30. Предварительные опыты для опредѣленія коэффиціентовъ расширенія кристалловъ по методу Е. С. Федорова.

С. О. Майзеля.

(Доложено 14 декабря 1909 г.).

Для работы опредѣленія коэффиціентовъ термическаго расширенія кристалловъ по методу Е. С. Федорова Минералогическимъ Институтомъ пріобрѣтены: спектрографъ R. Fuess'a и ртутная лампа системы Siedentopf и Zsigmondy работы C. Zeiss. Спектрографъ, сообразно особымъ условіямъ работы, является собственно спектрометромъ (Spektrometer II) съ придѣланной къ нему вмѣсто зрительной трубы фотографической камерой *A*. Спектрометръ имѣетъ закрытый лимбъ 180 мм. діаметромъ, раздѣленный до 10′. Два отчетныхъ микроскопа *B* позволяютъ помощью окулярнаго микрометра прямо получать минуты. Два микрометренныхъ винта *C* и *C*, передвигающихъ одинъ коллиматоръ, а другой лимбъ позволяютъ довести точность отчета до $2^1/_2''$.—Отверстіе щели *D* можно уменьшать до 0,01 мм. и ширина ея (до 0,01 м.м.) отсчитывается на особомъ барабанѣ *E*.

Фотографическая часть состоитъ изъ металлической камеры, помѣщающейся на мѣстѣ зрительной трубы и двойной металлической кассетки *F* для размѣра 6×9 см. Задняя часть камеры имѣетъ сплошную металлическую стѣнку съ узкой центральной горизонтальной щелью въ 1 см. ширины. Кассетка можетъ передвигаться вверхъ и внизъ въ пазахъ и закрѣпляться въ любомъ положеніи винтомъ.

Такимъ образомъ на одной пластинкѣ можно сдѣлать нѣсколько снимковъ. Камера снабжена двумя объективами. Одинъ изъ нихъ обыкновенный ахроматическій съ фокусныхъ разстояніемъ 28 см. Другой *g* (по спеціальному заказу) телеобъективъ съ эквивалентнымъ фокуснымъ разстояніемъ 60 см. Этотъ объективъ позволяетъ получать значительно большія изображенія безъ удлиненія камеры. Конечно, при этомъ происходитъ замѣтная потеря силы свѣта, но для фотографическаго метода это не имѣетъ особеннаго значенія.

Для полученія монохроматическаго свѣта примѣняется ртутная дуга Siedentopf'a и Szigmondy силою тока въ 8 амп. при напряженіи 15—18 в. Въ ней примѣняется водяное охлажденіе, поддерживающее температуру весьма постоянной. Количество свѣта, даваемое дугой очень велико, но спектръ ея состоитъ изъ ряда яркихъ линій. Особенно яркой является зеленовато-желтая линія $\lambda = 546$ $\mu\mu$ и для полученія монохроматическаго свѣта очень удобно ее выдѣлить. Для этого примѣняется особый свѣтофильтръ, состоящій изъ двухъ пластинъ зеленоватаго стекла, между которыми наливается желтый растворъ двухромокислаго кали. Свѣтофильтръ поглощаетъ всѣ части спектра кромѣ $\lambda = 546$ $\mu\mu$ и оставляетъ въ этой линіи такъ много свѣта, что возможно производить проекціи въ монохроматическомъ свѣтѣ.

Задачей работы является опредѣленіе термически коэффиціентовъ расширенія кристалловъ по методу, предложенному проф. Е. С. Федоровымъ. Принципъ метода заключается въ слѣдующемъ: изъ кристалла выпиливается по требуемой плоскости пластинка и на одной сторонѣ ея тѣмъ или инымъ способомъ наносится диффракціонная рѣшетка, линіи которой перпендикулярны къ тому направленію, въ которомъ желательно опредѣлить коэффиціентъ расширенія. Если черезъ такую рѣшетку пропустить нормально къ поверхности пучекъ монохроматическаго свѣта, то получится рядъ отклоненныхъ лучей, углы которыхъ съ нормалью подчиняются слѣдующему закону:

$$(1)\quad \sin\varphi_n = \pm \frac{n\lambda}{p},$$

гдѣ φ_n — уголъ отклоненія n-аго луча въ ту или другую сторону отъ нормали, λ—длина волны свѣта, p—постоянная рѣшетки т. е. разстояніе между центрами черты и слѣдующаго за ней промежутка.

Если подвергнуть кристаллъ нагрѣванью, измѣнится постоянная p рѣшетки вслѣдствіе расширенія всѣхъ частей кристалла, а слѣдовательно и поверхности, на которой нанесена рѣшетка. Если при увеличеніи температуры отъ t_1 до t_2 постоянная измѣнилась на величину dp, то коэффиціентъ расширенія будетъ:

$$\alpha = \frac{\frac{dp}{p}}{t_2 - t_1\left(1 + \frac{dp}{p}\right)} \qquad (2)$$

Или съ достаточною для всѣхъ кристалловъ точностью:

$$\alpha = \frac{\frac{dp}{p}}{t_2 - t_1} \qquad (3)$$

Но дифференцируя уравненіе (1), получаемъ:

$$\cos\varphi_n \, d\varphi_n = -\frac{n\lambda}{p_2} dp$$

Отсюда:

$$d\varphi_n = -\frac{n\lambda}{p} \cdot \frac{dp}{p} \cdot \frac{1}{\cos\varphi_n} = -tg\varphi_n \frac{dp}{p} \qquad (4)$$

Наконецъ:

$$\frac{dp}{p} = -\cot\varphi_n \, . \, d\varphi_n. \qquad (5)$$

Такимъ образомъ, достаточно измѣрить φ_n и опредѣлить измѣненіе при нагрѣваніи кристалла на опредѣленное число градусовъ, чтобы получить $\frac{dp}{p}$, а слѣдовательно и α.

Очевидно, точность метода (формула 4) тѣмъ больше, чѣмъ больше φ_n т. е. чѣмъ меньше p и больше n и λ. Съ другой стороны, количество свѣта пропорціонально $\frac{1}{p^2}$ и квадрату ширины рѣшетки, но быстро уменьшается съ возрастаніемъ n. — Все это заставляетъ брать не черезъ чуръ малыя поперечныя сѣченія кристалловъ, наносить возможно частыя рѣшетки, работать въ наиболѣе высокихъ порядкахъ и пользоваться по возможности болѣе длинными волнами свѣта.

Границей является условіе $\frac{n\lambda}{p} < 0{,}9$, такъ какъ не представляется возможнымъ увеличивать уголъ за 65°—70°.

Чтобы составить себѣ представленіе, съ какими величинами приходится оперировать, вычислимъ $d\varphi_n$ при $p = 5 \cdot 10^{-3}$ мм. (200 линій на мм.), $\lambda = 5{,}46 \cdot 10^{-4}$ мм. и $n = 7$.

Тогда $\varphi_n = \arcsin\frac{n\lambda}{p} = \arcsin\frac{7 \cdot 5{,}46 \cdot 10^{-4}}{5 \cdot 10^{-3}}$

$= $ прибл. 49°40′

$$d\varphi_n = -\frac{dp}{p} \quad tg\varphi_n = \quad 1{,}18 \quad \frac{dp}{p}$$

Принимая $\frac{dp}{p}$, которое равно α при $t_2 - t_1 = 1°$, равнымъ 10^{-5}, что соотвѣтствуетъ порядку величины α для большинства кристалловъ, и предполагая что мы нагрѣваемъ кристаллъ на 40° ($t_2 - t_1 = 40^0$), получили:

$d\varphi_n = -1{,}18 \quad 40 \quad 10^{-5} = $ прибл. $4{,}7 \quad 10^{-4}$ радіана $= 97'' = 1'37''$

Если же предположить, что удается нанести на кристаллѣ рѣшетку въ 1000 линій на мм. ($p = 10^{-3}$ мм.), работать во второмъ порядкѣ ($n = 2$) съ длиною волны 436 $\mu\mu$ (вторая яркая линія ртути), то

$$d\varphi_n = \text{прибл. } 155'' = 2'35''$$

Такъ какъ абсолютная величина φ_n можетъ быть измѣрена довольно грубо безъ замѣтнаго ущерба для точности результата (при $\varphi_n = 60^0$ ошибка въ $30''$ отразилась бы не болѣе, чѣмъ въ 0,03% на результатѣ), а при измѣреніи $d\varphi_n$ можно разсчитывать на точность не менѣе $0.5''$, то является возможность считать вѣроятную погрѣшность результата не болѣе 0,3—0,5%.

Преимущества способа проф. Е. С. Федорова должны особенно сказаться въ тѣхъ случаяхъ, когда придется имѣть дѣло съ кристаллами небольшихъ размѣровъ и мало однородными. Изъ такихъ кристалловъ можно вынимать куски достаточной однородности, если взять ихъ размѣры всего въ нѣсколько миллиметровъ, а толщину въ 0,3 — 0,5 мм. или даже тоньше. — Наилучшій изъ остальныхъ методовъ способъ Abbé-Fizeau, не даетъ при такихъ условіяхъ надежныхъ результатовъ. Количество полосъ, на которое смѣщается интерференціонная картина при толщинѣ a и нагрѣваніи на $(t_2 - t_1)^0$ будетъ

$$N = \frac{4\,a\alpha\,(t_2 - t_1)}{\lambda}$$

Принимая $\lambda = 400\,\mu\mu$, $t_2 - t_1 = 40°$ и $a = 0{,}5$ мм. получимъ

$$N = \frac{4 \quad 0{,}5 \cdot 10^{-5} \, 40}{4 \quad 10^{-4}} = 2$$

Считая точность измѣренія равной 0,05 полосы, получимъ возможную погрѣшность ок. $2^1/_2$%.

Разумѣется, когда имѣются въ распоряженіи

большія толщины однороднаго вещества, то способъ Физо можетъ дать несравненно лучшіе и болѣе надежные результаты.

Произведенные пока предварительные опыты съ рѣшеткой въ 200 линій на мм. на стеклѣ дали вполнѣ удовлетворительные результаты. При нагрѣваніи рѣшетки на 30^0 получалось смѣщеніе изображенія щели на прибл. $50''$

Попытки нанести на кристаллы рѣшетку съ такой же постоянной закончились пока неудачей. Въ настоящее время дѣлаются попытки нанести уже значительно болѣе частую рѣшетку другими способами.

