные с помощью листка слюды, прижатого к оптически плоской поверхности; ясно видна линия скола, пересекающая щель.

Особое внимание мы должны обратить на резкость линий, которая получается, несмотря на то, что мы пользуемся белым источником света. Это очень важно в том отношении, что мы можем иметь линии в большой области и очень яркие, а это, в свою оче-

редь, позволяет получить при измерениях точность, недостижимую ни при одном другом типе интерференционных линий. Во всех способах, использующих интерференцию многократно отражённых монохроматических лучей (как например, линии Физо, линии Фабри-Перо), в которых применяются полупрозрачные серебряные слои, толщина последних лимитируется яркостью источника света, и тем самым ограничивается резкость линий. Яркость монохроматических источников света строго ограничена требованиями монохроматизма, поскольку у ярких источников ширина линий недопустимо велика. Что касается линий равного хроматического порядка, то для их получения можно пользоваться очень яркими источниками белого света, как например, понталит, вольтова дуга и др., и даже при очень мощной вольтовой дуге получаются отличные линии. Следовательно, допустимы очень плотные покрытия; в результате, линии получаются очень тонкие и резкие. Кроме того, поскольку мы можем воспользоваться столь яркими источниками света, то, как будет показано ниже, эти линии могут быть рассматриваемы с помощью сильных микроскопов.

Линии могут быть получены от любой кристаллической поверхности как в прошедшем (для прозрачных материалов), так и в отражённом (для непрозрачных веществ, как например, металлы) свете.

Теперь мы рассмотрим дальнейшие применения этого метода.

ДАЛЬНЕЙШИЕ ПРИМЕНЕНИЯ.

Особый интерес представляют линии равного хроматического порядка, получаемые на лепестках слюды, посеребрённых с обеих сторон. Два крайних случая показаны на рис. 14 и 15. Они получены соответственно с

образцами, приведёнными на рис. 10а и 10б. Мы не будем рассматривать множества деталей, видимых на рисунках, и лишь отметим, что: (а) с большой точностью подтверждается то, что, хотя противоположные поверхности и не являются плоскими, но они строго «параллельны»; (б) изменение толщины происходит скачкообразно, причём величина скачка «квантована» в единицах в $20 \text{ \AA}$; (с) из-за двойного

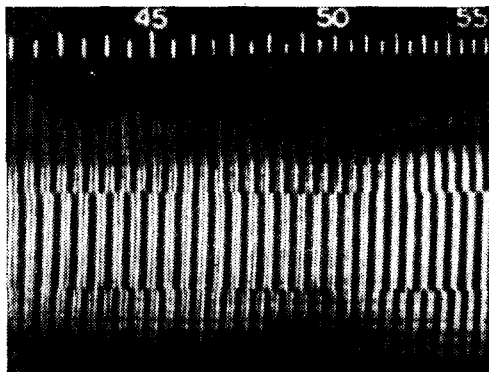


Рис. 14. Линии равного хроматического порядка, полученные от образца слюды, посеребрённого с обеих сторон и показанного на рис. 10а.

лучепреломления линии раздвоены; (д) кроме того, можно получить много и других сведений.

Двойное лучепреломление может быть определено для всей области длин волн по одной фотографии, даже если оно равно всего 0,0001. Мы

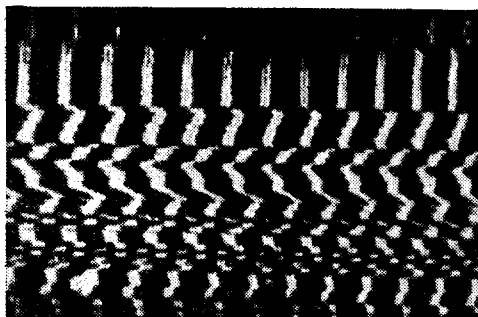


Рис. 15. Линии равного хроматического порядка, полученные от образца слюды, посеребрённого с обеих сторон и показанного на рис. 10б.

получаем, таким образом, новый метод для определения этой величины. Особенно примечательно то, что величина раздвоения линий, вследствие двойного лучепреломления, совершенно не зависит от толщины пластинки слюды, что является совершенно неожиданным для интерференционного явления. Этот факт получается уже из простейшей теории и подтверждается полностью на опыте.

МЕТОДИКА ПРИМЕНЕНИЯ ЛИНИЙ РАВНОГО ХРОМАТИЧЕСКОГО ПОРЯДКА.

Линии равного хроматического порядка дают сечение поверхности вдоль одной какой-либо линии. Для того чтобы исследовать всю поверхность, необходимо перемещать изображение на щели перпендикулярно к щели. Это можно быстро сделать при визуальных наблюдениях, пользуясь хильгеровским прибором с постоянным отклонением или каким-либо другим спектрометром. Часто полезно сначала сфотографировать картину, получающуюся в результате интерференции многократно отражённого монохроматического луча, охватывающую значительную площадь, после чего можно выбрать направление, в котором нужно получить более детальные данные о сечении поверхности с помощью линий равного хроматического порядка. Мы рассмотрим два примера подобной комбинированной техники, в которых исследовались мелкие местные особенности лепестков слюды, посеребрённых с двух сторон. Соответствующие фотографии приведены на рис. 16—19. Линии Физо для одной такой особенности показаны на рис. 16, а соответствующие линии равного хроматического порядка — на рис. 17. Линии Физо получены с помощью микроскопа, имеющего увеличение $80\times$. Было показано, что эта особенность, по всей вероятности, представляет собой ядро роста кристалла. Оно имеет пирамидальную форму и состоит из отдельных ступеней, 50% из которых ме-

нее трёх молекул по высоте, а 80% — менее, чем 8 молекул по высоте. Подобные сведения имеют, очевидно, большое значение для теории роста кристаллов.

Другая нерегулярность (менее 1 мм в сечении) состоит из трёх групп линий Физо эллиптической формы, на каждой из которых

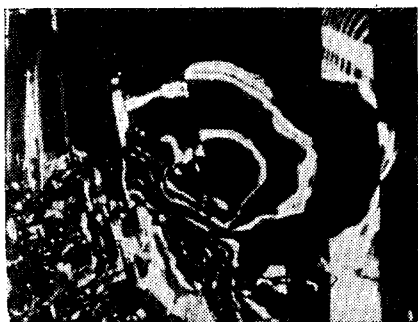


Рис. 16. Линии Физо для небольшой местной особенности.

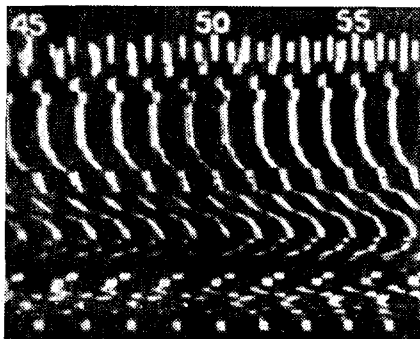


Рис. 17. Линии равного хроматического порядка для той же особенности, что и на рис. 16.

хорошо видно удвоение вследствие двойного лучепреломления (рис. 18). Эту картину невозможно интерпретировать, пока мы не получим линии равного хроматического порядка, примерно, через середину центральной области (рис. 19), после чего мы получаем полное представление о форме поверхности. Окончательное заключение приводит нас к выводу о том, что мы имеем здесь дело с небольшим инородным включением в виде тонкого лепестка. Необходимо обратить внимание на определённую особенность обеих фотографий, на которых представлена эта особенность (увеличение $80\times$).

Отметим здесь же, что предел точности ставится увеличением, которое может быть применено при рассматривании линий Физо для многократно отражённых лучей. Было найдено, что ширина линий даёт себя знать при увеличении $200\times$. Это явление получается в результате необходимости увеличения угла светового конуса, в результате чего нарушаются очень строгие условия освещения. Независимо от этого, осуществление подходящего источника света является во всех случаях довольно трудным делом.

С другой стороны, линии равного хроматического порядка не имеют подобного недостатка. Слой, состоящий из двух посеребрённых поверхностей, может быть рассматриваем как световой фильтр, через который проходят только те волны, длина которых удовлетворяет соотношению $n\lambda = 2d \cos \theta$. В действительности выгодно, когда поверхности, от которых происходит отражение интерферирую-

щих лучей, параллельны, так как тогда мы имеем оптимальные оптические условия для сложения лучей. При подобных оптимальных условиях мы можем применить максимальное увеличение. Линии получались уже при увеличении в $1000\times$. Необходимо лишь в случае интерферометрии рассматривать микроскоп как очень маленькую диафрагму.

Следует указать на то, что именно в случае отражённых линий линии в белом свете имеют значительное преимущество по сравнению с линиями в монохроматическом свете. Для последних необходима строгая монохроматизация при отражении, так как иначе исчезнет отчётливость линий.



Рис. 18. Линии Физо для другой особенности.

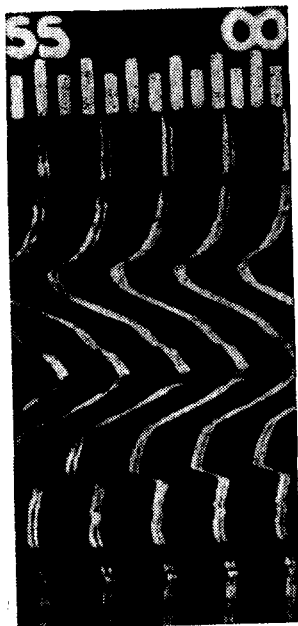


Рис. 19. Линии равного хроматического порядка для той же особенности, что и на рис. 18.

Все эти заботы отпадают при пользовании линиями равного хроматического порядка.

В настоящем сжатом и кратком обзоре не представлялось, конечно, возможным ни рассмотреть технику дела в деталях, ни дать численные результаты. Дальнейшие подробности можно найти в работах автора, перечисленных ниже, а также в работах, которые уже посланы и появятся скоро в *Proceedings of the Royal Society* и в *Philosophical Magazine*.

ССЫЛКИ НА РАБОТЫ АВТОРА:

Nature, 152, 722, 1943; 153, 195, 1944; *Phil. Mag.*, 32, 120, 1944; 35, 179, 1944. *Proc. Roy. Soc. A*, 184, 41, 1945; *Proc. Roy. Soc. A*, 184, 51, 1945.