

PORADNIK DLA SAMOUKÓW. T. IV.

CRYSTALOGRAFIA

PORADNIK DLA SAMOUKÓW.

PORADNIK DLA SAMOUKÓW, T. IV.

KRYSTALOGRAFJA

WSKAZÓWKI METODYCZNE DLA STUDJUJĄCYCH



WYDAWN. A. HEFLICHA I ST. MICHAŁSKIEGO.
Z ZASIŁKU KASY IM. MIANOWSKIEGO.
Z 12 FIG. W TEKŚCIE. — WARSZAWA, 1924.
KASA IM. MIANOWSKIEGO, NOWY-ŚWIAT 72.

43736.4
II

WSZELKIE PRAWA PRZEDRUKU I PRZEKŁADU ZASTRZEŻONE.

Osrodek Rozposz. Wzd. Nauk. P.A.N.

II-wa Pałac Kultury i Nauki

17.1.59

5.-25.



SPIS RZECZY.

	Str.
PRZEDMOWA	nap. STEFAN KREUTZ. IX
I.	
KRYSTALOGRAFJA	opr. STEFAN KREUTZ.
Wstęp ogólny.	
§ 1. Przedmiot krytalografji	1
§ 2. Stosunek krytalografji do innych nauk	5
§ 3. Odrębność krytalografji i jej metody	13
§ 4. Podział krytalografji	14
Stopień III.	
Wstęp.	
§ 1. Przygotowanie potrzebne do studjowania krytalografji . .	15
§ 2. Program studjów i kategorie studjujących	16
§ 3. Metoda i technika studjowania krytalografji	18
Krytalografja geometryczna.	
§ 1. Ogólne uwagi o prawach podstawowych krytalografji geometrycznej	22
§ 2. Prawo wymiennych wskaźników	25
§ 3. Prawo pasowe	28
§ 4. Prawo wymiennych stosunków anharmonicznych	30
§ 5. Prawo wymiennych stosunków odcinków	30
§ 6. Hipoteza kolineacyjna	31
§ 7. Analityczny sposób wypowiadania czterech podstawowych hipotez krytalograficznych	32
§ 8. Hipoteza sieci przestrzennej	33
§ 9. Stosunek wzajemny omówionych hipotez	35
§ 10. Stosunek spostrzeżenia i doświadczenia do hipotez przyjmowanych za podstawę krytalografji geometrycznej	36
§ 11. O symetrii kryształów. Grupy krytalograficzne	42
§ 12. Rachunek krytalograficzny	61

Krystalografia fizyczna.

§ 13. Ustrój kryształów. 65

§ 14. Odwzorowywanie różnic własności fizycznych kryształu
w różnych kierunkach zapomocą stosownych powierzchni.
Kształt i symetria takich powierzchni. 80

Krystalografia chemiczna.

§ 15. 83

Płynne kryształy i ciecze krystaliczne.

§ 16. 86

Bibliografia.

Uwagi wstępne 91

I. Ważniejsze rozprawy i dzieła klasyczne z zakresu nauki o kryształach

§ 1. Geometryczne własności kryształów 92

§ 2. Teoria ustroju 96

a) Rozważania teoretyczne 96

b) Badania doświadczalne ustroju kryształów zapomocą
promieni roentgenowskich 107

§ 3. Rozwój ścian kryształów 108

§ 4. Fizyczne własności kryształów; w szczególności optyka kry-
ształów 110

§ 5. Chemiczne własności kryształów 113

§ 6. Płynne kryształy i ciecze krystaliczne 116

II. Dzieła i prace omawiające historję krystalografji

§ 7. 118

III. Podręczniki i monografie

§ 8. Wskazówki ogólne 121

§ 9. Krystalografia geometryczna 125

a) Podręczniki polskie 125

b) Dzieła w językach obcych 128

§ 10. Teoria ustroju (wraz z krystalografią geometryczną) . . . 133

§ 11. Rachunek krystalograficzny oraz rysowanie kryształów . . 137

§ 12. Krystalografia fizyczna (podręczniki obejmujące zwykle kry-
stalografię geometryczną) 140

§ 13. Krystalografia chemiczna 146

§ 14. Analiza krystalograficzno-mikrochemiczna 149

§ 15. Monografie specjalne 151

IV. § 16. Wykaz stałych krystalograficznych 153

§ 17. Atlasy form krystalograficznych 155

§ 18. Wydawnictwa periodyczne 155

§ 19. Opisy przyrządów krystalograficznych 157

Zakończenie

Oddziaływanie doświadczenia na teorię w krystalografji i wpływ
teorji na badania doświadczalne. Zagadnienia jeszcze nierozwiązane 159

Dział informacyjny: Towarzystwa naukowe.—Kongresy.—Pracownie naukowe. Uniwersytety.—Zbiory kryształów; wystawy.—Przyrządy krytalograficzne.—Wykaz firm, wyrabiających przyrządy krytalograficzne oraz dostarczających zbiorów kryształów. . . .	162
---	-----

II.

ROLA PRZEKSZTAŁCEŃ PUNKTOWYCH PRZESTRZENI

W KRYSTALOGRAFII opr. STANISŁAW ZAREMBA.

§ 1. Cel artykułu	177
§ 2. Przekształcenia punktowe, występujące w krytalografii; elementy symetrii	178
§ 3. Przekształcenia izometryczne wielościanów w siebie samych	183
§ 4. Grupy wielościenne	189
§ 5. Grupy wielościenne w krytalografii	190
§ 6. Ugrupowania klas krytalograficznych w systemy	192
§ 7. Geometryczne własności substancji krytalicznych i grupy Schoenfliesa i Jordana	195

UZUPEŁNIENIA	opr. STEFAN KREUTZ.	201
SKOROWIDZ NAZWISK	„ WOJCIECH PRZYBYŁOWICZ.	206
SKOROWIDZ RZECZY	„ „ „	216
SPROSTOWANIA		222

INFORMACJE O PORADNIKU W JĘZYKU FRANCUSKIM.	223
TREŚĆ WYDANYCH TOMÓW I WYDAWNICTWA PORADNIKA.	227

PRZEDMOWA.

Treść: 1. Wyodrębnienie krystalografii i jej miejsce w Poradniku.—2. Trudności wykładu elementarnego krystalografii.—3. Wartość pedagogiczna niektórych części krystalografii dla szkół średnich

1. Krystalografia zajmuje w Poradniku dla Samouków tom osobny; treścią swą i sposobem ujęcia przedmiotu wiążąca się z fizyką i chemją, dzięki historycznemu rozwojowi złączona z mineralogją, wyodrębniła się w naukę oddzielną (jak to bliżej wyjaśnimy w § 3 Wstępu ogólnego). Jako taka winna być traktowana już z tego choćby względu, że zakres badań krystalografii jest odmienny od zakresu mineralogji i obejmuje związki organiczne i nieorganiczne, nie tylko te, które powstały w przyrodzie, lecz i wytworzone sztucznie w pracowniach.

Zaniedbana u nas w znacznej mierze z powodu nieodpowiedniej metody uczenia jej w wielu szkołach średnich, krystalografia zaczyna obecnie zyskiwać zrozumienie swego znaczenia dzięki żywotności tematów, któremi się zajmuje, dzięki swej wartości, jako nauki, kształcącej równocześnie spostrzegawczość i ścisłość myślenia, a wreszcie dzięki swym licznym praktycznym zastosowaniom.

Stanowisko krystalografii— nauki przyrodniczej, która czerpie znaczną część swych tematów ze spostrzeżeń nad minerałami, dozwala jednak na traktowanie ścisłe swych głównych zagadnień,—znajduje w Poradniku swój wyraz w tem, że na tom niniejszym składają się dwa artykuły, pierwszy pisany przez przyrodnika mineraloga, drugi—przez matematyka.

Rzecz oczywista, że niektóre zagadnienia, które w pierwszym artykule są zaledwie naszkicowane, mogły być w drugim wypowiedziane ściślej, w formie, zgodnej z matematycznym sposobem ujęcia przedmiotu.

Tom niniejszy, omawiający zagadnienia krystalografii, wydany jest przed tomem dotyczącym mineralogii i petrografii. Następstwo tych tomów tłumaczy się tem, że w przyrodzie przeważna część minerałów znajduje się w stanie krystalicznym, znajomość krystalografii jest zatem nieodzowna dla mineraloga.

2. Czytelnik Poradnika spotyka się kilkakrotnie z uwagami, odnoszącymi się do krystalografii. Wzmianki o własnościach kryształów znajdują się w tomie II Poradnika, poświęconym fizyce, pióra prof. Smoluchowskiego, niniejszy tom poświęcony jest w całości krystalografii, o krystalografii będzie zapewne często mowa w artykułach tomu chemicznego, wiele też uwag odnoszących się do niej znajdzie czytelnik w tomie Poradnika, poświęconym mineralogii. Omawianie krystalografii w kilku miejscach jest wynikiem specjalnej, jak wspomnieliśmy wyżej, natury tego przedmiotu: nauki doświadczalnej, pozwalającej jednak już w znacznym stopniu na traktowanie jej w sposób matematyczny, mającej nadto liczne zastosowania praktyczne i wiążącej się przez to ściśle z szeregiem innych nauk.

Ten swoisty charakter przedmiotu sprawia, że czytelnik nie znajduje w tomie Poradnika, poświęconym krystalografii, Stopnia I-go i II-go, a uwagi w nim pomieszczone przeznaczone są dla czytelników w Stopniu III-cim, o „średnim“ co najmniej wykształceniu. Uwzględnienie niższych szczebli nie jest tu konieczne z tego powodu, że krystalografia wiąże się bezpośrednio z fizyką i, jak w każdym ze specjalnych rozdziałów fizyki, tak tu niema mowy o tem, by nauka na szczeblach wstępnych była koniecznym wstępem do szczebla III-go. Jedynym celem nauczania krystalografii w Stopniu I-ym — jeśli nie idzie o cele praktyczne np. rozpoznawanie minerałów — może być tylko ćwiczenie i rozwój umysłu ¹⁾. Ogólne uwagi prof. Smoluchowskiego, umieszczone w Poradniku (t. II), mają znaczenie i dla

¹⁾ Porównaj: M. Smoluchowski: Fizyka, Poradnik t. II-gi, str. 63.

krystalografji, należałoby zatem uzupełnić je tylko wskazaniem dzieł z zakresu krystalografji, któreby szczególnie nadawały się do wymienionego celu. Niestety jednak, nie znamy obecnie podręczników czy książek, któreby spełniały warunki potrzebne do celu wyżej wskazanego w stopniu wybitniejszym, co tłumaczy się tem, że krystalografja jest nauką stosunkowo nową, mało jeszcze znaną, na którą dopiero w ostatnich czasach szersze koła zwróciły uwagę.

Książki i podręczniki elementarne, mające na oku najczęściej cel praktyczny, jak przygotowanie ucznia do studjowania mineralogji, będą obszerniej omówione w tomie Poradnika, poświęconym mineralogji (Stop. I i II) i mogą tu być pominięte.

3. Nie wynika jednak z poprzedniego wcale, by cała krystalografja była za trudna dla umysłów młodocianych. Wyrazimy tu przekonanie, że niektóre części krystalografji geometrycznej nadawałyby się, jak mało które ze zjawisk fizycznych, do kształcenia dziecka czy samouka na Stopniu I-szym, a zwłaszcza II-gim. Można by tu stosować metodę heurystyczną, wprowadzać zwolna pojęcie symetrii i łączyć matematykę elementarną z poznawaniem przedmiotów, mających także znaczenie w przyrodzie. Ostatni względ zasługuje, zdaniem piszącego, na szczególną uwagę pedagogów i stanowi specjalną zaletę krystalografji.

Z pewnemi częściami krystalografji doskonale można zaznajać młodzież w szkołach średnich. Systematyczne hodowanie kryształów szeregu substancyj, jak np. soli kamiennej, kryształów alunu w różnych warunkach, szeregu siarczanów i t. d., badanie ich wzrostu i przedstawianie ich form zapomocą modeli, wyrabianych przez uczniów samodzielnie z plastyliny, gipsu lub ziemniaka, mogłoby być wstępem do krystalografji. Wyrabiałoby to już w każdym razie zdolność obserwacyjną. Na modelach tych zdolniejsi sami dostrzegą związek między różnemi ścianami przybieranemi przez kryształy tej samej substancji. Dostrzegą mianowicie, że do płaszczyzn już utworzonych dołączają się czasem podczas wzrostu nowe płaszczyzny jako ściany kryształu, i że położenie tych płaszczyzn jest takie, iż są one równoległe do dwu już poprzednio istniejących (do siebie nierównoległych) krawędzi kryształu. Systematyczne otrzymywanie różnych form

kryształów o coraz większej liczbie ścian przez stępanie krawędzi czy naroży przez nowe płaszczyzny, równoległe do dwóch krawędzi już poprzednio istniejących (a do siebie nierównoległych) łatwo wykonać na modelach. Uczniowie mogą w ten sposób częściowo własną obserwacją bezpośrednią na kryształach ¹⁾, częściowo przez prowadzone przy pomocy nauczyciela systematyczne dostosowywania modeli do kryształów naturalnych, wykryć lub stwierdzić prawo, według którego rozwijają się ściany na kryształach danej substancji. Prawo to, znane w ogólnej formie pod nazwą prawa pasowego, którego ściśle sformułowanie podajemy niżej („Krystalografia geometryczna“ § 3), zostało wypowiedziane przez Ch. S. Weissa, na podstawie obserwacji dokonanych na szeregu kryształów skaleni o różnej liczbie ścian.

Uczniowie klas wyższych mogliby też z korzyścią obserwować stosunki symetrii na kryształach naturalnych i zastępować obserwowane kryształy przez własnoręcznie wykonane modele z plastyliny. Na modelach takich, dopuszczających wyższą symetrię, mogliby badać przekształcenia przeprowadzające je same w siebie. Użycie modeli jest tu pożądane ze względu na drobne zwykle wymiary kryształów, wytworzonych sztucznie w krótkim przeciągu czasu. W ten sposób możnaby przez kombinacje dwu

¹⁾ Na kryształach alunu, mających formę umiarkowanego ośmiościanu, rozwijają się czasem obok ścian ośmiościanu O nowe ściany S , których płaszczyzny tworzą sześciastokąt (por. fig. 1, 2). Ściany te przecinają się ze ścianami ośmiościanu w ten sposób, że każda z nich jest ograniczona dwiema parami krawędzi równoległych do krawędzi pierwotnego ośmiościanu. W pewnych warunkach wytwarzają się jeszcze dalsze ściany d w liczbie dwunastu (fig. 3), a położenie tych ścian jest znowu takie, że każda z nich zawiera dwie pary krawędzi równoległych do krawędzi, w których przecinają się ściany sześciastokąta i ośmiościanu.

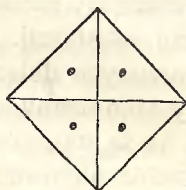


Fig. 1.

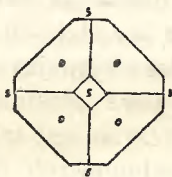


Fig. 2.

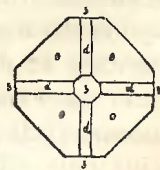


Fig. 3.

lub więcej takich przekształceń (obrotu, odbicia zwierciadlanego etc.), na które pozwala model takiego kryształu (t. j. przekształceń, przeprowadzających ten model sam w siebie), wprowadzać stopniowo pojęcie „grupy”. Umiejętnie prowadzone zaznajamianie uczniów z pojęciem symetrii, grającej tak dużą rolę w przyrodzie (nie tylko w krystalografii i w przyrodzie martwej, ale i w żywej), mogłoby, kształcąc spostrzegawczość i wyobraźnię, oddziaływać też na zmysł artystyczny młodzieży.

Unikać należy tylko uczenia pamięciowego rozpoznawania modeli drewnianych różnych form kryształów, rzeczy, która dawniej zniechęcała nieraz młodzież do krystalografii na całe życie.

Poprzestać trzeba tu na rzeczach najprostszych, studjowanie zaś ogólnych praw krystalografii, wypowiedzianych w formie hipotez, nasuniętych przez spostrzeżenie, pozostawić należy szczerbom późniejszym.

I.

KRYSTALOGRAFJA

opracował

STEFAN KREUTZ.

WSTĘP OGÓLNY.

Treść: § 1. Przedmiot krystalografji. — § 2. Stosunek krystalografji do innych nauk. — § 3. Odrębność krystalografji i jej metody. — § 4. Podział krystalografji.

§ 1. PRZEDMIOT KRYSTALOGRAFJI.

1. Krystalografją nazywamy naukę o własnościach kryształów, a obecnie ogólniej — naukę o własnościach ciał znajdujących się w stanie krystalicznym. Rozpocniemy zatem od wyjaśnienia pojęcia „kryształu“ i „stanu krystalicznego“.

Kryształami nazywamy ciała, wydzielające się najczęściej z roztworów lub ze stopów, ale powstające także i w innych warunkach (z gazów przez zestalanie się (sublimację), lub reakcje chemiczne między gazami, przez rozpad lub przemianę ciał stałych), posiadające pewne szczególne własności, z których najłatwiej dostrzegalna jest ich charakterystyczna forma zewnętrzna, mianowicie postać wielościenna, wytwarzająca się samodzielnie. Wielościanny te powiększają w sprzyjających warunkach swą objętość, to jest rosną w ten sposób, że na istniejących już ścianach kryształu osadzają się nowe warstwy substancji, ściany zaś ograniczające kryształ rozsuwają się równolegle do swego położenia pierwotnego; wzrost kryształów odbywa się zatem odmiennie od zwykle obserwowanego wzrostu organizmów zwierzęcych i jest zjawiskiem wyłącznie powierzchniowem.

Wielościanny, będące postaciami kryształów, nie są wielościanami zupełnie dowolnemi, lecz tworzą pewną ich szczególną kate-

gorze, — geometryczna zaś teoria tych wielościánów jest przedmiotem krystalografii geometrycznej.

2. Dalsze charakterystyczne własności kryształów odnoszą się do własności samej rozważanej substancji krystalicznej bez względu na formę, którą ta substancja w danej chwili posiada, odnoszą się, jak mówimy, do ośrodka kryształu i bywają omawiane w krystalografii fizycznej.

Kryształy ciała, pod względem swego składu chemicznego ściśle oznaczonych i chemicznie w całej swej objętości jednolitych, np. jakiegoś pierwiastka lub związku chemicznego, są w normalnych warunkach także fizycznie jednorodne. Żeby opisać, choć w sposób ogólnikowy, co nazywamy jednorodnością, wprowadzimy tu pewne pojęcie geometryczne, mające bardzo wielkie znaczenie dla krystalografii: mianowicie pojęcie translacji¹⁾, która oznacza przemieszczenie wszystkich punktów danego ciała w tym samym kierunku o równą długość.

Ciałem jednorodnem nazywamy ciało posiadające własność następującą: jeżeli w tem ciele zatoczmy dookoła dwu dowolnych punktów O i O' kule K i K' o równych promieniach, to przeniesienie każdej z tych kul drogą translacji na miejsce drugiej, jeśli byłoby wykonalne bez naruszenia pozostałych części ciała, stanowiłoby czynność nie pozostawiającą po sobie żadnego śladu, któryby pozwolił stwierdzić a posteriori, że czynność ta została wykonana. Gdyby rozważane ciało miało w sąsiedztwie różnych punktów różne zabarwienie lub wykazywało inne różnice, to przestawienie dwu takich kul drogą translacji dałoby się wykazać i ciało takie nazwalibyśmy niejednorodnem.

¹⁾ Zwróćmy uwagę na pewne ciało sztywne (C) w dwu położeniach, z których jedno nazwiemy początkowem a drugie końcowem, i rozważajmy przypadek następujący: dwa dowolne punkty A i B ciała (C) w położeniu początkowem zajmą w położeniu końcowem położenia A' i B' takie, że proste AA' i BB' będą do siebie równoległe, albo też będą się zlewały z sobą. W przypadku tym mówimy, że ciało (C) zostało przeniesione z położenia pierwszego w drugie zapomocą translacji.

Zaznaczmy dodatkowo, że wywody powyższe, jak i wiele następnych, stają się o wiele jaśniejsze przez ilustrowanie ich rysunkiem, który czytający łatwo sam może wykonać według tekstu.

3. Wśród ciał jednorodnych możemy wyróżnić dwie kategorie, mianowicie ciała jednorodne izotropowe i anizotropowe. Różnicę obu tych kategorii wyjaśnimy, omawiając zachowanie się kul, z których jedna wytoczona jest ze szkła, druga z jakiegokolwiek kryształu, np. z kwarcu lub soli kamiennej, poddawanych w prasie między dwiema równoległymi płaszczyznami (fig. 4) naciskowi na tyle małemu, by nie wywołał żadnych trwałych zmian, pęknięć i t. d. Doświadczenia, wykonywane z kulą szklaną wykazują, że kula taka ściskana w podany sposób ulega spłaszczeniu, po ustaniu jednak nacisku powraca do pierwotnego stanu, jeśli wielkość siły ściskającej nie przekroczy pewnej granicy. Zakładamy, że w naszych doświadczeniach zachodzi ten właśnie przypadek. Jeżeli kuli szklanej będziemy nadawać kolejno przez obrót takie położenia, by wciąż nowe punkty powierzchni kuli dotykały obu płaszczyzn ściskających i za każdym razem będziemy ścisnąć kulę przez obciążenie tym samym ciężarem q , to stopień spłaszczenia się kuli (t. j. zmniejszenie się średnicy kuli prostopadłej do obu płaszczyzn prasy) będzie we wszystkich doświadczeniach ten sam.

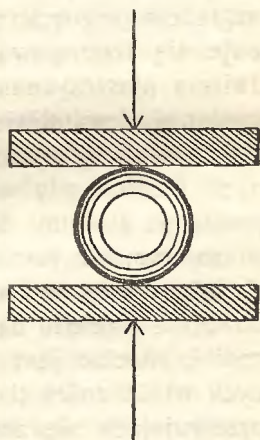


Fig. 4.

Inaczej będzie się zachowywać kula wycięta z jakiegokolwiek kryształu, gdyż wybór punktów dotyku powierzchni kuli z płaszczyznami prasy nie będzie tu bez wpływu, i stopień spłaszczenia się kuli pod wpływem tego samego ciężaru zmienia się tu naogół zależnie od wyboru jej średnicy, zajmującej położenie prostopadłe do ścian prasy. Różnice w zachowaniu się różnych średnic kuli z kryształu występują nie tylko przy ściskaniu, ale i w szeregu innych doświadczeń, o których pomówimy później. Jeżeli różne średnice kuli wytoczonej z jakiegokolwiek materji jednorodnej okazują naogół przy tego rodzaju badaniu różnice, to mówimy, że materja jest anizotropowa, w przeciwieństwie do ciał jednorodnych izotropowych, za których przedstawiciela możemy uważać szkło.

Zdarza się nieraz, że w materji anizotropowej pewna liczba średnic kuli (ale nie wszystkie) wyciętej z tego ciała wyróżnia się tylko położeniem, a więc nie okazuje żadnej różnicy w zachowaniu się przy ściskaniu w wyżej podany sposób, ani też przy badaniu jakiegokolwiek innej własności, odnoszącej się do tych średnic, np. przewodnictwa ciepła, elektryczności i t. d. Częstym jest również przypadek, że pewna substancja zachowuje się anizotropowo pod względem pewnych własności, pod względem zaś innych zachowuje się izotropowo. Tak np., gdy będziemy ścisnąć między dwiema płaszczyznami kulę wyciętą z kryształu soli kamiennej, wystąpią niewątpliwie różnice, zależnie od punktów styczności, nie zauważymy natomiast żadnej różnicy w zachowaniu się różnych średnic, gdy wzdłuż nich będziemy kolejno przepuszczać promienie światła. Mówimy tedy, że sól kamienna jest optycznie izotropowa; tak samo zachowuje się ona izotropowo, rozszerzając się lub kurcząc pod wpływem zmian temperatury; jest dalej izotropowa, ze względu na przewodnictwo ciepła i szereg innych własności, chociaż jest ciałem krystalicznym. Do charakterystycznych właściwości ciał krystalicznych należy ich anizotropowość, przejawiająca się zawsze przy badaniu własności sprężystych; własności sprężyste kryształów w różnych kierunkach są naogół różne, chociaż kierunki o tem samem zachowaniu się mogą powtarzać się w sposób prawidłowy.

4. Znamy liczne przykłady zjawiska, że dwa ciała o tym samym składzie chemicznym różnią się własnościami fizycznymi, chociaż znajdują się w tych samych warunkach, i to często bywa tak, że jedno z nich jest izotropowe, drugie zaś anizotropowe. Wyrażamy ten fakt mówiąc, że ta sama substancja chemiczna występuje w stanie izotropowym lub anizotropowym, uważanym niekiedy także, zbyt może ogólnie, za równoznaczny ze stanem krystalicznym. Stanem krystalicznym zwykle nazywamy taki stan anizotropowych ciał jednorodnych, że okrucz tego ciała, zanurzony w odpowiednim ośrodku, może w sprzyjających warunkach fizycznych (np. przy dostatecznem stężeniu roztworu danego ciała) pokryć się płaskimi ścianami i przeistoczyć się w zupełny kryształ.

Tak w przyrodzie, jak i w laboratorium spotykamy niezmier-

nie często tylko nieregularnie ograniczone okruchy ciał krystalicznych, swobodny bowiem rozwój postaci zewnętrznej kryształu zależy od wielu czynników zewnętrznych. Badanie własności fizycznych nawet takich okruchów pozwala często na pewne wnioski, dotyczące przynajmniej w ogólnych zarysach formy kryształów, któraby mogła wytworzyć się w sprzyjających warunkach i która w pewnych warunkach objawia się. Badanie własności ośrodka wiąże się zatem ściśle z formą kryształu, która, jak o tem mówimy później szczegółowiej, jest tylko jednym z objawów anizotropowości ośrodka.

5. Rozpowszechniony jest pogląd, że wszystkie ciała „stałe” są krystaliczne lub anizotropowe, wobec tego krystalografia zlewałaby się z nauką o ciałach stałych. Należy jednak nadmienić, że zgodność tej teorii z faktami osiągamy przez zmianę pospolitego pojęcia „ciała stałego”. Ciałami stałymi nazywają się według tej teorii ciała mniej lub więcej sztywne¹⁾, posiadające oznaczony punkt topliwości, lub raczej oznaczoną dla pewnego ciśnienia temperaturę, w której z anizotropowych stają się izotropowe. Ciała, które oznaczonego punktu topliwości nie posiadają, jak np. szkło, które przy ogrzewaniu w sposób ciągły traci charakter ciała sztywnego i przechodzi nieznacznie z ciała sztywnego w ciecz, zaliczamy do cieczy o bardzo wielkiem tarcu wewnętrznem. Konsekwentne przeprowadzenie tego poglądu nie jest jednak łatwe.

Zaczerpnięty z krystalografii podział ciał na „izotropowe” i „anizotropowe”, dający się przeprowadzić według ściśle oznaczonego kryterjum, przedstawia w porównaniu z podziałem ciał na „stałe”, „ciekłe” i „gazowe” duże zalety.

§ 2. STOSUNEK KRYSTALOGRAFII DO INNYCH NAUK.

1. Już uwagi poprzedzające wykazują, że w krystalografii mamy do czynienia z zagadnieniami, wchodzącymi w zakres rozmaitych nauk, przede wszystkim w zakres fizyki. W rzeczywistości wyczerpujący wykład fizyki objąłby w różnych działach całą krystalografię. Zasady rozchodzenia się światła w kryszta-

¹⁾ Własność sztywności zmienia się u ciał anizotropowych w bardzo szerokich granicach: mamy nawet t. zw. „ciekłe kryształy” i „ciecze krystaliczne”.

łach, zwłaszcza podwójnie załamujących, stanowią jeden z obszerniejszych rozdziałów każdego prawie podręcznika fizyki, to samo odnosi się do praw dotyczących się sprężystości, rozszerzalności cieplnej i przewodnictwa ciepła, jako też i ogólnych praw rozchodzenia się jakiegokolwiek ruchu falistego w kryształach. Są jednak, nawet poza krystalografią geometryczną, działy krystalografii, pomijane, jak się zdaje ze względów praktycznych, prawie stale w książkach fizycznych, mianowicie te, w których się omawia własności fizyczne kryształów, wiążące się z przybieraniem przez pewną substancję różnych postaci krystalicznych i z szybkością wzrostu lub też rozpuszczania się kryształów.

2. Krystalografia geometryczna łączy się ściśle z geometrią: możnaby ją uważać za geometrię wielościanów pewnej specjalnej kategorii. Nie należy jednak zapominać, że i ten dział stanowi naukę przyrodniczą, gdyż ogólne założenia charakteryzujące tę specjalną kategorię wielościanów nie są wymyślone dowolnie, lecz są zaczerpnięte z doświadczenia i obserwacji, czyli że są tak dobrane, by konsekwencje tych założeń były zgodne z danymi doświadczalnymi; w tem różni się krystalografia geometryczna od specjalnych rozdziałów nauk matematycznych.

3. Krystalografia geometryczna wiąże się nadto bezpośrednio z fizyką, gdyż forma kryształu jest wyrazem różnic w szybkości wzrostu kryształu w różnych kierunkach — a zatem własności fizycznej. Związek ten uwidocznia się w następującem doświadczeniu. Rozważajmy szereg kul o równym promieniu, wyciętych z dowolnego kryształu, np. z kryształu soli kamiennej, zanurzonych w przesyconym roztworze chlorku sodowego. Kule te będą wzrastać, przekształcając się równocześnie w wielościany, otoczone płaskimi ścianami. Jeśli doświadczenie to wykonywać będziemy w ten sposób, że dopływ substancji rozpuszczonej będzie dla całej powierzchni każdej z badanych kul możliwie równomierny i dla wszystkich kul jednakowy, to wytworzą się wielościany takie same, których forma będzie charakterystyczną dla danych warunków.

4. Cały szereg rozdziałów krystalografii chemja fizyczna zalicza do swego zakresu działania, jak np.: prawa równowagi różnych faz krystalicznych pewnych substancji i ich roztworów; istniejące

niewątpliwie, choć częściowo jeszcze niewyjaśnione, związki między formą kryształu a składem chemicznym, o których nieco obszerniej mówimy w § 15 (Krystalografia chemiczna), są zagadnieniami wspólnymi oczywiście chemji i krystalografji.

Badania krystalograficzne dają niejednokrotnie wskazówki odnoszące się do sposobu związania i ułożenia, a nawet t. zw. wielkości promienia atomów chemicznych w różnych ciałach. Hipotezy w tym kierunku opierano na różnych własnościach fizycznych i związku ich z symetrią; obecnie, wskutek zastosowania promieni roentgenowskich do badania kryształów, rola spekulacji dowolnej została nadzwyczajnie zredukowana, a wspomniane wyżej wnioski mogą być opierane na podstawie doświadczalnej. Znajomość krystalografji umożliwia wreszcie chemikowi w wielu przypadkach rozpoznawanie substancji ¹⁾, stwierdzanie czystości związków i wykonywanie rozdziału kilku substancyj z sobą zmieszanych. Stałe krystalograficzne bywają szczególnie uwzględniane w chemji organicznej jako znamiona charakteryzujące substancję tak samo, jak stałe optyczne, ciężar wł. i t. d., a umożliwiające nietylko łatwe wykrycie podobieństwa w budowie chemicznej ciał chemicznie pokrewnych, ale ponadto także i różnic istotnych w niektórych przypadkach identyczności czy też podobieństwa ogólnego składu chemicznego.

W analizie mikrochemicznej korzystamy w szerokiej mierze z faktu, że pewne pierwiastki i substancje chemiczne (aniony i katjony) łączą się w ściśle oznaczonych warunkach w związki chemiczne o charakterystycznej formie krystalicznej, łatwo dającej się rozpoznać przy użyciu mikroskopu nawet wtedy, gdy, jak to zwykle bywa przy użyciu małych ilości substancyj, wymiary wydzielających się kryształów są bardzo małe. Przez systematyczny dobór odczynników można tą drogą wykrywać obecność różnych pierwiastków nawet w tym wypadku, gdy mała ilość substancji nie pozwala na normalny tok analizy chemicznej. Do niedawna zadowalano się tu oznaczeniami na podstawie wy-

¹⁾ Przez systematyczne postępowanie można na podstawie danych krystalograficznych oznaczyć nietylko bardziej znane minerały, ale często i produkty laboratoryjne nawet bardzo skomplikowane. Porównaj: E. F i o d o r o w, patrz „Bibljografia“, IV, § 16.

datnie charakterystycznego pokroju kryształków, obecnie jednak stosujemy tu gruntownie metody krystalograficzne, geometryczne i optyczne, przez co rozszerzamy nadzwyczajnie zakres używalności analizy mikrochemicznej.

Powyższe uwagi dowodzą potrzeby znajomości krystalografii nie tylko dla chemika-teoretyka, ale praktyka, chemika-technika i farmaceuty.

5. Stosunek krystalografii do mineralogii bywał bardzo często błędnie pojmowany i wielu autorów uważało jeszcze do niedawna krystalografię za gałąź mineralogii. Przyczyną nieporozumienia był tu fakt, że krystalografia rozwijała się w pracowniach mineralogicznych pod kierunkiem mineralogów, którym powiodło się odkryć zasadnicze prawa, dotyczące kształtu kryształów, mające znaczenie dla wszystkich wogóle, zależnych od kierunku, własności materji krystalicznej. Minerały dostarczyły mianowicie obfitego i pięknego materiału do badań krystalograficznych, a największe ¹⁾ i najpiękniejsze okazy kryształów napotykamy w przyrodzie, gdzie przeważną część stałej skorupy ziemskiej tworzą kryształy.

Stosunek krystalografii do mineralogii jest następujący. Ponieważ większa część minerałów znajduje się w stanie krystalicznym, więc i bardzo znaczna część mineralogii jest krystalografią szczegółową, ograniczoną do pewnej specjalnej grupy ciał, mianowicie do ciał występujących w przyrodzie. Mineraloga interesują jednak przede wszystkim minerały, dla krystalografa zaś jest rzeczą obojętną, czy bada materiał w laboratorium sztucznie wytworzony, czy też minerał wytworzony w przyrodzie niezależnie od człowieka.

Krystalograf bada ogólne prawa, do których forma i własności kryształów zdają się stosować, a jeśli bada np. procesy powstawania i przekształcania się skryształizowanych ciał mineralnych, to ma na oku przede wszystkim ogólne prawidłowości, zachodzące przy tych przemianach; mineralog zaś interesuje się temi

¹⁾ Znane są np. kryształy kwarcu lub gipsu kilkumetrowej a nawet kilkunastometrowej długości, kryształy djamentu wielkości dużej pięści i t. d. W jednym tylko osobniku krystalicznym skałenia założono w Finlandji kamieniołom. U nas spotykamy 3-metrowe kryształy gipsu nad Nidą.

procesami przedewszystkiem dlatego, że zachodzą one w przyrodzie, — notuje on nadto, w których miejscach i w jakich warunkach geologicznych odbywają się te procesy. Ponieważ bez znajomości ogólnych prawideł niepodobna stosować ich do specjalnych przypadków, zachodzących w przyrodzie, więc każdy mineralog musi zapoznać się gruntownie z krystalografją teoretyczną, by mógł snuć ze swych obserwacyj czy doświadczeń wnioski ogólniejsze.

Naodwrot, krystalograf także nie może pominąć materiałów, dostarczanych przez naturę jako minerały, i nie uwzględniać procesów, odbywających się w naturze bez umyślnego współdziałania człowieka, zwłaszcza, że trudnoby mu było uzyskać w pracowni podobne warunki, np. tak wielkie masy substancyj i tak długie okresy czasu, jakimi operuje przyroda. Badając zaś procesy, zachodzące wśród materiału mineralogicznego, powinien o ile możliwości gruntownie zapoznać się ze stosunkami mineralogiczno-geologicznymi podłoża, gdyż stosunki te mogą mieć często wpływ na własności badane. Wynika z powyższego, że każdy prawie krystalograf musi uwzględniać zjawiska dostrzegane na minerałach krystalicznych i korzystać z doświadczeń, zbieranych przez mineralogję a uzyskanych w największem z laboratoriów — w przyrodzie. Stąd też związek między krystalografją a mineralogją jest ścisły, chociaż są to nauki odrębne, a mają tylko częściowo wspólny przedmiot badania.

6. Petrografja zajmuje się w znacznej mierze zbiorowiskami osobników krystalicznych, a dążąc do poznania ogólniejszych praw, dotyczących krystalizacji ze stopów ognistopłynnych, czy też z wodnych roztworów, niekiedy przy współdziałaniu gazów, zajmuje się stanami równowagi ciał krystalicznych w różnych warunkach w zetknięciu z różnemi ośrodkami. Stosunek krystalografji do petrografji wykazuje zatem znaczne podobieństwo do stosunku krystalografji do mineralogji. Znajomość krystalografji jest petrografowi potrzebna do przyswojenia sobie własności minerałów i metod ich badania a nadto, w petrografji teoretycznej, do zrozumienia praw wydzielania się różnych kryształów z roztworów wieloskładnikowych, które zwykle znajdujemy w przyrodzie, i warunków utrzymywania się tych różnych ciał krystalicznych obok siebie.

7. Kryształy pewnych substancyj, ich modyfikacje, ich forma zewnętrzna a nawet wymiary są odbiciem pewnych warunków zewnętrznych, i nieraz można naodwrot — z własności kryształów odczytać warunki, w których one powstały. Przy zmianie tych warunków zmieniają się nieraz ich własności, niekiedy następuje zmiana modyfikacji krystalicznej, powstają ciała nowe. Często jednakowoż pozostają jeszcze pewne ślady, pozwalające odczytać zmiany, jakim kryształ podlegał, a dzięki nim możemy nieraz wnioskować nie tylko o historii samych kryształów, ale i o historii ośrodka, w którym się one znajdowały.

Z rodzaju i własności zespołów mineralnych wnosimy o warunkach, które panowały podczas ich tworzenia się i odczytujemy w ten sposób historję skorupy ziemskiej. Ze struktury krystalicznych skał krzemianowych magmatycznych rozpoznajemy z łatwością, czy magma wylała się była niegdyś na powierzchnię jako lawa wulkaniczna, czy też skrzepla w głębi — jako skała głębinowa.

Z własności minerałów składowych można często odczytać przemiany, którym uległ materiał badany wskutek zmiany stosunków zewnętrznych.

Niektóre ciała krystaliczne, znajdujące się w przyrodzie, dają się użyć np. jako termometry geologiczne. Z własności tych ciał lub też z zespołu towarzyszących im substancyj wnosimy o granicach temperatur, w których tworzyły się skały, zawierające badane minerały, jako składniki „pierwotne“, powstałe z nimi współcześnie. Oto np., z obecności pewnej krystalicznej odmiany substancji $MgSiO_3$, w skale powstałej z magmy, wnosimy, że rozważana magma skrzepla w temperaturze niższej 1100°. Obecność kwarcu w skale „pierwotnej“ dowodzi, że górna granica temperatury stygnięcia magmy leżała w sąsiedztwie 800°.

Kwarzec, wytworzony w temp. ponad 570°, zmienia w tej temperaturze pod zwykłym ciśnieniem swe własności w sposób raptowny. O fakcie, że taka zmiana zaszła, można się przekonać ex post, dzięki pewnym cechom, które te kwarcie nabywają wskutek tej przemiany. Kwarcie utworzone w temperaturach poniżej 570° cech tych nie posiadają.

Na tej podstawie stwierdzamy, że temperatura pewnych skandynawskich skał żyłowych, zwanych pegmatytami (podobne

do nich skały wypełniają szczeliny w granicie i w łupkach krystalicznych Tatr), była w szeregu przypadków wyższa ponad 570°, w szeregu zaś innych była niższa od 570°.

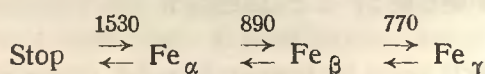
Dużo wniosków o temperaturze tworzenia się złóż solnych można czynić na podstawie szczegółowego badania minerałów i ich zespołów, znajdujących się w danem złożu.

Ze zjawisk radioaktywności kryształów pewnych ciał naturalnych i z zachowania się minerałów sąsiadujących z niemi, wnosimy o wieku tych ciał a równocześnie i utworów skalnych, których one są częściami składowemi.

Z wyników badań krystalicznych korzysta zatem geologia w wysokim stopniu nawet w dziedzinach, w których do niedawna nikt ich zastosowania nie przypuszczał. Znaczenie krystalografji dla geologa wynika oczywiście przedewszystkiem z faktu, że podstawą nauk geologicznych jest nauka o własnościach i przeobrażaniu się ciał tworzących skorupę ziemską, a zatem mineralogja i petrografja. Własności mas skalnych muszą być uwzględniane także w zagadnieniach pozornie odległych, jak np. w koncepcjach tektonicznych.

8. Krystalografja znajduje zastosowanie praktyczne w metalurgji. Metaliczne przedmioty używane w przemyśle są przeważnie zbiorowiskami kryształów jednego lub kilku pierwiastków, zmieszanych z sobą w rozmaitych stosunkach. Zalety techniczne materiału zależą od własności tych kryształów, od ich wielkości i postaci, dalej od sposobu spojenia z sobą pojedynczych osobników, t. j. od struktury zbiorowiska kryształów.

Żelazo np. znane jest w trzech odmianach krystalicznych, odmianie α , odmianie β i odmianie γ . Ze stopu wydzielają się, po obniżeniu temperatury stopu nieco poniżej punktu topliwości 1530° (w zwykłych warunkach ciśnienia), kryształy żelaza α . Przy dalszem obniżaniu się temperatury, kryształy żelaza α przechodzą w temperaturze 890° w żelazo β , a następnie w temperaturze 770° w żelazo γ . W każdej z tych temperatur znajdują się dwie odmiany w trwałym stanie równowagi, w innych temperaturach tylko jedna z nich jest trwała. Wyrażamy to schematem:



(Istnieć ma jeszcze czwarta modyfikacja, bliżej niezbadana, w którą zmieniałaby się modyfikacja α przy ogrzaniu ponad 1401°). Modyfikacja γ , trwała w temperaturze zwykłej (poniżej 770°), jest miększa od modyfikacji β i α i pod działaniem magnezu staje się łatwo, ale nietrwale magnetyczną. Powyżej temperatury 770° żelazo traci tę własność.

Różnica własności stali i żelaza miękkiego tłumaczy się tem, że przez dodanie węgla do stopionego żelaza można obniżyć punkt przemiany dla odmian żelaza, a nadto wywołać zjawisko analogiczne do zjawiska przechłodzenia wody poniżej 0° i utrzymać w zwykłej temperaturze odmianę twardszą (np. β) o własnościach stali. Oprócz samego rodzaju kryształów żelaza (modyfikacji) i związanych z tym rodzajem własności, oprócz wielkości kryształów i sposobu, w jaki są te kryształy spojone, odgrywają tu rolę i inne ciała domieszane, przede wszystkim wytwarzający się w tych warunkach węgiel żelaza, którego kryształy znajdują się obok kryształów żelaza w różnych ilościach, zależnie od składu stopu i od warunków krystalizacji.

Do uwidocznienia struktury materiału używa się w metalografii często metody zwilżania i trawienia wygładzonych powierzchni różnemi odczynnikami, przez co występują granice poszczególnych ziarn krystalicznych wskutek różnic w zachowaniu się różnych przekrojów kryształów tego samego nawet ciała. Można też odróżniać ciała metaliczne drogą optyczną¹⁾, badając światło odbite od powierzchni tych ciał, i wyróżnić tą drogą nieraz krytalograficznie odmienne przekroje tego samego kryształu.

Metody tego rodzaju są też stosowane w nauce o złożach minerałów kruszcowych i pozwalają nie tylko na wyróżnienie, ale nieraz — zapomocą stosownego doboru odczynników — także na oznaczenie składników masy pozornie jednolitej. Metoda „trawienia“ jest to metoda krystalograficzna, pospolicie używana w naukowych badaniach krystalograficznych, tak samo, jak i metody optyczne.

9. Ze zjawiskami omawianemi w krystalografii spotykamy się wreszcie wciąż w życiu codziennem.

¹⁾ Z korzyścią można też tu stosować metody elektrochromatyczne.

Niektóre, najbardziej rozpowszechnione w przyrodzie, minerały skryształizowane rzucają się nam wciąż w oczy: kwarc (np. jako ziarna piasku), skałęń, mika, śnieg i lód; dalej, jako przedmioty codziennego użytku: sól kamienna i cały szereg produktów laboratoryjnych organicznych i nieorganicznych, uzyskiwanych w postaci kryształów, jak cukier, różne środki lecznicze i t. d. Kowalność złota, srebra lub miedzi polega na zdolności szczególnie łatwego przesuwania się warstw w kryształkach złota w płaszczyznach równoległych do ścian regularnego ośmiościanu. Szybkie niszczenie się dachów cynowych podczas silnych mrozów (zaraza cynowa) jest wywołane przejściem jednej odmiany kryształów cyny w inną, a kruszenie się naczyń szklanych, często używanych, jest w związku z przejściem szkła w stan krystaliczny.

§ 3. ODREBNOŚĆ KRYSZTALOGRAFIJ I JEJ METODY.

1. Z uwagi wyżej wypowiedzianej (§ 2, 1), wskazującej przynależność krystalografii do fizyki, nie wynika wcale, byśmy uważali, że istnienie krystalografii, jako osobnego działu nauk fizycznych, jest rzeczą zbędną i nieużyteczną; wypada tylko zastrzedz się, że wyodrębniamy krystalografię ze względów praktycznych. Jakkolwiek bowiem ogólne prawa, odnoszące się do każdej własności fizycznej kryształów, omawiane są w różnych rozdziałach fizyki, to jednak pozostaje jeszcze omówienie form kryształów, nauka o symetrii geometrycznej i o symetrii okazującej się w zachowaniu się kryształów ze względu na różne własności fizyczne, np. cieplne, elektryczne i t. d., czyli o symetrii ośrodka. Symetria ta wyraża się w tem, że jakkolwiek różne średnice kuli wyciętej z kryształu reagują na pewne podniety zewnętrzne naogół odmiennie (§ 1, 3), to często zachodzi zjawisko prawidłowego powtarzania się średnic zachowujących się jednakowo (jednoznacznych) pod wpływem rozważanego zjawiska. Pozostaje też jeszcze poszukiwanie związków między fizycznymi własnościami kryształów a ich postacią, wreszcie zależność własności geometrycznych i fizycznych od budowy chemicznej ciał rozważanych. Należą tu dalej badania ustroju wewnętrznego ciał krystalicznych, teorie sieci przestrzennej i ustrojów bardziej złożonych, które ułatwiają wy-

szukiwanie i rozpoznawanie związków między różnymi własnościami.

2. Porozrzucane w różnych działach fizyki i chemji wiadomości, odnoszące się do własności kryształów, splatają się, gdy się je rozważa z punktu widzenia teorii ustroju, z własnościami geometrycznymi w jednolitą całość, i w tem świetle krytalografia tworzy naukę odrębną i samodzielną. Z wyłuszczonego wyżej stosunku krytalografji do innych nauk wynika bezpośrednio, że krytalografia — należąc do t. zw. nauk ścisłych — posługuje się metodami tych nauk. Podstawą jest tu oczywiście doświadczenie i robienie spostrzeżeń w dokładnie oznaczonych warunkach.

Za pewną cechą odrębną możnaby jedynie uważać to, że krytalograf musi najczęściej zwracać uwagę na cały zespół własności geometrycznych, fizycznych i chemicznych kryształów badanych, i że wyrobił się tu wskutek tego pewien schematyczny sposób postępowania przy badaniu nowych substancyj pod względem krytalograficznym. Ponieważ krytalografia dąży nie tylko do poznania ogólnych praw krytalizacji i reagowania kryształów na podnieci zewnętrzne, ale i do systematycznego opisu kryształów różnych substancyj, mogącego służyć do ich rozpoznawania, więc i konieczność uwzględnienia strony opisowej odbiła się w metodyce schematycznego postępowania, nadając krytalografji pewną odrębność od innych gałęzi fizyki.

§ 4. PODZIAŁ KRYSTALOGRAFJI.

Prawidłowościami dotyczącemi postaci kryształów zajmuje się krytalografia geometryczna, własnościami ośrodka — krytalografia fizyczna i fizyko-chemiczna. Stąd powszechnie przyjęty podział krytalografji na: 1) geometryczną, 2) fizyczną i 3) chemiczną, — zależnie od własności, na które zwracamy szczególniejszą uwagę. Między temi działami niema jednak ostrej granicy i w każdym z nich mamy do czynienia z przejawami zjawisk fizycznych.

STOPIEŃ III.

WSTĘP.

Treść: § 1. Przygotowanie potrzebne do studjowania krystalografji. — § 2. Program studjów i kategorie studjujących. — § 3. Metoda i technika studjowania krystalografji.

§ 1. PRZYGOTOWANIE POTRZEBNE DO STUDJOWANIA KRYSZALOGRAFJI.

1. Minimum wiadomości matematycznych, niezbędnych do studjowania z powodzeniem krystalografji, wyczerpuje mniej więcej program matematyki elementarnej szkoły średniej europejskiej. Wskazówka ta jest oczywiście niezupełnie ścisła z powodu różnic w programach różnych szkół i typów w różnych państwach; różnice te jednak nie mają przeważnie takiego znaczenia, żeby mogły rozstrzygać o możliwości lub niemożności zajęcia się krystalografją. Należy tylko zaznaczyć, że rachunek nieskończonościowy, wprowadzony w ciągu ostatnich lat do programu szkół średnich w niektórych państwach, nie odgrywa żadnej roli w krystalografji geometrycznej. Z drugiej zaś strony wypada dodać, że znajomość elementarnej teorii przekształceń przez promienie odwrotne i elementów geometrii wykreślnej, nie wykładanych w pewnych typach szkół średnich, jest bardzo polecenia godna już przy studjach elementarnych, niezbędna zaś do głębszych studjów z zakresu krystalografji.

Kto pragnie poznać krystalografję w takiej mierze, aby ją stosować do badania minerałów na podstawie pomiarów krysta-

lograficznych, powinien zaznajomić się z elementami trygonometrii sferycznej.

Do zupełnego opanowania krystalografii geometrycznej potrzeba uprzednio zaznajomić się z elementami geometrii analitycznej i własnościami stosunku anharmonicznego. Z geometrii analitycznej należy dokładniej poznać teorię prostej i płaszczyzny współrzędnych Kartezjusza, a nadto należy być obeznanym z początkami teorii tworów drugiego stopnia.

Posiadając powyższe wiadomości matematyczne, uczący się może przystąpić do wyczerpującego studjowania krystalografii geometrycznej, bo sam już bez trudu będzie wiedział, gdzie ma szukać potrzebnych mu twierdzeń matematycznych, należących do teorii równań algebraicznych albo do teorii liczb. Koniecznie potrzebne do krystalografii są wiadomości z teorii grup przekształceń; wykład ich można znaleźć w pewnych pracach poświęconych krystalografii teoretycznej.

Doradzać można każdemu, kto pragnie gruntownie poznać krystalografię geometryczną, by po ukończeniu szkoły średniej jeszcze rok studjów uniwersyteckich poświęcił matematyce.

Powyższe wskazówki dotyczą tylko krystalografii geometrycznej, czyli teorii kształtów geometrycznych kryształów.

2. Jeżeli idzie o krystalografię fizyczną, to powyższe przygotowanie matematyczne może tylko wystarczyć do zaznajomienia się z eksperymentalną częścią przedmiotu, część zaś teoretyczna wymaga takiej znajomości matematyki, jak wogóle fizyka teoretyczna.

3. Oprócz przygotowania matematycznego do studjowania krystalografii potrzebne są oczywiście wiadomości z fizyki i chemji, zwłaszcza gdy idzie o studjowanie własności ośrodka krystalicznego. W zasadzie potrzebne jest tu zaznajomienie się z ogólnymi podstawami fizyki i chemji, w tym samym stopniu, co do studjowania któregośkolwiek ze specjalnych działów fizyki czy fizyko-chemji na Stopniu III-cim.

§ 2. PROGRAM STUDJÓW I KATEGORJE STUDJUJĄCYCH.

1. Wśród osób, chcących zapoznać się z krystalografią na Stopniu III-cim, wyróżnimy dwie kategorje. Do kategorji IIIa za-

liczamy czytelników, posiadających wykształcenie w zakresie szkół średnich. Do tej kategorii stosują się uwagi następne, jak i cały niniejszy artykuł dla nich się przeznacza przedewszystkiem. Osoby, obeznane już z metodami nauk ścisłych, tworzą kategorię IIIb. Czytelnicy tej kategorii zauważą sami, przejrzawszy następne rozdziały, że winni rozpocząć studjowanie krystalografii od krystalografii geometrycznej. Do nich zwraca się przedewszystkiem artykuł prof. Zaremby. W biblijografii zwrócono uwagę na dzieła przeznaczone dla czytelników tego wyższego stopnia przy omawianiu ich treści.

2. Przyrost nowych pracowników na polu krystalografii może nastąpić najłatwiej drogą kształcenia się uczniów normalnych kursów uniwersyteckich. Nie od rzeczy tedy może będzie umieszczenie na tem miejscu kilku ogólnych wskazówek dla początkujących słuchaczy uniwersytetu, zamierzających studjować krystalografię szczegółowo.

Studentom takim doradzamy jak najgoręcej, by pierwszy rok (lub dwa lata) studjum uniwersyteckiego poświęcili matematyce i fizyce. Zapoznanie się wtedy z krystalografią geometryczną nie sprawi im żadnej trudności, a do studjowania własności fizycznych kryształów, jak własności cieplne, optyczne, elektryczne, dalej własności sprężystości i t. d. dopiero wtedy będą mogli sami należycie się przygotować.

Do zrozumienia krystalografii chemicznej potrzeba oczywiście znajomości chemii teoretycznej, a do pracowania w tym kierunku niezbędna jest i praktyczna znajomość metod chemicznych. Praca w pracowni chemicznej nie tylko jakościowej, ale i ilościowej oraz w pracowni chemii fizycznej (doświadczenia fizyko-chemiczne) jest zatem dla przyszłego krystalografa rzeczą nieodzowną.

Zrozumienie wykładu krystalografii geometrycznej i chemicznej następuje zwykle mniej trudności, niż wykładu optyki kryształów, która stanowi jeden z trudniejszych rozdziałów fizyki. Ze względu na potrzeby mineralogów, a małe zazwyczaj ich przygotowanie matematyczne, wykład optyki kryształów sprowadza się zwykle w normalnych kursach uniwersyteckich do krótkiego przedstawienia praw rozchodzenia się światła w różnych typach kryształów i metod rozpoznawania substancyj krystalicznych, opar-

tych na własnościach optycznych kryształów. Uzasadnienia matematyczne bywają zwykle pomijane, teoretyczną więc stronę musi słuchacz, przy dzisiejszym ustroju studjów i braku odpowiednich katedr, czerpać ze specjalnych wykładów fizyki lub z książek.

Wobec tych stosunkowo znacznych wymagań studjów wstępnych, możnaby twierdzić, że rzadki będzie przypadek, by ktoś poświęcił się kryształografji. Student obdarzony zmysłem spostrzegawczym i zamiłowaniem przyrodniczem, zostanie przy jednej z nauk opisowych, słuchacz obdarzony talentem i zamiłowaniem matematycznym, zostanie po wstępnych studjach przy matematyce. Inna część młodzieży, studjując chemję, jako wstęp do badań z kryształografji chemicznej, zostanie przy chemji, nastęrczając im tyle tematów, dającej nadto możność zarobkowania. Wszystkie te uwagi zdają się być słuszne, a jednak nikt, kto zna bliżej stan dzisiejszej kryształografji i jej rozwój zawrotny, wątpić nie może, że piętrzące się trudności w ten czy inny sposób będą przełamane i że znajdą się adepci kryształografji.

§ 3. METODA I TECHNIKA STUDJOWANIA KRYSTAŁOGRAFJI.

1. Czytelnik, któryby chciał poznać metodę i technikę studjowania kryształografji zechce przede wszystkim przeczytać uwagi Z. Janiszewskiego¹⁾ we wstępie do Stopnia III matematyki i M. Smoluchowskiego²⁾ we wstępie do Stopnia III fizyki. Ogólne wskazówki, podane tam dla studjujących, odnoszą się także do kryształografji, jako nauki ściśle związanej z poprzedniami. Zwrócimy więc tu tylko uwagę na pewną dowolność w wyborze metody studjowania kryształografji, zależnie od stopnia wykształcenia i osobistych skłonności samouka.

Samouków III Stopnia zaliczyliśmy już poprzednio do dwóch kategorii: IIIa (szczebel niższy) i IIIb (szczebel wyższy), według stopnia ich wiadomości z zakresu nauk ścisłych (matematyki i fizyki). Obecnie uwzględnić musimy jeszcze, oprócz zakresu wiadomości samouka, także jego większe zamiłowanie do strony doświadczalnej przedmiotu lub też do teoretycznej, gdyż początkujący kryształograf ma do wyboru dwie metody studjowania kry-

¹⁾ Poradnik t. I, str. 115. ²⁾ Poradnik t. II, str. 153.

stalografii. Przy pomocy jednej z nich, doświadczalnie-indukcyjnej, samouk poznaje naprzód pewien zasób spostrzeżeń, klasyfikuje je, a dopiero później zapoznaje się z teoretycznym ujęciem związków spostrzeganych. Prawidłowości, bez względu na linję, na której byłyby odkryte, przedstawiają się studującemu jako wysnute bezpośrednio z zasobu faktów doświadczalnych.

Ten sposób zapoznawania się z krystalografią najbardziej zwykle dogadza przyrodnikom i chemikom.

Z krystalografią geometryczną i częścią fizycznej można zapoznać się także drogą odwrotną i to w sposób nierównie szybszy. Uznawszy pewne podstawowe założenia za hipotezy zasadnicze, można drogą ścisłej dedukcji wyprowadzić cały szereg wynikających z tych hipotez wniosków, a następnie dopiero badać, czy te wnioski są zgodne ze zjawiskami występującymi w przyrodzie, a raczej z wynikami obserwacji. Jest to sposób używany w niektórych podręcznikach francuskich. Krystalografia geometryczna, wyłożona tą metodą, przedstawia się czytelnikowi jako całość wykończona w sposób, jaki dał się dotychczas osiągnąć w niewielu chyba tylko przypadkach w innych działach fizyki. Rzecz prosta, że bardziej przyzwyczajony do matematycznych dedukcyj matematyk i filozof pójdzie od razu tą drogą. Oczywiście jest również rzeczą, że samouk, który obrał metodę doświadczalnie-indukcyjną, musi, po zapoznaniu się z częścią nagromadzonego zasobu faktów, odbyć drogę powrotną, korzystając z hipotez, które pozwalają na powiązanie tych faktów (metoda dedukcyjna). Pragnęlibyśmy też gorąco doradzić każdemu, kto od razu zapoznał się z teorią, by przeszedł następnie do doświadczania, gdyż tą drogą najłatwiej zdoła sobie wytworzyć istotne pojęcie o krystalografii, o stosunku doświadczania do teorii i t. d. i najłatwiej znajdzie wtedy pole do posunięcia nauki naprzód, choćby drogą teoretyczną. Możemy tu przytoczyć jako przykład K. F. Gaussa, który, chcąc zapoznać się z krystalografią, mierzył i obliczał kryształy. Dzięki temu wyraził prawo wymiennych wskaźników — przyjmowane za podstawową hipotezę krystalografii — w inny, bardziej mu odpowiadający sposób i wypowiedział kilka ważnych twierdzeń geometryczno-krystalograficznych.

Nie trzeba zapominać, że „doskonałość“ formy krystalografii

(w porównaniu z wielu działami fizyki), formy, pozwalającej na jej studjowanie dwiema wspomnianymi drogami, odnosi się tylko do krystalografii geometrycznej, która jednak ma znaczenie podstawowe dla całej krystalografii (nauka o symetrii).

Kładąc nacisk na konieczność bezpośredniej styczności samouka z kryształami, możemy stwierdzić, że o styczność tę nie jest trudno, co wynika z wielkiego rozpowszechnienia kryształów w przyrodzie i technice. Geometryczne pomiary kryształów może samouk z wystarczającą do wskazanego celu dokładnością wykonywać w każdej, jako tako zaopatrzonej, pracowni fizycznej lub mineralogicznej—gdzie zwykle znajdzie jakiś przyrząd, dający się zastosować jako gonjometr optyczny.

Trudniejsza już jest sprawa z krystalografją fizyczną, której studjowanie doświadczałne wymaga urządzeń bardziej złożonych.

2. Samouk, posiadający odpowiednie przygotowanie (Stopnia III b) może studjować pewne działy krystalografji bezpośrednio z rozpraw klasycznych, pomijając prawie podręczniki, w których przedstawienie rzeczy bywa często pozornie tylko elementarniejsze i krótsze. Taka metoda studjowania krystalografji może nieraz samouka III b szybciej doprowadzić do celu. Dotyczy to zwłaszcza tych działów, które dają się przedstawić drogą dedukcyjną, jak np. nauka o symetrii, teoria ustroju, pewne działy krystalografji fizycznej. Podręcznik miałby dla tej kategorii znaczenie przedewszystkiem informacyjne. Natomiast ogólne zaznajomienie się z krystalografją eksperymentalną łatwiej osiągnąć z podręczników, rozszerzanie zaś wiadomości winno odbywać się dopiero przez studjowanie prac oryginalnych.

Bardzo godną polecenia metodą, służącą do gruntownego zaznajamiania się z krystalografją doświadczałną, jest powtarzanie pomiarów i doświadczeń autorów znanych ze ścisłości i porównywanie uzyskanych przez siebie wyników z wynikami tych autorów. Metodę tę uczenia się krystalografji obrał i wskazał jeden z najwybitniejszych umysłów świata, L. Pasteur. Chciał on zapoznać się z krystalografją w przypuszczeniu, że będzie mu ona użyteczną w pracach chemicznych. Za najodpowiedniejszy sposób gruntownego zapoznania się z przedmiotem uznał powtórzenie pomiarów na kryształach substancyj dokładnie opracowanych i po-

równanie otrzymanych wartości z wartościami podanemi. Wybrał w tym celu kryształy kwasu winnego i jego soli, niedawno opisane przez znanego ze sumienności uczonego de la Provostaye'a (1841). Powtarzając krystalizacje i pomiary, wykrył niedostrzeżone przedtem związki między formą kryształów a własnością kryształów skręcania płaszczyzny polaryzacji w prawo lub w lewo i wysnuł (w r. 1848) hipotezę o związku między budową chemicznej cząsteczki a formą kryształu oraz poznał cały szereg innych prawidłowości.

Tej chęci uczonego — gruntownego zapoznania się z metodami badania krystalografji zawdzięczamy odkrycie płodnego w następstwa prawa Pasteura. Fakt ten zasługuje na uwagę.

Zauważymy tu wreszcie, że jakkolwiek krystalografja jest nauką stosunkowo młodą, zdobywającą sobie dopiero miejsce i uznanie, to jednak pociągała ona ku sobie oddawna, rzecz dziwna, wiele wyższych umysłów ludzi, którzy pracowali przeważnie na innych polach, ale przeczuwali wartość i znaczenie istotne krystalografji. Wystarczy wskazać nazwisko Ch. Huyghens'a, który dał teorię ustroju kryształów kalcytu i wyjaśnił podwójne w nim załamanie światła. Wiąże on już własności fizyczne kryształu (np. twardość) z jego ustrojem wewnętrznym.

3. W dalszym ciągu usiłujemy czytelnikowi dać możność wytworzenia sobie ogólnego pojęcia o istocie zagadnień, stanowiących przedmiot odrębnych działów krystalografji.

Uważamy to za konieczne z tego powodu, że w wielu podręcznikach panuje co do wzajemnego stosunku praw, przyjmowanych za zasadnicze i używanych za podstawę do wykładu krystalografji, niejasność, i byłoby prawie niepodobieństwem przy ocenie każdego z nich wyłuszczać to szczegółowo. Mamy więc nadzieję, że następujące rozdziały ułatwią uważnemu czytelnikowi (samoukowi) korzystanie z podanych podręczników w tem znaczeniu, że nieścisłości sam spostrzeże i uchroni się od nieporozumień. Oczywiście, niżej zamieszczone uwagi kwestyj omawianych nie wyczerpują, nie mogą też zastępować studjowania podręczników krystalografji, lecz raczej są wstępem do studjowania podręczników i mają odgrywać przy ich studjowaniu rolę doradcą.

KRYSTALOGRAFJA GEOMETRYCZNA.

Treść: § 1. Ogólne uwagi o prawach podstawowych krytalografji. — § 2. Prawo wymiennych wskaźników. — § 3. Prawo pasowe. — § 4. Prawo wymiennych stosunków anharmonicznych. — § 5. Prawo wymiennych stosunków odcińków. — § 6. Hipoteza kolineacyjna. — § 7. Sposób analityczny wyrażenia kilku hipotez. — § 8. Hipoteza sieci przestrzennej. — § 9. Stosunek wzajemny omówionych hipotez. — § 10. Stosunek spostrzeżenia i doświadczenia do hipotez, przyjmowanych za podstawę krytalografji geometrycznej. — § 11. O symetrii kryształów. Grupy krytalograficzne. — § 12. Rachunek krytalograficzny.

§ 1. OGÓLNE UWAGI O PRAWACH PODSTAWOWYCH KRYSTALOGRAFJI.

1. Kryształy, rozwinięte swobodnie i wszechstronnie, mają postać wielościanów, ograniczonych płaskimi ścianami i tem odznaczających się, że między ścianami wszystkich wielościanów, wytwarzanych przez tę samą substancję¹⁾, zachodzą pewne związki. Obserwacja kryształów doprowadziła do sformułowania kilku hipotez, określających te związki. Hipotezy te są zbliżone do siebie i każda z nich wystarcza do skoordynowania najważniejszych faktów dostrzeżonych.

Najpowszechniej znane są hipotezy, noszące nazwy: 1) prawa Haüyego lub prawa wymiennych wskaźników, 2) prawa pasowego, 3) prawa wymiennych stosunków anharmonicznych, 4) hipotezy sieci przestrzennej. Gruntowniejsze rozważanie wyłoniło też potrzebę wypowiedzenia 5) hipotezy, którą nazywamy hipotezą kolineacyjną.

Hipoteza, przyjmowana przez pewną grupę autorów za podstawę do dalszych rozważań, bywa zwykle przez nich nazywana: „podstawowem prawem krytalografji“. W związku z tem niektórzy autorowie oznaczają hipotezę pasową, hipotezę wymiennych wskaźników i hipotezę sieciową pokolei jako geometryczny, ary-

¹⁾ Substancja musi być ściśle określona nietylko pod względem składu chemicznego, ale też i własności fizycznych (np. ciężaru właściwego i t. d.), które muszą być w każdym kryształe jednakowe. Zaznaczamy to z tego powodu, że istnieją ciała o tym samym składzie chemicznym, ale o różnych własnościach fizycznych (wielopostaciowe), do których związki wspomniane nie odnoszą się.

metryczny i fizyczny wyraz zasadniczego prawa kryształografii. Taki sposób wystawiania się jest jednak o tyle nieściśły, iż podsuwa błędną myśl, że idzie tu o różne formy tej samej hipotezy.

2. Podamy teraz kilka definicij, które nam ułatwią szybkie zaznajomienie czytelnika z treścią wyżej wymienionych hipotez.

Ogólne własności geometryczne kryształów pewnej oznaczonej substancji możemy rozpoznać na każdym kryształcie tej substancji, jeśli tylko kryształ ten posiada co najmniej cztery ściany, których płaszczyzny tworzą czworościan rzeczywisty (p. str. 25). Kryształ taki nazywamy *kryształem normalnym*, a zbiór czterech ścian kryształu (lub wielościanu), posiadających powyższą własność — *układem normalnym* rozważanego kryształu. Jeśli przez jeden punkt poprowadzimy płaszczyzny równoległe do czterech ścian układu normalnego jakiegokolwiek kryształu, to otrzymamy układ czterech przechodzących przez jeden punkt płaszczyzn, z których żadne trzy nie przetną się w jednej prostej.

3. Według którejkolwiek z wyżej wymienionych pięciu hipotez można pewnej substancji *s*, oznaczonej pod względem fizycznym i chemicznym, podporządkować pewien zbiór (*Z*) płaszczyzn, nie obejmujący wszystkich płaszczyzn w przestrzeni, tak, że:

A). każdemu kryształowi rozważanej substancji można nadać takie położenie w przestrzeni, że każda z jego ścian będzie się zlewać z jedną z płaszczyzn rozważanego zbioru (*Z*);

B). jeśli każda ściana rozważanego kryształu normalnego substancji *s* zlewa się z jedną z płaszczyzn zbioru (*Z*), to tylko płaskie cięcia, dokonane w płaszczyznach zbioru (*Z*), zdolne są wydzielić z danego kryształu część identyczną z jakimś kryształem danej substancji (lub część, którą można uważać za kryształ tej substancji) ¹⁾.

Zbiór płaszczyzn, spełniający powyższe warunki, nazwiemy *polem kryształograficznym* substancji *s*.

Umówmy się dalej nazywać płaszczyzny pola kryształograficznego ścianami tego pola, proste, w których się ściany pola

¹⁾ Powód, dla którego wprowadzamy warunek B), stanie się czytelnikowi najłatwiej widoczny przy rozważaniu hipotezy sieci przestrzennej.

krystalograficznego przecinają — krawędziami, a punkty przecięcia się krawędzi — wierzchołkami danego pola krystalograficznego.

4. Jeśli pewnemu zbiorowi płaszczyzn (Z) można podporządkować taki zbiór wielościanów, że każda ze ścian tych wielościanów leży w jednej z płaszczyzn zbioru (Z), to mówimy, że zbiór (Z) tworzy pole wielościanowe.

Stwierdzenie, że pewien wielościan należy do danego pola wielościanowego, oznacza, że zapomocą odpowiedniego przemieszczenia można nadać temu wielościanowi położenie, w którym każda z jego płaszczyzn będzie się zlewała z jedną z płaszczyzn rozważanego pola wielościanowego. Każda z hipotez 1)—5) określa pewną szczególną klasę (W) pól wielościanowych i wyraża twierdzenie, że każda substancja krystalograficzna s „dopuszcza” jakieś pole wielościanowe, t. zn., że każdemu kryształowi substancji s można nadać przez odpowiednie przemieszczenie takie położenie w przestrzeni, że każda ściana tego kryształu będzie się zlewała z jedną z płaszczyzn pola (W).

To pole krystalograficzne (W) jest dane przez rozważaną hipotezę bez dwuznaczności, z wyjątkiem położenia w przestrzeni, i, aby takie pole krystalograficzne pewnej substancji s oznaczyć, potrzebny jest, według każdej z powyższych hipotez, przynajmniej jeden kryształ normalny danej substancji. Widzimy z tej uwagi, jakie podstawowe znaczenie posiada dla krystalografii pojęcie kryształu normalnego i układu normalnego ścian pewnego kryształu q .

Pojęcie, które wprowadziliśmy wyżej pod nazwą pola krystalograficznego, zlewa się z pojęciem znanym w krystalografii jako „zbiór płaszczyzn krystalograficznie możliwych” danej substancji. Uarty termin „zbiór ścian lub płaszczyzn krystalograficznie możliwych” uważamy za nieodpowiedni, gdyż nasuwa on wyobrażenie, że każdy wielościan, utworzony przez płaszczyzny należące do pewnego pola krystalograficznego, przedstawia postać istotnie możliwego w przyrodzie kryształu, które to wyobrażenie nie byłoby słuszne, jak to później zobaczymy.

Przystąpimy teraz do szczegółowego wypowiedzenia najważniejszych hipotez, wymienionych wyżej, rozpoczynając od

t. zw. prawa Haüyego, przedstawionego w sposób, użyty przez angielskiego krystalografa Millera.

§ 2. PRAWO WYMIERNYCH WSKAŹNIKÓW. (PIERWSZA POSTAĆ PRAWA HAÜYEGO).

1. Rozważajmy kryształ pewnej substancji s , posiadający tę własność, że wśród jego ścian znajdują się cztery ściany: P_1, P_2, P_3, P_4 , których płaszczyzny tworzą czworościan rzeczywisty¹⁾ (t. j. tworzą układ normalny, patrz § 1. 2, str. 23), zresztą zaś nie podlegające żadnemu ograniczeniu. Trzy z tych płaszczyzn, np.

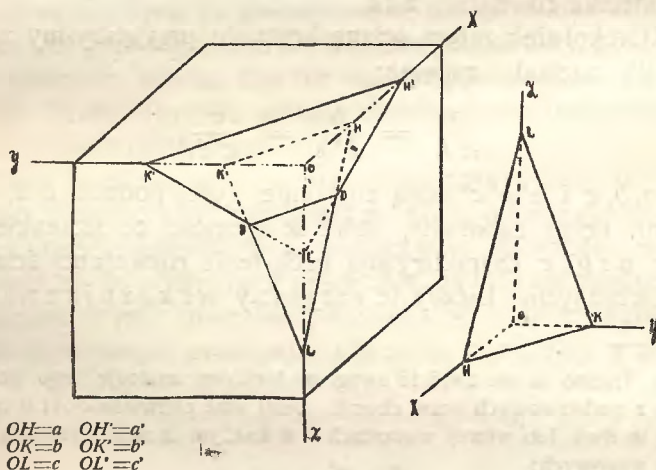


Fig. 5.

płaszczyzny P_1, P_2, P_3 przyjmujemy za płaszczyzny współrzędne, a krawędzie, w których się te płaszczyzny przecinają, za osie współrzędne (Fig. 5). Czwarta z tych płaszczyzn, np. P_4 , odcina na tych trzech osiach od początku układu współrzędnych odcinki a, b, c . Według omawianego prawa odcinki: a', b', c' , wyznaczone kolejno

¹⁾ Czworoscianem rzeczywistym nazywamy utwór geometryczny, mający cztery punkty a, b, c, d za wierzchołki i cztery trójkąty abc, acd, adb, bcd jako ściany.

na tych samych osiach przez jakąkolwiek ścianę P_5 rozważanego kryształu są takie, że stosunki:

$$\frac{a}{a'}; \frac{b}{b'}; \frac{c}{c'}$$

są proporcjonalne do liczb wymiernych, albo, co na jedno wychodzi, do liczb całkowitych¹⁾ (choćby same mogły być niewymierne).

W przypadku, gdy rozważana (piąta) ściana kryształu jest równoległa do jednej lub dwu osi współrzędnych, prawo to zachowuje swe znaczenie, jeśli założymy, że ta płaszczyzna przecina odpowiednie osie współrzędne w odległości nieskończenie wielkiej, a stosunek odcinka ściany P_4 na rozważanej osi do tak wyznaczono odcinka równa się zeru.

Którąkolwiek zatem ścianę kryształu przyjęlibyśmy za piątą ścianę P_5 , zachodzi związek:

$$\frac{a}{a'h} = \frac{b}{b'k} = \frac{c}{c'l},$$

gdzie a, b, c i $a' b' c'$ mają znaczenie wyżej podane, a h, k, l są to pewne liczby całkowite, które w łączności ze stosunkiem odcinków $a : b : c$ charakteryzują nachylenie rozważanej ściany do osi współrzędnych. Liczby te nazywamy wskaźnikami danej

¹⁾ Trudno tu nie zwrócić uwagi na formalną analogję tego prawa do jednego z podstawowych praw chemii. Jeśli dwa pierwiastki: A i B łączą się ze sobą w dwu lub więcej związkach i w każdym z nich występują w stosunkach wagowych:

$$\frac{a}{b}; \frac{a'}{b'} \text{ i t. d.,}$$

(gdzie $a : b$ przedstawia stosunek wagowy pierwiastków A i B w związku pierwszym, $a' : b'$ w drugim i t. d.), to zachodzi związek:

$$\frac{a}{a'} : \frac{b}{b'} : \dots = h : k : \dots, \text{ albo też } \frac{a}{bh} = \frac{a'}{b'k} = \dots,$$

gdzie $h, k \dots$ są to jakieś liczby wymierne lub całkowite.

Przez wiązanie występującej tu prawidłowości z teorią atomistyczną nadaje się nieraz temu prawu formę bardziej specjalną, oczywiście z pierwszą nie jednoznaczną, twierdząc, że już same stosunki ciężarów, w jakich dany pierwiastek w dwu lub więcej związkach się znajduje, t. j. $\frac{a}{a'}; \frac{b}{b'}$ etc., wyrażają się liczbami wymiernymi lub całkowitemi. Druga ta forma ma analogję w krytalografii w drugiej postaci prawa Hauyiego.

ściany. Używając wskaźników za symbol pewnej płaszczyzny, piszemy je zwykle obok siebie i zamykamy nawiasem: $(h\ k\ l)$ ¹⁾.

Hipotezę tę możemy wypowiedzieć, nie ograniczając się do ścian występujących na tym samym kryształcie i rozważając całe pole krystalograficzne danej substancji s . Jeżeli oznaczymy przez a, b, c odcinki wyznaczone przez jedną z płaszczyzn pola krystalograficznego na trzech krawędziach tego pola, schodzących się w jednym punkcie O , to charakterystyczną własnością płaszczyzn danego pola wogóle jest własność, że odcinki a', b', c' , wyznaczone na tych samych krawędziach przez jakąkolwiek inną płaszczyznę tego pola są takie, iż stosunki $\frac{a}{a'}; \frac{b}{b'}; \frac{c}{c'}$ są proporcjonalne do liczb wymiernych. To sformułowanie nie jest jednak zupełnie zadowalające, gdyż nie daje kryterjum, czy płaszczyzny, przechodzące przez punkt O , należą, czy też nie, do pola krystalograficznego.

2. Braku tego nie wykaże sformułowanie omawianej hipotezy w sposób następujący.

Jeśli dowolnie wybrane trzy płaszczyzny pola krystalograficznego jakiejkolwiek substancji s , które przecinają się w jednym punkcie, przyjmiemy za płaszczyzny spółrzędne, a proste, w których się te płaszczyzny przecinają, za osie spółrzędne układu Kartezjusza, i jeśli równanie jakiejkolwiek czwartej ściany pola krystalograficznego, przecinającej te osie, napiszemy w postaci:

$$(1) \quad \frac{x}{a} + \frac{y}{b} + \frac{z}{c} - 1 = 0,$$

to cechą charakterystyczną płaszczyzn, będących ścianami rozważanego pola krystalograficznego, jest to, że można ich równania napisać w postaci:

¹⁾ Płaszczyzna P_a , odcinająca na osiach spółrzędnych Ox, Oy, Oz kolejno odcinki, których stosunek do siebie oznaczamy przez $a:b:c$, otrzymuje wskaźniki (111) , według definicji: $h:k:l = \frac{a}{a'} : \frac{b}{b'} : \frac{c}{c'}$, gdyż tu $a' = a, b' = b, c' = c$, i dlatego nazywamy tę ścianę jednostkową. Płaszczyzny spółrzędne o równaniach: $x=O, y=O, z=O$ mają kolejno wskaźniki: $(100), (010), (001)$. Stosunek h, k, l wyrażamy zwykle stosunkiem trzech liczb całkowitych, mających jedność jako największy wspólny dzielnik (t. z. liczb „między sobą pierwszych”) i te dopiero liczby przyjmujemy za „wskaźniki”.

$$(2) \quad \frac{x}{a} h + \frac{y}{b} k + \frac{z}{c} l - f = 0,$$

gdzie h, k, l są liczbami wymiernymi (o których można założyć, że są całkowite), a liczba f nie podlega żadnemu ograniczeniu.

3. Z definicji powyższej pola krystalograficznego i nieistnienia żadnego ograniczenia liczby f w równaniu (2) wynika następująca własność tego pola. Jeśli pewna płaszczyzna należy do pola (jest ścianą pola), to każda do niej równoległa także należy do tego pola. Własności tej odpowiada wysnute z doświadczenia prawo, znane pod nazwą prawa stałości kątów, które możemy wypowiedzieć w sposób następujący.

Jeżeli pewien kryształ przetniemy płaszczyzną równoległą do którejkolwiek z jego ścian, to podzielimy go na części, z których każda odpowiada naturalnemu kryształowi rozważanej substancji. Przekroje równoległe do siebie niczem nie różnią się między sobą pod względem własności fizycznych (choć nie wynika z tego, aby obie strony płaszczyzn—lewa i prawa—zachowywały się tak samo). Jeżeli więc płaszczyzny pola krystalograficznego, wynikającego z wyżej omówionego prawa Haüyego, przedstawimy równaniem (2), to wartość liczby f jest w tych równaniach dla krystalografa obojętna, znaczenie zaś mają tylko liczby całkowite h, k, l , wraz z którymi zmieniają się w ogólnym przypadku i własności fizyczne odnośnych płaszczyzn kryształu, umieszczonego w rozważanym polu krystalograficznym. Liczby te — wskaźniki ścian — odgrywają dużą rolę w krystalografii.

§ 3. PRAWO PASOWE.

1. Rozważajmy nieograniczony ciąg układów płaszczyzn: $(u_1), (u_2), (u_3) \dots$ utworzony w sposób następujący. Układ (u_1) składa się z czterech płaszczyzn, przechodzących przez jeden punkt i równoległych do czterech takich ścian kryształu oznaczonej substancji s , których płaszczyzny zamykają czworościan rzeczywisty, — zresztą zaś wybranych dowolnie. Którykolwiek z następnych układów: (u_n) dla $n \geq 2$ wyprowadzamy z układu poprzedzającego (u_{n-1}) przez dołączenie do płaszczyzn układu (u_{n-1}) wszystkich płaszczyzn, przechodzących przez każde dwie proste, w któ-

rych przecinają się z sobą płaszczyzny, należące do układu (u_{n-1}) , o ile one już do rozważanego układu nie należą. Zbiór wszystkich płaszczyzn, tworzących układy: (u_1) , (u_2) , (u_3) ... nazywamy snopkiem krystalograficznym rozważanej substancji, wytworzonym przez zespół czterech płaszczyzn, tworzących układ (u_1) . Według prawa pasowego pole krystalograficzne każdej substancji s jest dane przez zespół ścian snopka krystalograficznego danej substancji i wszystkich ścian, do płaszczyzn tego snopka równoległych. Na oznaczenie zespołu wszystkich płaszczyzn wyżej określonego snopka krystalograficznego i płaszczyzn do nich równoległych używamy nazwy „pola pasowego“.

Hipoteza pasowa określa więc, że dla każdej substancji można dobrać pole pasowe, które będzie polem krystalograficznym danej substancji.

Na kryształach o większej liczbie ścian rzuca się niezwykle często w oczy zjawisko, że cały nieraz szereg ścian przecina się w krawędziach do siebie równoległych; o ścianach tych mówimy, że należą do jednego pasa. Ściany równoległe do innej krawędzi tworzą inny pas, i takich pasów ścian rozwija się na kryształach nieraz kilka. Według prawa pasowego każda płaszczyzna, należąca do dwóch pasów, t. j. równoległa do dwóch już istniejących krawędzi do siebie nie równoległych, jest płaszczyzną pola pasowego, oznaczonego przez dowolny układ czterech płaszczyzn normalnych (§ 1, 2, str. 23) kryształu.

2. Można wykazać, że, jeśli, wychodząc z czterech płaszczyzn tworzących układ normalny, przyjmiemy układ współrzędnych Kartezjusza i oznaczenia, użyte w ust. 2, § 2, str. 27, to jako ogólne równanie płaszczyzn pola pasowego otrzymamy równanie identyczne z równaniem (2) tego ustępu.

Pole pasowe, oznaczone przez jakiekolwiek cztery płaszczyzny, tworzące czworościan rzeczywisty, i pole, określone jako zbiór płaszczyzn, które posiadają wskaźniki wymierne w odniesieniu do tych czterech płaszczyzn, zlewają się z sobą i przedstawiają, według obu omówionych wyżej hipotez, pole krystalograficzne danej substancji.

Obie hipotezy są jedna z drugą logicznie jednoznaczne.

§ 4. PRAWO WYMIERNYCH STOSUNKÓW ANHARMONICZNYCH.

Prawo wymiernych wskaźników i prawo pasowe mają jeszcze inny wyraz, równoważny im zupełnie, wypowiadany pod nazwą hipotezy wymiernych stosunków anharmonicznych. Żeby tę hipotezę sformułować, rozważajmy układ (u_1) czterech płaszczyzn $(P_1), (P_2), (P_3), (P_4)$, przechodzących przez jeden punkt O i równoległych do czterech takich ścian kryształu substancji s , których płaszczyzny tworzą czworościan rzeczywisty. Do płaszczyzn tych dołączmy zbiór (Z) płaszczyzn, przechodzących przez punkt O i spełniających warunek następujący: każda płaszczyzna (P_n) zbioru Z przecina płaszczyzny układu (u_1) w ten sposób, że którakolwiek z płaszczyzn $(P_1), (P_2), (P_3), (P_4)$ i (P_n) przecina się z czterema pozostałymi w czterech prostych, których stosunek anharmoniczny jest wymierny.

Płaszczyzny układu (u_1) i płaszczyzny zbioru (Z) tworzą razem snopek krystalograficzny substancji s , a hipoteza rozważana wyraża, że pole krystalograficzne substancji s jest dane przez snopek krystalograficzny tej substancji i przez zbiór wszystkich płaszczyzn, równoległych do płaszczyzn tego snopka.

Omawiana obecnie forma zasadniczego prawa krystalografii ma znaczenie dla t. zw. rachunku krystalograficznego, zwłaszcza, gdy idzie o obliczanie wskaźników ścian występujących wraz z trzema innymi w jednym pasie, lub kątów przez nie z temi ścianami zawartych.

Mamy tu twierdzenia: stosunek anharmoniczny czterech ścian snopka krystalograficznego, przecinających się w jednej krawędzi tego snopka (t. j. należących do jednego pasa), ma wartość wymierną; stosunek anharmoniczny czterech krawędzi snopka krystalograficznego, leżących w jednej płaszczyźnie, jest wymierny.

§ 5. PRAWO WYMIERNYCH STOSUNKÓW ODCINKÓW.
(DRUGA POSTAĆ PRAWA HAÜYEGO).

Jest to hipoteza, którą wypowiadamy zwykle w sposób podany w ustępie 1, § 2, str. 25, z tą tylko różnicą, że, przy zachowaniu oznaczeń tam użytych, każdy ze stosunków $\frac{a}{a'}, \frac{b}{b'}, \frac{c}{c'}$

jest wymierny. Nie zatrzymując się nad poprawnem wypowiedzeniem tej hipotezy, zaznaczymy tylko, że wielu autorów uważa ją błędnie za równoznaczną z hipotezą pierwszą, skąd wynika cały szereg nieporozumień. Podczas gdy pierwsza hipoteza, t. j. prawo wymiernych wskaźników w najpierw podanej postaci jest równoważna hipotezie pasowej, to druga postać tego prawa jest równoważna hipotezie, którą nazywamy kolineacyjną¹⁾, a którą poniżej wypowiadamy.

§ 6. HIPOTEZA KOLINEACYJNA.

Rozważajmy czworościan rzeczywisty, którego cztery płaszczyzny nazwiemy układem (u_1) . Tworzymy teraz nieograniczony ciąg układów płaszczyzn: (u_1) , (u_2) , (u_3) według tej zasady, że z układu u_{n-1} przechodzimy do układu (u_n) w przypadku $n \geq 2$, dołączając do układu płaszczyzn (u_{n-1}) każdą płaszczyznę, do tego układu jeszcze nie należącą, która spełnia jeden z warunków niżej wymienionych: 1) płaszczyzna ta przechodzi przez trzy wierzchołki (por. § 1, 3, str. 23) układu (u_{n-1}) , nie leżące na jednej prostej, albo też 2) przez dwa wierzchołki układu (u_{n-1}) i zawiera prostą równoległą do jednej z krawędzi tego układu, która jednakowoż nie jest równoległa do krawędzi, oznaczonej przez wspomniane dwa wierzchołki, lub wreszcie 3) płaszczyzna ta przechodzi przez jeden wierzchołek układu (u_{n-1}) i zawiera proste, równoległe do dwóch nierównoległych do siebie krawędzi tego układu.

Zbiór wszystkich płaszczyzn, należących do któregośkolwiek z powyższych układów, nazywamy polem kolineacyjnem, wytworzonem przez czworościan (u_1) , który nazywamy czworościanem twórczym pola kolineacyjnego. Hipotezę kolineacyjną wypowiadamy, korzystając z powyższych umów, w słowach następujących: każdej substancji krystalicznej s odpowiada pewne pole kolineacyjne, które zlewa się z polem krystalograficznem (p. § 1, 3, str. 23) danej substancji.

¹⁾ p. S. Zaremba et S. Kreutz: Sur les fondements de la Cristallographie géométrique, Bull. de l'Acad. d. Sciences de Cracovie. 1919, p. 258.

§ 7. ANALITYCZNY SPOSÓB WYRAŻANIA HIPOTEZ

1), 2), 3) i 5).

Stosunek drugiej postaci prawa wymiernych wskaźników i hipotezy kolineacyjnej do pierwszej postaci i do prawa pasowego uwidoczniemy najłatwiej, formułując te hipotezy w sposób analityczny, pozwalający na bezpośrednie porównanie.

Rozważajmy czworościan rzeczywisty, utworzony przez cztery płaszczyzny (P_1) , (P_2) , (P_3) , (P_4) , zlewające się z czterema ścianami kryształu. Jeżeli trzy ze ścian tego czworościanu przyjmiemy za płaszczyzny współrzędne, to równanie czwartej ściany może być przedstawione w odniesieniu do powyższego układu współrzędnych równaniem typu:

$$(1) \quad \frac{x}{a} + \frac{y}{b} + \frac{z}{c} - 1 = 0$$

Według hipotezy kolineacyjnej (i 2-ej postaci prawa Haüyego) do pola krystalograficznego rozważanej substancji należą wszystkie te płaszczyzny, (ale tylko te), które mogą być przedstawione w odniesieniu do powyższego układu współrzędnych przez równanie typu:

$$(2) \quad \frac{x}{a} h + \frac{y}{b} k + \frac{z}{c} l - f = 0,$$

gdzie h, k, l są liczby całkowite, a liczba f jest jakąkolwiek liczbą wymierną.

Powyższe równanie możnaby uważać za ogólne równanie pola pasowego danej substancji oraz pola krystalograficznego, oznaczonego przez pierwszą formą prawa Haüyego, tylko w tym przypadku, gdybyśmy przez h, k, l rozumieli i nadal liczby całkowite, przez liczbę f jednak jakąkolwiek liczbę, nie tylko wymierną, lecz także niewymierną.

Zwróciliśmy tu umyślnie szczegółowiej uwagę na różnicę między obu powyższymi hipotezami, gdyż czytelnik znajdzie w literaturze wyraz arytmetyczny zasadniczego prawa wymierności, podawany to w pierwszej formie, to znów w drugiej, a sami autorowie zdają się nie dostrzegać istotnej między obu temi formami różnicy.

§ 8. HIPOTEZA SIECI PRZESTRZENNEJ.

1. Za podstawę krystalografii geometrycznej przyjmujemy też często hipotezę sieci przestrzennej, lub krócej, hipotezę sieciową (retykularną), która wprowadza do rozważań utwór geometryczny, uważany za obraz geometryczny ustroju kryształów. Siecią przestrzenną nazywamy zbiór wszystkich punktów, z których każdy może być oznaczony w odniesieniu do danego układu współrzędnych, jako punkt o współrzędnych następującej postaci:

$$x = a m$$

$$y = b n$$

$$z = c p ,$$

gdzie a , b , c są to liczby stałe, charakteryzujące w łączności z danym układem współrzędnych całą sieć, a liczby m , n , p są to jakiekolwiek liczby całkowite.

Utwór tak zdefiniowany możemy sobie łatwo wyobrazić, gdyż punkty sieci przestrzennej leżą jak wierzchołki równych sobie i do siebie równoległych równoległościanów, wypełniających przestrzeń ściśle i nie zachodzących na siebie. Utwór taki jest według definicji, pod względem rozciągłości, nieograniczony w żadnym kierunku przestrzeni.

Punkty sieci przestrzennej nazywamy punktami węzłowymi. Wyrażenie: „płaszczyzna sieciowa“ oznacza płaszczyznę przechodzącą przez trzy węzły sieci, nie leżące na jednej prostej.

Hipoteza sieciowa brzmi, jak następuje. Dla każdej substancji krystalicznej s można dobrać taką sieć przestrzenną, żeby zbiór jej płaszczyzn sieciowych stanowił pole krystalograficzne (§ 1, 3, str. 23) tej substancji.

Równoległościany utworzone w danej sieci przestrzennej w ten sposób, że punkty węzłowe sieci znajdują się tylko w ich wierzchołkach, a prócz nich niema podobnych punktów we wnętrzu, na ścianach i krawędziach równoległościanów, nazywamy równoległościanami elementarnymi danej sieci.

Trzy krawędzie, przecinające się w jednym punkcie O takiego dowolnie wybranego równoległościanu elementarnego danej sieci, oznaczają w zupełności sieć przestrzenną. Krawędzie te przyjmujemy za układ osi współrzędnych, a długości tych krawędzi: a ,

b, *c* dają najmniejsze odległości sąsiednich punktów, położonych wzdłuż prostych, równoległych kolejno do rozważanych osi.

Można dowieść, że w nieograniczonej sieci przestrzennej objętość równoległościanów elementarnych, jakkolwiek byłyby one utworzone, jest stałą dla danej sieci.

Każdą płaszczyznę sieciową można podzielić na równe sobie i do siebie równoległe równoległoboki, całkowicie pokrywające tę płaszczyznę i nie zachodzące na siebie, które zawierają punkty węzłowe tylko w swych wierzchołkach, a których powierzchnie i boki nie są punktami węzłowymi obsadzone. Równoległoboki te nazywamy równoległobokami elementarnymi; można je w rozmaity sposób utworzyć, ale wszystkie one mają dla danej płaszczyzny pewnej sieci przestrzennej powierzchnię stałą.

Własność powyższa: stałość objętości równoległościanów elementarnych danej sieci i równość powierzchni wszystkich elementarnych równoległoboków każdej oznaczonej płaszczyzny sieciowej w rozważanej sieci przestrzennej — ma znaczenie zwłaszcza w różnych teoriach fizycznych ustroju kryształów. Wiąże się z tem bezpośrednio własność sieci, że odstęp sąsiednich płaszczyzn sieciowych do siebie równoległych jest tem większy w danej sieci, im mniejsza powierzchnia równoległoboku elementarnego danej płaszczyzny, t. zn. im większa ilość punktów węzłowych w jednostce powierzchni tej płaszczyzny. Mówimy, że odległość sąsiednich równoległych płaszczyzn retikularnych danej sieci przestrzennej jest odwrotnie proporcjonalna do gęstości retikularnej tej płaszczyzny.

2. Hipoteza sieci przestrzennej przedstawia się według powyższej definicji, jako hipoteza ściśle geometryczna, normująca rozmieszczenie płaszczyzn pola krystalograficznego substancji krystalicznych; regulując jedynie wzajemne położenie płaszczyzn ograniczających kryształ, nie jest ona związana z żadnem wyobrażeniem o wewnętrznej budowie kryształu i jest niezależna od wyobrażeń atomistycznych. Jest jednak rzeczą oczywistą, że bardzo łatwo ją powiązać z hipotezą o budowie ośrodka substancji krystalicznych, uważając nie tylko zewnętrzne płaszczyzny i krawędzie kryształu za płaszczyzny i proste sieciowe, lecz nadając i innym płaszczyznom danej sieci w kryształach pewne znaczenie

fizyczne. Stąd też nazwano tę hipotezę także fizycznym wyrazem zasadniczego prawa krystalografii.

Ograniczając się na razie do teorii geometrycznej, zaznaczymy tutaj, że teoria sieciowa nie jest identyczna z żadną z wyżej wymienionych hipotez, przyjmowanych za podstawowe. Istotną różnicę między hipotezą sieci przestrzennej a poprzednimi poznamy najłatwiej, zwracając uwagę na ogólne równanie płaszczyzn sieciowych, odniesione do trzech krawędzi sieci przestrzennej, jako osi współrzędnych i wyrażone w formie dopuszczającej bezpośrednie porównanie z równaniami płaszczyzn, należących do pól krystalograficznych, oznaczonych przez prawo pasowe i hipotezę kolineacyjną. Przyjmując tedy trzy płaszczyzny sieciowe jako płaszczyzny współrzędne, możemy wyrazić analitycznie każdą płaszczyznę pola krystalograficznego oznaczonego hipotezą sieciową równaniem:

$$\frac{x}{a} h + \frac{y}{b} k + \frac{z}{c} l - f = 0,$$

gdzie a, b, c są to pewne stałe, liczby h, k, l są to liczby całkowite „między sobą pierwsze“, a liczba f jest zawsze liczbą całkowitą.

Jakkolwiek zatem wszystkie ściany kryształu otrzymują według hipotezy sieciowej wskaźniki h, k, l wymierne, to jednak podlegają one według tej ostatniej i dalszym ograniczeniom.

§ 9. STOSUNEK WZAJEMNY OMÓWIONYCH HIPOTEZ.

Z porównania ogólnego wyrażenia na równanie płaszczyzn pola krystalograficznego, oznaczonego przez przytoczone wyżej hipotezy 1)—5) (patrz str. 22 i następne) widzimy, że rozróżniamy tu trzy logicznie odmienne hipotezy; stosunek między nimi jest następujący.

Najmniej ograniczone założeniami jest pole krystalograficzne pasowe, gdyż w równaniu ogólnem płaszczyzny wyraz wolny f jest zupełnie dowolny; jeśli z pola krystalograficznego pasowego pozostawimy tylko te płaszczyzny, w których równaniu liczba f jest wymierna, to otrzymamy pole kolineacyjne, a najbardziej szczególne jest pole sieciowe, obejmujące tylko te płaszczyzny, w których równaniu liczba f jest liczbą całkowitą.

Jeśli zatem uważać będziemy za słuszną hipotezę sieciową, to w następstwie logicznem musimy uznać słuszość hipotezy kolineacyjnej i pasowej. Jeśli zaś za podstawę przyjmiemy hipotezę kolineacyjną, to w następstwie logicznem będziemy musieli uznać hipotezę pasową za słuszną, nie możemy jednak wysnuwać z założeń uczynionych hipotezy retikularnej. Co się zaś tyczy hipotezy pasowej, to ze słuszości tej hipotezy nie można bynajmniej wnosić o słuszości którejkolwiek z pozostałych dwu hipotez.

§ 10. STOSUNEK SPOSTRZEŻENIA I DOŚWIADCZENIA DO HIPOTEZ PRZYJ- MOWANYCH ZA PODSTAWĘ KRYSTALOGRAFII GEOMETRYCZNEJ.

1. Ponieważ ze względu na związki, zachodzące między różnemi hipotezami, przyjmowanemi za podstawę krystalografii geometrycznej, żadna z nich nie dałaby się utrzymać, gdyby hipoteza pasowa upadła, przeto omówimy najpierw sprawę zgodności tej hipotezy z zasobem faktów stwierdzonych w nauce.

Musimy tu zauważyć, że rzadkie są przypadki, w których jakakolwiek hipoteza fizyczna może być udowodniona ¹⁾. Aby pewna hipoteza utrzymywała się w nauce, wystarcza zwykle, jeśli koordynuje ona fakty w sposób stosunkowo prosty, a żadne doświadczenie jej nie zaprzecza.

W szczególności hipoteza pasowa odznacza się tem, że nie może być przez doświadczenie ani udowodniona, ani też obalona. Wykażemy najpierw słuszość tego twierdzenia, a następnie dopiero wyjaśnimy, dlaczego przyjęto ją w nauce i w jaki sposób dane doświadczalne czynią przyjęcie tej hipotezy rzeczą potrzebną.

Rozważajmy pole pasowe pewnej substancji s i jakkolwiek zupełnie dowolnie wybrany wielościan (w) w dowolnem, ale oznaczonem położeniu w przestrzeni. Niech ε oznacza pewną, dowolnie małą, wartość kątową naprzód daną, podlegającą tylko temu ograniczeniu, że jest ona większa od zera. Oznaczmy teraz na każdej ścianie wielościanu (w) po jednym punkcie; przez każdy z tych punktów można będzie zawsze poprowadzić taką płaszczyznę, należącą do rozważanego pola pasowego substancji s , że kąt, utworzony

¹⁾ Por. uwagi następujące z poglądami E. Fiodorowa i artykułem prof. St. Zaremby (Scientia, 1921).

między tą płaszczyzną a ścianą wielościanu (w), posiadającą, według konstrukcji, z rozważaną teraz płaszczyzną punkt wspólny, będzie mniejszy od ϵ . Poprowadzone w ten sposób płaszczyzny pola pasowego utworzą pewien wielościan (w'), posiadający tę własność, iż tylko w tym przypadku możnaby stwierdzić, że ściany wielościanu (w) nie zlewają się ze ścianami wielościanu (w'), gdybyśmy posiadali możliwość mierzenia kątów mniejszych od ϵ . Przyjawszy na ϵ wartość dostatecznie małą, możemy osiągnąć niemożność wykazania, że dany wielościan (w) nie zlewa się z wielościanem (w'), a to z tej przyczyny, że najlepsze nawet przyrządy pozwalają na oznaczenie mierzonych elementów jedynie z błędem, nie przekraczającym pewnej granicy. Jeżeli więc ϵ będzie dostatecznie małe, to różnice między obu wielościanami będą mniejsze od granicy błędu pomiarów, a błąd taki, choćby niezmiernie mały, zawsze jest dopuszczalny.

2. Wobec powyższego mógłby ktoś sądzić, że hipoteza pasowa jest pozbawiona znaczenia naukowego. Okazuje się jednak, że tak nie jest. Doświadczenie poucza mianowicie, że w znacznej większości przypadków można tak dobrać cztery płaszczyzny kryształu, tworzące czworościan rzeczywisty, że wyprowadzając w sposób wskazany przez prawo pasowe kolejno układy: (u_1) , (u_2) , (u_3) (u_n) , otrzymamy już dla niewielkiej wartości liczby n płaszczyzny równoległe do wszystkich ścian, występujących na kryształach.

Stwierdzamy wobec tego, że hipoteza pasowa nadaje się do uwidocznienia związków, które zachodzą między ścianami kryształu, i w tem jest jej wartość naukowa. Dzięki tej szczególnej własności, że liczba n ma granicę górną i to zwykle niewysoką (zazwyczaj bywa ona niższą od 6-ciu, a nawet 4-ch), czyli, jak się wyrażamy, dzięki temu, że dedukcja pasowa może być krótka, samo spostrzeżenie naprowadziło Chr. S. Weissa na myśl sformułowania prawa pasowego. Spostrzeżenia Chr. S. Weissa, dotyczące występowania takich dalszych ścian kryształu, że należą one do dwu już istniejących na kryształach pasów ścian, były dokonane przedewszystkiem na naturalnych kryształach skalenia potasowego.

Tak samo jak prawo pasowe, można sprawdzać, w znaczeniu

analogicznem do wyżej przedstawionego, zgodność wyrazu arytmetycznego tego prawa — prawa wymierności wskaźników — ze stosunkami dostrzeganymi w przyrodzie, dzięki dodatkowemu ograniczeniu tego prawa, które to ograniczenie nasuwa się bezpośrednio ze spostrzeżeń. Wartość stosunków $\frac{a}{a'} : \frac{b}{b'} : \frac{c}{c'} = h : k : l$

można wyrazić bezpośrednio jako stosunki dostaw pewnych kątów, których wartości otrzymuje się drogą prostego obliczenia z pomiarów kątów ściennych kryształu. Kąty te możemy mierzyć z dokładnością, dopuszczającą niekiedy tylko błędy, nieprzekraczające kilku sekund.

Otóż doświadczenie poucza, że można zazwyczaj z pomiędzy ścian kryształu tak wybrać płaszczyzny spółrzedne oraz czwartą ścianę, której płaszczyzna przecina wszystkie trzy osie spółrzednych w odległościach od początku układu oznaczonych stosunkiem $a : b : c$ ¹⁾, że wszystkie istotnie występujące ściany kryształów danej substancji s mają wskaźniki, których stosunki bardzo się zbliżają do stosunku trzech prostych liczb szeregu naturalnego. W fakcie, że ściany te można wyrazić, w odniesieniu do celowo w pewien sposób wybranego układu normalnego ścian kryształu, w zgodzie z pomiarami nie tylko zapomocą wskaźników wymiennych, ale zapomocą liczb całkowitych prostych, tkwi naukowa wartość i uzasadnienie hipotezy, przyjmowanej za podstawową. Fakt ten jest arytmetycznym odpowiednikiem krótkości dedukcji pasowej.

Wyżej przedstawione prawo, sugerowane bezpośrednio przez doświadczenie i obserwację, uzupełnia i ogranicza tedy ogólne prawo wskaźników wymiennych twierdzeniem, że z pomiędzy nieograniczonej ilości płaszczyzn o wskaźnikach wymiennych tylko te płaszczyzny rozwijają się jako ściany kryształu, których wskaźniki są proste. Modyfikujemy to prawo dalej, uwzględniając częstość występowania różnych ścian kryształu i twierdzimy:

z pomiędzy ścian kryształów substancji s można zwykle

¹⁾ Ściana ta otrzymuje wskaźniki (111); dla jakiejś innej ściany otrzymamy z pomiarów inne wskaźniki np.: (1,05 : 1,06 : 2,03), które upraszczamy zwykle do formy (112).

tak dobrać układ płaszczyzn spólrzędnych i płaszczyznę jednostkową, że najważniejsze (t. j. największe lub najczęściej występujące ściany) otrzymują w odniesieniu do tego układu wskaźniki proste, a im mniejsze znaczenie ma pewna płaszczyzna, tem z wyższych liczb szeregu naturalnego złożone są jej wskaźniki.

Podczas gdy prawo wymiernych wskaźników w swej ogólnej formie jest niezależne od wyboru płaszczyzn spólrzędnych i ściany jednostkowej,— byleby to były ściany kryształu tworzące układ normalny,— to słusność uzupełniającego tę hipotezę wyżej wypowiedzianego prawa uwidocznia się dopiero przy wyborze celowym czworościanu zasadniczego, na którego płaszczyzny należy wybrać ściany najczęstsze lub najważniejsze z innych względów (ze względu na własności fizyczne kryształu, jak np. łupliwość i t. d.).

3. Przyjęcie prawa pasowego pożądanę jest dalej ze względu na stosunki symetrii w kryształach. Zjawiska symetrii bywają często okazywane przez kryształy i są łatwo dostrzegalne. Obserwacja poucza, że zjawiska te są w granicach błędu spostrzeżenia takie, jakimi by być musiały, gdyby prawo pasowe było ściśle słuszne. Na podstawie tego spostrzeżenia wypowiadamy t. zw. prawo symetrii. Doświadczenie poucza, że kryształy nie wykazują żadnych innych zjawisk symetrii, jak tylko dopuszczane przez prawo pasowe.

4. Z uwag powyższych wypływa, że ostateczne rozstrzygnięcie pytania, czy prawo pasowe w swej formie ogólnej jest słuszne, czy nie, jest zagadnieniem nierozwiązalnem zapomocą bezpośrednich pomiarów, a przyjęcie tego prawa pożądanę jest z tego powodu, że pozwala ono w sposób prosty i przejrzysty uzgodnić znaczną ilość znanych nam z doświadczenia faktów i nie staje w sprzeczności z jakimkolwiek spostrzeżeniem.¹⁾

5. Przechodząc do hipotezy kolineacyjnej możemy stwierdzić, że pozwala ona na skoordynowanie wszystkich znanych nam faktów, które wiąże hipoteza pasowa, a prócz tego usuwa pewne zjawisko, znane pod nazwą „osi niewymiernych“, nie-

¹⁾ Nie chcemy tu jednakowoż przemilczeć istnienia t. zw. ścian wicynalnych, któremi się tu zajmować nie możemy (porównaj liczne rozprawy, referowane w Zeitschr. für Krystallographie).

znane w przyrodzie, a nie sprzeczne z hipotezą pasową. Własność tę posiada także hipoteza sieciowa, i dlatego też przypisujemy często ostatniej wyższość nad hipotezą pasową. Wobec ważności zagadnienia poświęcimy temu zjawisku kilka uwag.

6. Uważamy zwykle za własność kryształów poznaną przez spostrzeżenie własność następującą:

jeśli kryształ normalny, umieszczony w swem polu krystalograficznem, posiada pewną oś symetrii¹⁾, to oś ta zlewa się zawsze z jedną z krawędzi tego pola.

Rozważanie własności symetrii pól krystalograficznych wyznaczonych przez prawo pasowe wykazuje, że zjawisko to niekoniecznie musi zachodzić, i że są tu możliwe t. zw. osie niewymierne, które nie zlewają się z żadną krawędzią pola krystalograficznego. W polu krystalograficznem, oznaczonem przez hipotezę kolineacyjną lub sieciową, każda oś symetrii takiego wielościanu musi zlewać się z osią symetrii pola krystalograficznego.

Zdawałoby się zatem, że wspomniane wyżej spostrzeżenie, w związku z omawianą różnicą pól krystalograficznych, przypisywanych pewnej substancji przez różne hipotezy, przemawia za zastąpieniem hipotezy pasowej przez którąkolwiek z dwu pozostałych. W rzeczywistości jednak badania symetrii geometrycznej kryształów bywają zwykle wykonywane nie na samych kryształach, lecz na utworach, które nazywamy obrazami sferycznymi kryształów (czy też wielościanów), a które konstruujemy w sposób następujący: z jednego punktu, położonego wewnątrz kryształu (wielościanu), kreślimy do każdej z płaszczyzn, tworzących ściany kryształu, proste prostopadłe. Jeśli dookoła tego punktu zatoczmy kulę o dowolnym promieniu, to każda z tych prostych odpowiednio przedłużona przetnie powierzchnię kuli w jednym punkcie. Każdej ze ścian jest teraz podporządkowany jeden punkt na kuli, a zbiór tych wszystkich punktów tworzy „obraz sferyczny” kryształu.

¹⁾ Ośią symetrii figury (F) nazywamy prostą, dookoła której obrót wykonany o kąt α odmienny od 2π (i całkowitej wielokrotności 2π), dowolnie wiele razy i w dowolnym kierunku, przekształca tę figurę (F) w siebie samą. (Patrz „Krystalografia fizyczna” § 11).

Studjowanie stosunków symetrii takiego utworu jest jednoznaczne ze studjowaniem wielościanu o ścianach równoległych do ścian wielościanu, którego obraz sferyczny rozpatrujemy, którego jednak każda ze ścian jest styczną do kuli w punkcie, podporządkowanym danej ścianie. Kąty ścienne kryształu zostają zatem zachowane, zmieniają się tylko odległości ścian od pewnego punktu stałego (odległości centralne).

Wynik wyżej wypowiedzianej obserwacji możemy tedy przedstawić poprawniej w zdaniu następującem: jeśli obraz sferyczny kryształu normalnego substancji *s*, umieszczonego w polu krystalograficznym tej substancji, wykazuje pewną oś symetrii, to oś ta zlewa się z pewną krawędzią pola krystalograficznego, albo też jest do niej równoległa. W stosunku do tak wypowiedzianego wyniku doświadczenia hipotezy kolineacyjna i sieciowa nie okazują wyższości nad hipotezą pasową.

Rozważanie własności pól krystalograficznych danych przez hipotezę kolineacyjną i sieciową wykazuje bowiem, że istnieją wielościany wypukłe i normalne, umieszczone w polu oznaczonym przez jedną lub drugą z tych hipotez, których obraz sferyczny posiada oś symetrii nie zlewającą się ani też nie równoległą do krawędzi pola krystalograficznego. Hipotezy kolineacyjna i sieciowa, pojęta jako hipoteza czysto geometryczna i oznaczająca położenie płaszczyzn ograniczających kryształ, nie dają tu zatem większej, niż hipoteza pasowa, zgodności z wynikami doświadczenia. Jeśli idzie o własności geometryczne kryształów, dające się stwierdzić i oznaczyć przez pomiary kątów kryształu, to wystarcza przyjąć za podstawę hipotezę pasową z dodatkowem założeniem, że pola pasowe oznaczone przez snopki o osiach symetrii niewymiernych są wyłączone jako pola krystalograficzne.

7. Uwagi powyższe odnoszą się tylko do geometrycznych własności kryształów. Z punktu widzenia fizycznego okazała się bardziej ograniczona hipoteza sieciowa nadzwyczajnie ważną i płodną i dziś jest ogólnie przyjęta. Pozwala ona skoordynować wyniki badań różnych własności fizycznych i daje obraz ustroju wewnętrznego substancyj krystalicznych. Bliższe wiadomości o najnowszych badaniach na tem polu znajdzie czytelnik w „Krystalografii fizycznej“ § 13, 4.

Prawo prostoty wskaźników uległo w hipotezie sieciowej rozszerzeniu i formułuje się tak: płaszczyzny pola sieciowego mają tem większe znaczenie jako ściany kryształu, im większa jest ich gęstość retykularna.

Zwrócimy uwagę na to, że prawie zawsze tak można wybrać w polu sieciowym układ współrzędnych i czwartą płaszczyznę jednostkową, że płaszczyzny o wskaźnikach złożonych z liczb coraz to wyższych, mają coraz to większą gęstość retykularną; ponadto jednak płaszczyzny o różnem znaczeniu o wskaźnikach, złożonych z tych samych liczb, tylko w innym porządku lub o innym znaku, mają naogół gęstość od siebie odmienną.

Zauważymy wreszcie, że własność pola krystalograficznego danej substancji krystalicznej, oznaczonego przez hipotezę sieciową i kolineacyjną, opiewająca, że nie każda płaszczyzna równoległa do którejkolwiek z płaszczyzn sieciowych (czy pola kolineacyjnego) jest płaszczyzną pola krystalograficznego tej substancji, nie jest sprzeczna ze stałe obserwowanem jednakowem zachowaniem się wszystkich do siebie równoległych przekrojów kryształu. Zawsze bowiem będzie można tak dobrać odległości sąsiednich warstw sieciowych, by do każdego przekroju przez sieć, nie będącego płaszczyzną sieciową, leżała równoległa do tegoż przekroju płaszczyzna sieciowa w dostatecznie małej odległości, by żadne pozostające do dyspozycji środki nie pozwoliły na odróżnienie jej od rozważanego przekroju.

§ 11. O SYMETRII KRYSZTAŁÓW. GRUPY KRYSTALOGRAFICZNE.

1. Pojęcie symetrii wiąże się ściśle z pojęciem przekształcenia i musimy niniejszy rozdział zacząć od uwag odnoszących się do tego pojęcia. Nie zajmując się ogólną definicją przekształcenia przedmiotu danej klasy, stwierdzamy, że punktowem przekształceniem przestrzeni nazywamy przyporządkowanie każdemu punktowi A przestrzeni drugiego punktu A' według pewnego oznaczonego prawa. Punkt A' , przyporządkowany punktowi A , nazywa się wynikiem przekształcenia punktu A przez rozważane przekształcenie T . Wyrażenie „przekształcenie“ używa się w powyższem znaczeniu dlatego, że z istnieniem odpowiednio-

ści, którą nazwaliśmy „przekształceniem punktu A w punkt A' “, można skojarzyć pojęcie przemieszczenia punktu ruchomego M z położenia A w położenie A' .

Parę przykładów wyjaśni pojęcie przekształcenia.

Przykład pierwszy. Rozważamy¹⁾ pewien odcinek $\overline{OM}$ i umówmy się, że do dowolnie wybranego punktu A ma być przyporządkowany taki punkt A' , by odcinek $\overline{AA'}$ miał ten sam kierunek i tę samą długość, co odcinek $\overline{OM}$. Jeśli punkt A będzie dany, to punkt A' będzie w tych warunkach oznaczony w zupełności. Powyższa umowa określi nam pewne przekształcenie punktowe przestrzeni, które nazywamy translacją.

Przykład drugi. Obierzmy pewien punkt O przestrzeni i przyporządkujmy każdemu punktowi A , odmiennemu od punktu O , taki punkt A' , żeby środek odcinka AA' zlewał się z punktem O ; za punkt przyporządkowany punktowi O uważać będziemy sam punkt O . Powyższa umowa określi pewne przekształcenie punktowe przestrzeni. Przekształcenie to nazywa się symetrią względem punktu O .

Przykład trzeci. Umawiamy się, że każdemu punktowi A przyporządkowujemy taki punkt A' , żeby odcinek AA' był prostopadły do pewnej oznaczonej płaszczyzny (P) i żeby środek odcinka AA' leżał w tej płaszczyźnie, przytem za punkt przyporządkowany jakiegokolwiek punktowi rozważanej płaszczyzny (P) uważamy sam ten punkt. Przekształcenie oznaczone powyższą umową nazywamy symetrią względem płaszczyzny (P).

We wszystkich trzech wyżej podanych przypadkach dowolnie wybranemu punktowi B' odpowiada jeden taki punkt B , że punkt B' jest wynikiem przekształcenia punktu B przez rozważane przekształcenie. Jeżeli jakiegokolwiek przekształcenie punktowe przestrzeni posiada powyższą własność, to mówimy, że przekształcenie to jest jednoznacznie odwracalne.

Jeśli jakiegokolwiek przekształcenie punktowe T jest jednoznacznie odwracalne, to pojęcie takiego przekształcenia prowadzi do

¹⁾ Czynności tu i poniżej opisane można unaoczniać sobie rysunkiem, wykonywając wskazane czynności w odniesieniu do konkretnie wybranych punktów.

określenia nowego przekształcenia punktowego T' , oznaczonego przez to, że za wynik przekształcenia pewnego punktu B przez przekształcenie T' uważać będziemy taki punkt B' , by punkt B był wynikiem przekształcenia punktu B' przez przekształcenie T . Przekształcenie T' , które będzie także jednoznacznie odwracalne, zowie się przekształceniem odwrotnym względem przekształcenia T . Zauważymy, że przekształceniem odwrotnym względem przekształcenia T' jest samo przekształcenie T .

Zaznamy tutaj, że w dalszym ciągu tego artykułu wyrażenia „przekształcenie“ używać będziemy na oznaczenie przekształceń przestrzeni punktowych jednoznacznie odwracalnych.

W kryształografii rozważamy tylko przekształcenia zachowujące odległości czyli izometryczne. Są to przekształcenia takie, że którakolwiek parę punktów A i B wzięlibyśmy pod uwagę, to odległość $\overline{AB}$ tych punktów równać się będzie odległości $\overline{A'B'}$ punktów A' i B' , z których pierwszy jest wynikiem przekształcenia punktu A , a drugi—punktu B przez rozważane przekształcenie. Każde przekształcenie izometryczne jest jednoznacznie odwracalne.

Każda figura (F) może być uważana za pewien zbiór punktów. Wobec tego nazywamy wynikiem przekształcenia figury (F) przez przekształcenie T figurę (F'), będącą zbiorem wszystkich punktów, z których każdy jest wynikiem przekształcenia jednego z punktów figury (F) przez dane przekształcenie T .

2. Ważną rolę odgrywa w nauce o symetrii pojęcie iloczynu przekształceń, które definiujemy w sposób następujący. Rozważajmy pewien układ przekształceń, zawierający między innymi przekształcenie P_1 , przeprowadzające punkt A w punkt A' i przekształcenie P_2 , przekształcające punkt A' w punkt A'' . Przy pomocy tych dwóch przekształceń, wykonanych w podanym porządku, możemy określić nowe przekształcenie Q , które przekształca punkt A w punkt A'' , i wyrażamy związek, zachodzący między temi trzema przekształceniami, symbolem następującym:

$$Q = P_1 \cdot P_2.$$

Mówimy: przekształcenie Q jest iloczynem przekształcenia P_1 przez przekształcenie P_2 ; przekształcenia P_1 i P_2 nazywamy czynnikami iloczynu.

Należy przytem zaznaczyć, że przekształcenie wypadkowe, t. j. iloczyn przekształceń, zależy od porządku, w którym czynniki tego iloczynu po sobie następują, t. j. niema tu na ogół przemienności.

Z iloczynem liczb ma natomiast iloczyn przekształceń wspólne własności następujące:

1) dowolną liczbę po sobie następujących czynników pewnego iloczynu (I) przekształceń można zastąpić przez ich iloczyn, a przekształcenie wypadkowe nie ulegnie zmianie;

2) dowolny czynnik iloczynu (I) przekształceń można zastąpić przez równy mu iloczyn przekształceń bez wpływu na przekształcenie wypadkowe.

Przekształcenie, w którem każdy punkt figury przekształca się w ten sam punkt, nazywamy przekształceniem tożsamościowym albo identycznością, oznaczając je czasem zapomocą liczby 1. Iloczyn dwu przekształceń względem siebie odwrotnych jest zawsze identycznością. Identyczność uważamy także za przekształcenie, aby módz wypowiedzieć twierdzenie ogólne, że iloczyn dwu przekształceń jest zawsze także przekształceniem.

Pojęcie iloczynu przekształceń prowadzi do pojęcia potęgi przekształceń. Aby wyrazić symbolicznie, że dwa symbole P i Q przedstawiają jedno i to samo przekształcenie, piszemy: $P=Q$.

Umawiamy się, że:

- 1) symbol P^0 oznacza przekształcenie tożsamościowe;
- 2) dla każdej wartości całkowitej i dodatniej n zachodzi:

$$P^n = P^{n-1} \cdot P$$

$$\text{oraz: } P^n \cdot P^{-n} = P^0$$

W tych warunkach mamy:

$$P^0 = 1$$

$$P^1 = P$$

$$P^m \cdot P^p \cdot P^q = P^{m+p+q},$$

gdzie liczby m, p, q są to liczby całkowite;

$$\text{oraz: } (P^m)^p = P^{mp}$$

3. Z pośród przekształceń wydzielimy przedewszystkiem przekształcenia, które oznaczamy nazwą **przemieszczeń**.

Zwróćmy w tym celu uwagę na dwa układy współrzędnych (X, Y, Z) i (X', Y', Z') , które mogą być uważane za dwa położenia tego samego sztywnego układu (U, V, W) ; w jednym położeniu osie (U, V, W) zlewają się z układem (X, Y, Z) , w drugim — z układem (X', Y', Z') .

Rozważajmy teraz przekształcenie oznaczone przez to, że za wynik przekształcenia dowolnego punktu A uważamy punkt A' , którego współrzędne x', y', z' w układzie (X', Y', Z') równają się odpowiednio współrzędnym x, y, z punktu A w układzie (X, Y, Z) . Przez przekształcenie wszystkich punktów figury (F) zapomocą powyższego przekształcenia uzyskamy nową figurę (F') . Przekształcenia, sprowadzające sztywnie pomyślaną figurę (F) w figurę (F') , nazywamy **przemieszczeniami**.

Z pośród przekształceń zaliczamy do przemieszczeń:

1) translację lub przesunięcie proste, oznaczone przez kierunek i długość przesunięcia,

i 2) obrót dookoła pewnej osi (a) o kąt α , zwany amplitudą obrotu.

4. Pozostają jeszcze następujące typy przekształceń, które już nie są przemieszczeniami:

3) symetria w stosunku do punktu;

4) symetria w stosunku do płaszczyzny;

5) symetria przemienna lub obrót przemienny.

Symetrią w stosunku do punktu O nazywamy przekształcenie, w którym punkt O przekształca się sam w siebie, a każdy odmienny od niego punkt A przechodzi w punkt A' , oznaczony przez to, że środek prostej AA' zlewa się z punktem O . Punkt O nazywa się **środkiem symetrii**. (Por. przykł. 2, § 11, 1).

Symetrią w stosunku do płaszczyzny P zachodzi wtenczas, gdy każdy punkt tej płaszczyzny przechodzi przez działanie przekształcenia T sam w siebie, a każdy punkt A , leżący poza tą płaszczyzną, przekształca się wskutek przekształcenia T w punkt A' taki, że odcinek $\overline{AA'}$ jest prostopadły do danej płaszczyzny P i jest przez tę płaszczyznę przepołowiony. (Por. przykł. 3, § 11, 1).

Symetrią przemienną, lub obrotem przemiennym nazywamy przekształcenie, będące iloczynem obrotu R dookoła prostej (a) o kąt α i symetrii s w stosunku do płaszczyzny P , prostopadłej do osi (a).

Powody, dla których rozważamy tylko powyższe przekształcenia, znajdzie czytelnik wyjaśnione w artykule prof. Zaremby.

5. Istnieją wielościany, które można przemienić same w siebie zapomocą przekształceń 2)—5), odmiennych od tożsamości.

Studjowanie tych wielościanów ma dla kryształografii wielkie znaczenie, gdyż niektóre z nich przedstawiają formy możliwe kryształów i to typy często dostrzegane.

Translacja nie można oczywiście przeprowadzić wielościanu do zlania się z sobą; pojęciem tem posługujemy się jednak do wyznaczenia i skonstruowania sieci przestrzennej. Każdą sieć przestrzenną można scharakteryzować zapomocą układu trzech translacji, nie leżących w jednej płaszczyźnie.

Przekształcenia 2)—5) (wraz z przekształceniem tożsamościowym) nazywamy elementami symetrii.

Jeśli jedno z powyższych przekształceń prowadzi dany wielościan (kryształ) do zlania się z samym sobą, to mówimy, że wielościan ten posiada albo dopuszcza dany element symetrii. Ponieważ każda figura dopuszcza przekształcenie tożsamościowe, więc nazywamy właściwymi elementami symetrii przekształcenia 2)—5) z wyłączeniem przekształcenia tożsamościowego, a zwykle, mówiąc krótko o „elementach symetrii“, mamy na myśli tylko właściwe elementy symetrii. Jedna i ta sama figura może dopuszczać większą ilość elementów symetrii.

Każdy element symetrii danego wielościanu (F) dopuszcza istnienie przynajmniej jednego punktu, przechodzącego sam w siebie, który nazywamy punktem niezmiennym.

Gdy przekształcenie, powodujące zlanie się jakiejś figury (F) samej z sobą, polega na obrocie dookoła pewnej prostej (a) o kąt α , odmienny od wielokrotności 2π , to mówimy, że oś (a) jest osią symetrii pierwszego rodzaju (lub krótko — osią symetrii) albo osią powtórzeń, dopuszczającą perjod α .

Jeśli zbiór wszystkich perjodów pewnej figury (F), związa-

nych z pewną osią symetrii (a) zlewa się ze zbiorem wszystkich wielokrotności kąta $\alpha = \frac{2\pi}{p}$, gdzie p jest liczbą całkowitą, większą od jednośc, to mówimy, że rozważana oś jest osią symetrii p -krotną, albo osią symetrii rzędu p .

Tak np. jeśli dany wielościan przekształca się w siebie przez obrót dookoła jakiejś prostej o kąt $\alpha = \frac{360}{2} = 180^\circ$, to mamy oś symetrii dwukrotną.

W przypadku, gdy przekształcenie wielościanu w siebie samego można osiągnąć przez obrót przemienny $R(\alpha)$, będący iloczynem obrotu o amplitudzie α , odmiennej od wielokrotności π , dookoła osi (a) przez symetrię w stosunku do płaszczyzny P , prostopadłej do osi (a), to mówimy, że oś (a) jest osią symetrii przemiennej (osią przemienne) lub osią symetrii drugiego rodzaju, a płaszczyzna P płaszczyzną przemienne.

Gdy związany z odbiciem w płaszczyźnie P kąt obrotu α wynosi π lub nieparzyste wielokrotności π , to rozważane przekształcenie jest identyczne z symetrią w stosunku do punktu O , w którym oś symetrii przemiennej przecina się z płaszczyzną przemienne. Mówimy wtedy, że wielościan posiada centrum symetrii.

Gdy kąt obrotu przemienne wynosi 2π , lub wogóle parzyste wielokrotności π , to przekształcenie rozważane jest identyczne z odbiciem w płaszczyźnie przemienne P .

Jeśli jakaś figura dopuszcza przekształcenie w stosunku do płaszczyzny P , to płaszczyznę tę nazywamy płaszczyzną symetrii danej figury.

6. Zwróćmy teraz uwagę na fakt następujący.

Jeśli jedno (lub więcej) z przekształceń przekształca pewną figurę (F) samą w siebie, to istnieje cały zbiór (G) przekształceń, przekształcających tę figurę samą w siebie, gdyż każde z nich może być powtarzane dowolną ilość razy. Zbiór (G) przekształceń $P_1, P_2, \dots, P_n, \dots$, przekształcających pewną figurę (F) samą w siebie, posiada własności następujące:

1) przekształcenie odwrotne do któregośkolwiek z przekształ-

ceń $P_1, P_2 \dots$ zbioru (G) , przekształca również figurę (F) samą w siebie;

2) iloczyn dwu dowolnych przekształceń zbioru (G) , jest również przekształceniem, przeprowadzającym figurę (F) samą w siebie.

Należy nadmienić, że przekształcenie odwrotne względem jakiegokolwiek elementu symetrii jest również elementem symetrii o punktach niezmiennych wspólnych z danym elementem symetrii, a iloczyn dwu elementów symetrii o wspólnym punkcie niezmiennym jest również elementem symetrii. Jeśli więc pewna figura (F) przechodzi sama w siebie przez przekształcenie $P_1, P_2 \dots P_n$, to zbiór (G) wszystkich iloczynów jakichkolwiek potęg tych przekształceń dodatnich, ujemnych i równych zeru posiada tę własność, że każde z przekształceń tego zbioru jest elementem symetrii i przeprowadza daną figurę samą w siebie. Uwagi powyższe doprowadzają nas zatem do rozważania w sposób ogólny zbiorów przekształceń, mających własności następujące:

1) jeżeli pewne przekształcenie należy do zbioru, to przekształcenie odwrotne również należy do tego zbioru;

2) jeśli dwa przekształcenia P i Q należą do rozważanego zbioru, to iloczyn I tych przekształceń jest również przekształceniem, należącym do rozważanego zbioru.

Aby wyrazić, że pewien zbiór przekształceń posiada powyższe własności, mówimy, że stanowi on grupę przekształceń. Wobec tego, że zbiór wszystkich przekształceń figury (F) , posiadających przynajmniej jeden punkt niezmienny — t. j. zbiór elementów symetrii — jest także elementem symetrii tej figury, dochodzimy do wniosku, że zbiór wszystkich elementów symetrii, które pewna figura, np. pewien kryształ, posiada, tworzy grupę, i stąd podstawowe dla krytalografii znaczenie roztrząsań własności grup.

Nieidentyczne z sobą przekształcenia $P_1, P_2 \dots P_n$, których wszystkie potęgi i ich wszystkie iloczyny tworzą grupę (G) , nazywamy przekształceniami twórczemi grupy (G) , a o grupie tej mówimy, że jest przez te przekształcenia — wytworzona. Jeśli jakąś grupę (G) można uważać za wytworzoną przez jakąś skończoną liczbę przekształceń $P_1, P_2 \dots P_i$, które stanowią taki zbiór (Z) , że

żadne z nich nie może być opuszczone bez uszczuplenia grupy (G), to zbiór (Z) nazywamy układem przekształceń sprzężonych grupy (G). Przez usunięcie któregośkolwiek (jednego lub więcej) z przekształceń sprzężonych grupy (G), otrzymamy nową grupę, której każde przekształcenie będzie również przekształceniem grupy (G); każdą taką grupę nazywamy podgrupą grupy (G).

7. Nasuwa się zatem następujące zagadnienie ogólne: wyznaczyć wszystkie grupy elementów symetrii, które mogą posiadać wielościany.

W szczególności dla krystalografii ma przedewszystkiem znaczenie zagadnienie jeszcze specjalniejsze: wyznaczyć grupy elementów symetrii, które mogą posiadać kryształy.

Przypominamy, że kryształy przybierają wprawdzie formy wielościanów, ale nie są to wielościany dowolne, lecz tworzą pewną szczególną kategorię, której określenie jest treścią hipotez, przyjmowanych za podstawowe, a omawianych poprzednio szczegółowiej (§ 1, str. 19 i następne).

Z pomiędzy różnych grup elementów symetrii, dopuszczalnych dla wielościanów, wchodzą więc w krystalografię w rachubę tylko te, które są zgodne z ograniczeniami, nałożonemi przez hipotezę, przyjętą za podstawę rozważań. Okazuje się, że, jako następstwo logiczne którejkolwiek z wyżej wymienionych hipotez, wynika ograniczenie następujące:

kryształ może posiadać za osie symetrii I. rodzaju tylko osie 2-, 3-, 4- i 6-krotne, a z pomiędzy osi przemiennych, t. zw. istotnych, t. j. nie równoważnych innym elementom symetrii lub ich kombinacjom¹⁾, są dopu-

¹⁾ Tak np. oś symetrii przemienna sześciokrotna wielościanu jest równoważna z istnieniem trójkrotnej osi obrotowej pierwszego rodzaju i środka symetrii. Oś symetrii przemienną trójkrotną jest równoznaczna z istnieniem osi obrotowej trójkrotnej pierwszego rodzaju i prostopadłej do niej płaszczyzny symetrii, przechodzącej przez punkt niezmienny osi przemienną. Oś symetrii przemienną dwukrotną jest równoważna istnieniu centrum symetrii, które się tu zlewa z punktem niezmiennym osi przemienną. Oś przemienna o amplitudzie 2π jest jednoznaczna z płaszczyzną symetrii, prostopadłą do osi, przechodzącą przez punkt niezmienny tej osi.

szczególne tylko osie 4-krotne. Osie symetrii 5-krotne o perjodzie 72° (dopuszczające obrót o 72° i wielokrotności tego kąta), są zatem, według prawa pasowego, prawa kolineacji lub sieci przestrzennej, na kryształach niemożliwe, tak samo jak osie symetrii n -krotne, dla $n > 6$. Jest to t. zw. prawo symetrii, które bywa czasem uważane za prawo uzyskane przez doświadczenie. Jest to nadzwyczajnie charakterystyczna właściwość postaci kryształów. Ilość elementów symetrii kryształów i różnych ich kombinacji jest zatem zupełnie ograniczona i znane są wszystkie dopuszczalne kombinacje.

Żeby przeprowadzić podział grup dopuszczalnych dla przekształceń, przeprowadzających kryształy same w siebie, przedstawiamy te grupy przy pomocy sprzężonych elementów symetrii.

Uwzględniamy następnie następującą uwagę. Jeśli rozważamy wielościan ruchomy w różnych położeniach, to wielościan ten będzie miał w każdym położeniu pewną grupę symetrii i w każdym — inną. Ponieważ wszystkie grupy tak oznaczone nie różnią się w niczem istotnem, przeto nazywamy grupy takie podobnemi między sobą, albo mówimy, że należą one do jednej klasy grup. Jest rzeczą oczywistą, że celem oznaczenia całej klasy grup wystarczy oznaczyć jedną grupę takiej klasy; oznaczamy zaś ją przez podanie jej sprzężonych elementów symetrii (§ 11, 6 str. 50).

Uwzględniając ograniczenia, nakładane przez prawo wymiernych wskaźników, albo przez prawo pasowe, kolineacyjne lub prawo sieci przestrzennej, otrzymujemy 32 klasy grup symetrii dopuszczalnych dla kryształów, jeśli zaliczymy do nich jako osobną klasę grupy, zawierające jako jedyne przekształcenia, przekształcenia tożsamościowe. Grupy, zebrane w tych 32 klasach, nazywamy grupami krysztalograficznymi. (Podajemy je w tabl. I, str. 52).

W zamieszczonej poniżej tabelce wykazujemy wszystkie 32 klasy grup, mających znaczenie w krysztalografii, przedstawiając każdą klasę przy pomocy przekształceń sprzężonych jednej z grup każdej klasy. Celem ujednostajnienia oznaczeń wybieramy punkt niezmienny O , wspólny dla wszystkich przekształceń danej grupy, jako początek prostokątnego układu współrzędnych X, Y, Z .

TABLICA I. ¹⁾
32 klasy grup krystalograficznych.

	Grupy główne	Grupy obrotowe		
I.	C	1		
II.	C, L_z^2	L_z^2	P_z	
III.	C, L_z^3	L_z^3	—	
IV.	C, L_z^4	L_z^4	A_x^4	
V.	C, L_z^6	L_z^6	L_z^3, P_z	
VI.	C, L_z^2, L_x^2	L_z^2, L_x^2	P_z, L_x^2	
VII.	C, L_z^3, L_x^2	L_z^3, L_x^2	L_z^3, P_x	
VIII.	C, L_z^4, L_x^2	L_z^4, L_x^2	L_z^4, P_x	A_z^4, L_x^2
IX.	C, L_z^6, L_x^2	L_z^6, L_x^2	L_z^6, P_x	L_z^3, P_z, L_v^2
X.	C, L_1^3, L_2^3	L_1^3, L_2^3	—	—
XI.	C, L_z^4, L_x^4	L_z^4, L_x^4	A_z^4, A_x^4	—

Obroty dookoła osi OX, OY, OZ , o amplitudzie $\frac{2\pi}{n}$ przedstawiamy kolejno zapomocą symboli:

$$L_x^n, L_y^n, L_z^n;$$

symbole:

$$L_1^n, L_2^n$$

oznaczają obroty dookoła osi o amplitudzie $\frac{2\pi}{n}$, których dostawy kierunkowe są proporcjonalne do:

¹⁾ Zasadę i sposób wyprowadzenia wyżej podanych grup znajdzie czytelnik w zamieszczonym w końcu tego tomu artykule prof. Zaremby. Tablicę tę wyjmujemy z cytowanej już rozprawy St. Zaremby i St. Kreutza w Bull. de l'Ac. d. Sc. d. Cr. 1919, str. 455.

$$\begin{array}{c} +1, +1, +1 \\ \text{lub} \quad -1, +1, +1. \end{array}$$

Symbole: P_x, P_y, P_z przedstawiają symetrię w stosunku do płaszczyzn YZ, XZ, XY .

Na oznaczanie obrotów przemiennych używamy litery A w ten sposób, że symbole:

$$A_x^4, A_y^4, A_z^4$$

oznaczają osie przemienne czterokrotne o położeniu:

$$OX, OY, OZ.$$

Symetrię w stosunku do punktu O oznaczamy przez literę: C , przekształcenie zaś tożsamościowe symbolem: I .

8. Jedną z najważniejszych kwestyj w kryształografii jest pytanie, jak zachowują się kryształy; czy spostrzeżenia potwierdzają wyżej przedstawione wyniki co do symetrii?

Odpowiedzieć należy, że nie zauważono dotychczas ani jednego kryształu, któryby wykazywał symetrię odmienną od jednej z wyżej wymienionych przewidywanych jako dopuszczalne 32 grup; zauważyć jednak trzeba, że wielościany krystaliczne tylko w rzadkich przypadkach, gdy warunki wzrostu kryształów we wszystkich kierunkach były jednakowe, okazują się symetrycznymi, i szczupły, w ten sposób zebrany materiał, nie byłby przekonywający. Badania doświadczalne nad symetrią kryształów można jednakowoż bardzo rozszerzyć uwzględniając tylko wzajemne nachylenie różnych ścian kryształu i badając symetrię obrazu sferycznego (p. § 10 ustęp 6, str. 40) kryształu, niezależną od nieuniknionych prawie nieregularności, wywołanych przeszkodami i różnicami w dopływie materiału do różnych ścian kryształu.

Tak np. kryształy alunu przybierają w pewnych warunkach postać prostokątnego umiarowego sześcianu, którego wszystkie osiem naroży są stępione przez płaszczyzny, przytem każda z nich jest równo nachylona do trzech płaszczyzn sześcianu, stykających się w narożu stępieniem przez daną płaszczyznę; każda z tych ośmiu płaszczyzn jest równo oddalona od punktu O , w którym przecięłyby się cztery przekątne sześcianu. Odległości

ścian sześcianu od tego punktu są znowu między sobą równe. Wielościan taki okazuje wysoką symetrię klasy L_z^4, L_x^4, C ; punkt O jest środkiem symetrii, kryształ ma prócz trzech do siebie prostopadłych osi obrotowych rzędu 4, cztery osie rzędu 3 i sześć osi dwukrotnych oraz 3 + 6 płaszczyzn symetrii. Takie wszechstronnie wykształcone regularne kryształy otrzymać można jednak tylko przy nadzwyczajnych środkach ostrożności, a i tak równość krawędzi odpowiednich zachodzi tylko w przybliżeniu. Często wydzielają się natomiast kryształki, wydłużone wzdłuż jednej z krawędzi sześcianu. Obraz sferyczny takiego kryształu okaże jednak symetrię tę samą, co poprzednio omówiony kryształ.

Badanie symetrii kryształu naturalnego zastępujemy przeto badaniem symetrii jego obrazu sferycznego, albo też — idealnego sztucznego wielościanu, utworzonego przez płaszczyzny styczne do kuli, zatoczonej dookoła dowolnie wybranego punktu O , leżącego wewnątrz kryształu. Położenie każdej z tych płaszczyzn jest oznaczone przez to, że jest ona styczną do kuli w punkcie, w którym przebija powierzchnię kuli prosta, wykreślona z punktu O prostopadle do rozważanej ściany kryształu. Kąty między płaszczyznami takiego „sztucznego“ wielościanu są te same, co kąty ścian kryształu, ale odległości tych płaszczyzn od jednego punktu — środka kuli — są jednakowe, i tem taki utwór różni się zwykle od kryształu naturalnego. Z którejkolwiek z hipotez podstawowych wynika, że symetria obrazu sferycznego jakiegokolwiek kryształu odpowiadać może tylko jednej z 32 grup, oznaczonych przez to, że mogą one zawierać tylko 2-, 3-, 4- i 6-krotne osie symetrii i 4-krotne osie przemienne istotne.

Niezmiernie bogaty materiał w tym kierunku zebrany można uważać za potwierdzenie słuszności założeń, przyjętych w hipotezach podstawowych, gdyż nietylko że nie znaleziono przypadków sprzecznych z symetrią 32 klas grup krytalograficznych, ale na wszystkie przewidywane klasy (§ 11, 7, str. 51 i 52) grup symetrii znaleziono już przykłady wśród kryształów (29 klas niewątpliwych, a dwie z bardzo wielkiem prawdopodobieństwem; wszystkie oczywiście w stosunkowo ciasnych granicach błędów doświadczenia, spowodowanych niedokładnością przyrządów i usterkami w rozwoju i wykształceniu ścian).

9. Grupy krystalograficzne (§ 11, ust. 7, str. 51 i 52) dzielimy jeszcze na t. zw. układy krystalograficzne. Zauważamy mianowicie, że snopki krystalograficzne (§ 3, 1, str. 29), dopuszczające przekształcenia grupy (G) (jednej z 32 klas), dopuszczają również wszystkie przekształcenia innej grupy (G'), lub też kilku grup krystalograficznych; naodwrot, snopki, dopuszczające wszystkie przekształcenia grupy (G'), dopuszczają też wszystkie przekształcenia grupy (G). Wobec tego łączymy te grupy 32 klas krystalograficznych, których wszystkie przekształcenia są dopuszczane przez każdy snopek podporządkowany którejkolwiek z nich, w jeden zbiór. Dodajemy do tego założenie, że wyłączamy snopki krystalograficzne, dopuszczające osie obrotowe, któreby nie były kra-

TABLICA II.

Układ	I. trój- skośny	II. jedno- skośny	III. rombowy	IV. tetragonalny	V. heksagonalny	VI. regularny
grupy holoe- dryczne	C	C, L_z^2	C, L_z^2, L_x^2	C, L_z^4, L_x^2	C, L_z^6, L_x^2	C, L_z^4, L_x^4
grupy meriedryczne	1	L_z^2	L_z^2, L_x^2	C, L_z^4	C, L_z^6	C, L_1^3, L_2^3
		P_z	L_z^2, P_x	L_z^4, L_x^2	C, L_z^3, L_x^2	L_z^4, L_x^4
				L_z^4, P_x	C, L_z^3	L_1^3, L_2^3
				L_z^4	L_z^6, L_x^2	A_z^4, A_x^4
				A_z^4, L_x^2	L_z^6	
				A_z^4	L_z^3, L_x^2	
					L_z^3	
					L_z^3, P_x	
					L_z^6, P_x	
					L_z^3, P_x	
					L_z^3, L_x^2, P_z	

wędziami snopka. Tak określone zbiory podajemy jako „układy krystalograficzne“, zebrane w tabl. II, str. 55 w sześciu kolumnach. W każdym z sześciu układów wyróżniamy grupy, posiadające najwyższą symetrię, jako grupy holodryczne, od grup, które są jej podgrupami, o niższej symetrii, zwanych meriedrycznymi.

10. Podział na układy odgrywa w krystalografii rolę bardzo ważną, gdyż rozpoznanie, do którego z układów należą kryształy danej substancji, jest rzeczą o wiele łatwiejszą, niż ściśle oznaczenie samej grupy elementów symetrii, charakterystycznej dla danej substancji, co naogół nie jest możliwe bez uwzględnienia własności fizycznych ścian kryształu. Celem rozpoznania układu wystarczy zwrócić uwagę na fakt, że snopki krystalograficzne (§ 3, 1, str. 29) ciał krystalicznych, należących do poszczególnych układów, wykazują niżej wymienione dla nich charakterystyczne własności symetrii.

Każdy snopek krystalograficzny posiada środek symetrii, t. j. przekształca się przez symetrię w stosunku do jednego punktu sam w siebie.

Snopki układu:

1) trójskośnego dopuszczają jako jedyny, prócz tożsamości, element symetrii — środek symetrii;

2) jednoskośnego dopuszczają jedną, ale tylko jedną oś obrotową dwukrotną.

W snopkach układu:

3) rombowego znajdują się zawsze do siebie prostopadłe osie obrotowe dwukrotne, niema zaś żadnej osi wyższego rzędu;

4) tetragonalnego znajduje się jedna, ale tylko jedna oś obrotowa czterokrotna;

5) heksagonalnego znajdzie się zawsze oś sześciokrotna.

6) Snopki układu regularnego (kubicznego) dopuszczają prostopadłe do siebie osi czterokrotne. Można je poznać i po tem, że mają więcej niż jedną oś trójkrotną; osie te są względem siebie tak nachylone, jak przekątnie umiarowego sześciannu.

Zauważyć należy, że w praktyce i przy zaliczaniu substancji do układów często posługujemy się własnościami fizycznymi.

11. Każdej z 32 klas krystalograficznych można podporządkować szereg utworów geometrycznych, zwanych postaciami prostymi grupy, w sposób następujący. Rozważajmy którąkolwiek z klas, z wyjątkiem klasy o symbolu 1. Punkt niezmienny przy wszystkich przekształceniach danej grupy (G), oznaczonej zapomocą przekształceń sprzężonych typu R_1, R_2, C albo R_1, R_2 lub R_1 , przyjmujemy za środek kuli o dowolnym promieniu. Każda oś symetrii R przetnie kulę w dwu punktach, a każda płaszczyzna symetrii — wynikająca z danych przekształceń — w kole wielkiem. Wybierzmy sobie na powierzchni kuli dowolny punkt A i poddajmy go wszystkim odmiennym od siebie przekształceniom grupy (G) pokolei; znajdziemy je wykonywając kolejno przekształcenia, wskazane jako sprzężone elementy symetrii w symbolu grupy, tak długo, dopóki punkt A będzie zajmował na powierzchni kuli nowe położenia $A_1, A_2 \dots A_n$. Powierzchnia kuli pokryje się w ten sposób ograniczoną ilością punktów, a dalsze powtarzanie przekształceń sprzężonych prowadzi po wykonaniu pewnej liczby przekształceń do punktów już zaznaczonych. Każdy z tych punktów jest wynikiem przekształcenia któregośkolwiek z pozostałych przez jedno z przekształceń grupy (G), a każde z przekształceń grupy przeprowadza każdy punkt w punkt już zaznaczony. Jeśli teraz w każdym z tych punktów poprowadzimy płaszczyznę styczną do kuli, to otrzymamy zbiór płaszczyzn, tworzący pewną formę geometryczną otwartą, lub zamkniętą wypukłą wielościan. Układ płaszczyzn tak otrzymany nazywamy jedną z postaci lub form prostych¹⁾ rozważanej grupy (G).

Czynność wyszukiwania odpowiednich punktów na kuli, celem konstruowania postaci prostych danej klasy przez prowadzenie płaszczyzn stycznych do tych punktów, można sobie ułatwić

¹⁾ Zawsze można tak wybrać układ normalny czterech ścian kryształu (wyznaczający t. zw. czworościan zasadniczy), że wszystkie ściany, tworzące jedną formę prostą, mają wskaźniki złożone z tych samych liczb całkowitych. Symbole tych płaszczyzn różnią się tylko tem, że liczby je składające mają różne znaki i następują w różnym po sobie porządku.

w braku kuli, rozpatrując zamiast powierzchni kuli rzut jej na płaszczyznę, wykonywany zwykle przy pomocy projekcji stereograficznej. Jeśli wśród przekształceń grupy jest jaka wyróżniająca się oś symetrii, to wybieramy celowo, za płaszczyznę rzutu, płaszczyznę do tej osi prostopadłą.

W przypadku klasy, której jedynym elementem symetrii jest środek symetrii C , jedynym typem postaci prostych jest para ścian do siebie równoległych, t. zw. dwuścian. Inne grupy tu rozpatrywane posiadają kilka typów postaci prostych, znanych jako typy geometrycznych postaci substancji, tworzących kryształy rozważanej klasy.

Znajdujemy te typy w sposób następujący. Jeśli wybierzemy pierwszy punkt A w ten sposób, że wynik przekształcenia tego punktu przez którekolwiek z przekształceń twórczych (§ 11, 6, str. 49) (nie identycznych) grupy (G) nie zlewa się z samym punktem A , t. j. gdy nie jest on punktem niezmiennym żadnego z przekształceń grupy (G), to otrzymana drogą wskazaną postać prosta składa się z tylu ścian, ile odmiennych od siebie przekształceń posiada grupa (G). Postać taka nazywa się ogólną postacią prostą klasy (G). Gdy zaś, z powodu szczególnego położenia punktu A na powierzchni kuli względem osi lub płaszczyzn symetrii grupy przekształceń, przekształcenia twórcze grupy prowadzą do zlewania się wyników przekształceń punktu A z tym samym punktem, co odpowiada przekształceniu się płaszczyzny stycznej do kuli w tym punkcie w samą siebie, to liczba ścian tak otrzymanej postaci prostej jest mniejsza, niż formy ogólnej, i mamy t. zw. postaci proste szczególne. W przypadku, gdy dany punkt A przekształca się dzięki swemu położeniu przez przekształcenia grupy tylko w punkt diametralnie przeciwny, mamy parę płaszczyzn do siebie równoległych — dwuścian. W klasie posiadającej, jako jedyny element symetrii (prócz tożsamości), centrum symetrii C , każda para płaszczyzn do siebie równoległych stanowi formę prostą — dwuścian, w tej klasie jedyną.

Gdy klasa nie posiada żadnego elementu symetrii (prócz tożsamości), to każda płaszczyzna kryształu stanowi osobną dla siebie formę prostą — zwaną pedjonem.

W kryształografii opisowej każdy typ postaci prostych ma swą utartą nazwę, a nazwa postaci ogólnej pewnej grupy (G) nadaje swą nazwę całej klasie grup, do której grupa (G) należy. Tak np. w przypadku grupy C , L_z^4 , L_x^4 postać ogólna jest czterdziestośmiościanem — stąd nazwa klasy: klasa czterdziestośmiościanu. Jako postaci szczególne tej klasy mamy trzy typy dwudziestocząteroscianów, dwunastościan rombowy, ośmiościan i sześcian umiadowy.

W innych klasach mamy piramidy podwójne, piramidy, słupy, dwuściany, daszki, sfenoidy i t. d.

Płaszczyzny otaczające kryształ stanowią albo jeden układ, albo kilka układów płaszczyzn takich, że każdy z nich jest według definicji formą prostą rozważanej klasy. W ostatnim przypadku mówimy, że na kryształach występuje kombinacja kilku form prostych.

12. Studjowanie różnych typów form prostych i ich kombinacji zajmuje zwykle wiele miejsca w kryształografii. Jakkolwiek znajomość typów różnych form prostych ułatwia rozpoznawanie układu kryształograficznego i grupy kryształograficznej danej substancji, to jednak wszelkie uczenie się pamięciowe znajomości tych form, typowych dla różnych klas kryształograficznych, jest rzeczą zbędną. Nie jest bowiem rzeczą trudną, znając przekształcenia sprzężone dowolnej klasy, wyprowadzić sobie wskazanym wyżej sposobem wszystkie postaci proste tej klasy.

Doświadczenie wykazuje, że kryształy danej substancji s , oznaczonej pod względem chemicznym i fizycznym, ograniczają się płaszczyznami tworzącymi postaci proste jednej i tej samej klasy symetrii; ściany kryształu tworzą albo jedną formę prostą, albo też kombinację kilku, a niekiedy kilkunastu różnych form prostych pewnej oznaczonej klasy (G), która jest w ten sposób dla danej substancji charakterystyczna. Ważnem jest przeto pytanie, czy poznawszy formy proste okazywane przez kryształy pewnej substancji (co drogą badania geometrycznego osiągnąć można tylko wyjątkowo), można naodwrot wnioskować o klasie symetrii.

Grupa (Γ) elementów symetrii, dopuszczanych przez ogólną formę prostą, przynależną do pewnej grupy kryształograficznej (G), jest albo podobna do tej grupy — i w takim razie przynależność

substancji badanej jest wykazana — albo też grupa (G) jest podgrupą grupy (Γ), gdyż w wielu przypadkach ogólna forma prosta zawiera takie przekształcenia, których klasa krystalograficzna nie zawiera. Tak np. ogólna forma prosta klasy L^3_z, C dopuszcza płaszczyzny symetrii i osie, których grupa L^3_z, C nie zawiera. Zawsze jednak na kryształach danej substancji są dopuszczalne ze względów symetrii takie kombinacje form prostych rozważanej klasy, że wielościan, otoczony płaszczyznami tych form, dopuszcza jedynie przekształcenia grupy G , do której te formy proste należą. Kombinacja form prostych, dopuszczalnych ze względów symetrii dla pewnej substancji, okazująca najniższą symetrię, jest zatem charakterystyczna dla tej substancji i zlewa się z grupą, którą nazwiemy w dalszym ciągu grupą symetrii fizycznej.

Powody, dla których tak tę grupę nazywamy, wyjaśnimy niżej, tu tylko zaznaczymy, że pewne rozpoznanie, które ściany kryształu należą do jednej i tej samej formy prostej, w praktyce bywa rzadko możliwe bez uciekania się do fizycznych własności ścian kryształu.

Zauważyć należy jednak, że z punktu widzenia krystalografii geometrycznej ważną jest też grupa symetrii geometrycznej, którą zawsze można wyznaczyć na podstawie pomiarów kątów kryształów pewnej substancji, oznaczona przez to, że:

1) grupę taką dopuszcza obraz sferyczny pewnego kryształu danej substancji oraz, że 2) grupa elementów symetrii każdego kryształu danej substancji albo zlewa się z tą grupą, albo jest jej podgrupą. Grupa ta zatem niezawsze zlewa się z poprzednio omówioną grupą symetrii fizycznej, która może być jej podgrupą.

13. Znaczenie własności fizycznych ścian kryształu staje się widoczne już z następującego przykładu. Istnienie środka symetrii O na kryształach wyraża się tem, że do każdej płaszczyzny występuje do niej równoległa, w równej od punktu O odległości. Brak środka symetrii wyrazi się zatem: 1) w braku ścian równoległych do pewnych przynajmniej ścian kryształu, albo też 2) w odmiennem ich wykształceniu, wielkości i t. d. Na obrazie sferycznym brak środka symetrii wyraża się nieobecnością punktów diametralnie przeciwnych na kuli, przedstawiających ściany kryształu

tylko w przypadku 1). Ponieważ prawo pasowe dopuszcza jako płaszczyznę pola krystalograficznego każdą płaszczyznę równoległą do danej płaszczyzny tego pola, więc zupełny brak płaszczyzn przeciwległych na kryształach występuje rzadko, a stwierdzenie istotnego braku centrum symetrii na podstawie badań geometrycznych jest trudne, chociaż kryształ badanej substancji, wzrosły w idealnych warunkach, dopuszcza tylko grupę pozbawioną tego elementu symetrii.

Bliższe wyjaśnienie roli badań geometrycznych i znaczenia własności fizycznych przy wyznaczaniu grupy, charakterystycznej dla danej substancji (*s*), oznaczonej pod względem fizycznym i chemicznym, znajdzie czytelnik w artykule prof. Zaremby.

§ 12. RACHUNEK KRYSTALOGRAFICZNY.

1. Geometryczne własności danej substancji *s* charakteryzujemy zwykle przez podanie: 1) t. zw. stałych geometrycznych substancji; podajemy więc odpowiednio wybrany układ czterech ścian kryształu, których płaszczyzny tworzą czworościan rzeczywisty. Trzy płaszczyzny tego czworościanu, stykające się w jednym punkcie, przecinają się z sobą w prostych *OX*, *OY*, *OZ*, zawierających kąty α , β , γ . Czwarta płaszczyzna kryształu, wybrana za jednostkową, wyznacza na tych osiach wraz z punktem *O* stosunki odcinków $a : b : c$. (Por. § 2, str. 25 i 26).

Dalej podajemy: 2) wskaźniki wszystkich ścian, dostrzeżonych na kryształach danej substancji, odniesione do powyższego czworościanu;

3) kąty zawarte między płaszczyznami kryształów, które wybrano do obliczenia stałych geometrycznych substancji oraz do obliczenia wskaźników innych ścian kryształów. Obliczywszy wskaźniki pewnej ściany (lub postaci prostej) kryształu (które to liczby z powodu błędów pomiaru i niedoskonałości wykształcenia kryształu zwykle tylko zbliżają się do trzech prostych liczb całkowitych *h*, *k*, *l*), możemy naodwrot, przyjąwszy te wskaźniki *h*, *k*, *l*, jako dane dla rozważanej ściany, obliczyć ze stałych geometrycznych kryształu wartości kątów, których pomiar służył nam za punkt wyjścia przy obliczaniu tych wskaźników. Obok

wartości „zmierzonych“ podajemy tu zatem dla porównania wartości „obliczone“;

4) pokrój kryształów, wytworzonych w oznaczonych warunkach.

5) Kryształy występują często w postaci, dającej się wytlumaczyć jako prawidłowy zrost dwu lub większej liczby osobników „pojedynczych“. Utwory takie, zwane bliźniaczami, bywają niekiedy skomplikowane i złożone z osobników drobniotkich, powtarzających się wielokrotnie. Do zupełności opisu należy zatem w tych przypadkach podać prawidłowość zrostu, t. zw. prawo bliźniacze. Utwory takie uzyskują często symetrię znacznie wyższą, niż składające je osobniki krystaliczne.

6) Do wykończenia zwykłego krystalograficznego zbadania geometrycznego substancji należy wreszcie oznaczenie grupy elementów symetrii badanych kryształów, a raczej ich obrazów sferycznych. Ponieważ różne kryształy tej samej substancji i ich obrazy sferyczne posiadają nieraz różną symetrię, a charakterystyczną dla substancji jest klasa, do której należą formy proste, obserwowane na kryształach danej substancji, więc podajemy, o ile można, tę klasę elementów symetrii.

7) Do zbadania geometrycznego należy też wyznaczenie wskaźników płaszczyzn łupliwości, translacji i t. d. Badania te wiążą się bezpośrednio z badaniami wyżej wspomnianych własności fizycznych substancji.

Wyznaczenie klasy symetrii danej substancji drogą pomiarów geometrycznych jest zwykle rzeczą bardzo trudną, jeśli wogóle możliwą; w praktyce uciekamy się tu do badania własności fizycznych ścian otaczających kryształ i na tej podstawie, przyjmując pewne prawa dotyczące związku tych własności fizycznych z geometrycznymi, wnioskujemy o formie prostej ogólnej dopuszczalnej dla tej substancji. To łączenie rozważań o symetrii form kryształu z zachowaniem się fizycznym kryształów — należy już do krystalografii fizycznej.

2. Stałe kryształu (§ 12, 1, str. 61) oraz wskaźniki (§ 12, 1, str. 61) obliczamy z wzajemnego nachylenia do siebie płaszczyzn kryształu, oznaczanego drogą pomiaru kątów zawartych między ścianami kryształu, albo też konstruujemy wprost obraz sferyczny

kryształu na podstawie pomiarów gonjometrem dwukołowym (teodolitem); pomiary wykonane takim przyrządem dają w celowo wybranem położeniu kryształu bezpośrednio współrzędne biegunowe każdego punktu, przedstawiającego jedną ze ścian kryształu w obrazie sferycznym (§ 10, 6, str. 40). Z wartości tak otrzymanych obliczamy stałe kryształu oraz symbole występujących na kryształach ścian. Zagadnienia tu należące dają się zaliczyć do następujących kategorii:

- 1) dane są kąty, zawarte między płaszczyznami kryształu, oraz wskaźniki pewnych płaszczyzn; znaleźć stałe kryształu;
- 2) ze stałych kryształu, z kątów i ze związku pasowego (§ 3, 1, str. 29) wyliczyć wartości wskaźników pewnych płaszczyzn;
- 3) dane są stałe geometryczne kryształu i wskaźniki jego ścian; obliczyć kąty między jego ścianami.

Przy metodzie teodolitowej zagadnienia te otrzymują oczywiście formę odpowiednio zmienioną.

Rozwiązanie tych kwestyj należy do zadań elementarnej matematyki, geometrii analitycznej a najczęściej trygonometrii płaskiej i sferycznej; to samo zagadnienie bywa różnemi drogami rozwiązywane.

Ważne dla kontroli i szybkiej orientacji są konstrukcje graficzne.

Dalsze zagadnienie dla rachunku krystalograficznego nastroczają t. zw. kryształy bliźniacze, złożone z dwu lub kilku osobników krystalicznych danej substancji, złączonych z sobą w sposób prawidłowy, a tworzących genetycznie jedną całość.

Jako celowe uzupełnienie opisu kryształów danej substancji załączamy zwykle jego „rysunek“ w różnych położeniach, wykonywany według zasad, pozwalających na odtworzenie postaci przestrzennej z rzutów na płaszczyźnie. Często przedstawiamy też graficznie stosunki symetrii, związku pasowego i t. d.

Używane w krystalografii metody rzutowania na płaszczyznę kryształów i ich obrazów sferycznych tworzą wraz z rachunkiem krystalograficznym i nauką o wykonywaniu pomiarów krystalograficznych dział „krystalografii praktycznej“.

Podręczniki omawiające metody rachunku krystalograficznego zawierają zwykle wskazówki, odnoszące się do utartych

sposobów graficznego przedstawiania stosunków obserwowanych na kryształach. Używana tu bywa metoda „axonometryczna“, opracowana przez Weisbacha, według której rzucamy najpierw na płaszczyznę układ trzech odpowiednio wybranych krawędzi, t. zw. osi kryształu i wyznaczamy na nich odcinki, wytworzone przez czwartą ścianę „jednostkową“ (§ 2, 1, str. 27); dalej metoda W. Goldschmidta oparta na projekcji „gnomonicznej“ oraz metoda E. Fiodorowa, w której punktem wyjścia jest projekcja „linijna“ kryształu.

Bardzo dogodną metodę rysowania kryształu z projekcji „stereograficznej“ podał F. Stoeber.

Jest rzeczą oczywistą, że znajomość podstaw geometrii wykreślnej wystarcza do poprawnego wykonania rysunku, wspomniane metody stanowią jednak znaczne uproszczenie.

3. Obliczanie stałych geometrycznych kryształu danej substancji krystalicznej można bardzo często, posługując się związkami pasowemi, oprzeć na pomiarach niezależnych od siebie i wtedy otrzymujemy zwykle wartości mniej lub więcej niezgodne z sobą. Jeżeli istnieje uzasadnione przypuszczenie, że różnice polegają tylko na błędach przypadkowych, popełnianych przy odczytywaniu podziałki gonjometru, lub wynikających z przypadkowych zniekształceń kryształu, tak że wartości otrzymane mogą być równie dobrze za wielkie, jak i za małe, wtedy stosujemy często celem wyrównania różnic metodę najmniejszych kwadratów.

Często jednakże odstępstwo od wartości średnich, przewidywanych na podstawie pewnych założeń, nie może być uważane za przypadkowe i wtedy rachunek „wyrównywający“ różnice nie jest oczywiście odpowiedni. W takich przypadkach E. Wülfing poleca specjalny sposób postępowania, który nazywa metodą skupień (patrz: Bibliografia III, § 11).

KRYSTALOGRAFJA FIZYCZNA.

Treść: § 13. Ustrój kryształów.—§ 14. Odzworowywanie różnic własności fizycznych kryształu w różnych kierunkach za pomocą stosownych powierzchni. Kształt i symetria takich powierzchni.

§ 13. USTRÓJ KRYSZTAŁÓW.

1. Przedmiotem kryształografii fizycznej są własności fizyczne ciał krystalicznych. Kryształografia fizyczna bywa też często nazywana fizyką kryształów lub ciał krystalicznych. Możemy się wobec tego ograniczyć do uwag, uzupełniających tom II-gi Poradnika z punktu widzenia specjalnie kryształograficznego. Uwagi te mają na celu wyjaśnić gruntowniej, niż to było możliwe we „Wstępie ogólnym” (§ 3, str. 13), dlaczego kryształografię fizyczną traktujemy w podręcznikach i wykładach jako osobny przedmiot, chociaż ją obejmuje każdy obszerniejszy podręcznik fizyki.

Między kryształografią fizyczną a kryształografią geometryczną istnieje łącznik. Jest nim teoria ustroju ciał krystalicznych, która wiąże szereg własności fizycznych ośrodków krystalicznych z własnościami geometrycznymi i uważa cały szereg zjawisk rozmaitej natury za wyrazy tej samej podstawowej własności: prawidłowego ustroju wewnętrznego materji.

Ścisłe ogólne sformułowanie zagadnień, rozwiązywanych przez teorię ustroju, znajdzie czytelnik niżej w artykule prof. St. Zaremby w rozdziale zatytułowanym: „Geometryczne własności substancji krystalicznych”, z którego czerpiemy tu kilka definicji i do którego odsyłamy.

Po kilku ogólnych uwagach i krótkim omówieniu znaczenia fizycznego hipotez o ustroju ciał krystalicznych dajemy niżej przegląd podstawowej literatury z tego zakresu.

W rozważaniach nad ustrojem ciał stałych zakładamy zwykle, że substancja nie jest absolutnie jednorodna, lecz że jest perjodycznie niejednorodna, tylko że perjod niejednorodności jest za mały, by ta niejednorodność zdradzała się przed naszymi zmysłami już przy użyciu zwykłych a nawet optycznych metod badania.

Pojęcie jednorodności jest tu zatem odmienne od podanego w uwagach wstępnych pojęcia jednorodności absolutnej.

Podczas gdy w przypadku ośrodka zupełnie jednorodnego własności ośrodka są w każdym punkcie te same, to według wyobrażeń teorii ustroju własności ośrodka między dwoma jednakowo zachowującymi się punktami (punktami analogicznymi) są odmienne, tylko odległości punktów jednakowych są niezmiennie małe i punkty te są rozmieszczone równomiernie w całym ośrodku. Dwie kule o tym samym promieniu wycięte z takiego ośrodka będą mogły być uważane tylko wtedy za jednakowe, jeżeli promień ich jest dostatecznie wielki w porównaniu z odległościami każdego punktu od trzech sąsiednich punktów analogicznych, nie leżących z nim w jednej płaszczyźnie.

Dalej zakładamy, że substancja rozważana wypełnia całą przestrzeń,—założenie, które wobec małości perjodów niejednorodności nie jest trudne do przyjęcia, ułatwia zaś bardzo rozważanie teoretyczne. W ciałach bezpostaciowych punkty analogiczne ośrodka są rozsypane bezładnie, w ciałach krystalicznych przyjmujemy istnienie prawidłowości w ich rozmieszczeniu i prawidłowości te staramy się zdefiniować w teoriach ustroju.

2. Znaczenie słów „geometryczne własności materji“ tłumaczymy według artykułu prof. Zaremby w sposób następujący. Dowolny punkt A , znajdujący się wewnątrz ośrodka materialnego, przechodzi przez pewne przekształcenie (P) izometryczne (np. translację, obrót), „zachowujące odległości“ (§ 11, 1, str. 44), w punkt A' , leżący również w tym ośrodku. Jeżeli własności fizyczne w kierunku dowolnego promienia p , wychodzącego w oznaczonym kierunku z punktu A , i promienia p' , wychodzącego z punktu A' i będącego wynikiem przekształcenia promienia p przez przekształcenie (P), są jednakowe, to przekształcenie (P) charakteryzuje pewną własność geometryczną samego ośrodka. Mówimy tedy, że substancja s dopuszcza pewne przekształcenie (P), jeżeli własności substancji są identyczne w kierunku każdej pary promieni p i p' , gdzie promień p jest dowolnym promieniem wyprowadzonym z któregokolwiek punktu A , a promień p' jest wynikiem przekształcenia promienia p przez dane przekształcenie (P). Promień p' wychodzi z punktu A' , w który przechodzi punkt A przez rozważane przekształcenie.

Gdy substancja s dopuszcza wszystkie przekształcenia two-

rzące grupę (G), mówimy, że substancja ta „dopuszcza grupę (G)”. Powstaje zatem zagadnienie: znaleźć grupę przekształceń dopuszczanych przez pewną substancję krystaliczną (s).

3. Ze względu na obserwowaną jednorodność ciał badanych, wyrażającą się w tem, że wzdłuż kierunków równoległych do siebie znajdujemy te same własności fizyczne, oraz ze względu na własności form zewnętrznych kryształów przyjmujemy, że zbiór translacji (§ 11, 1, str. 43 i 5, str. 47), należący do grupy substancji s stanowi grupę wytworzoną przez pewne trzy translacje nie leżące w jednej płaszczyźnie i że każdej substancji s można taką grupę przypisać. Grupę tę nazywamy grupą translacji odnośnej substancji. Niekiedy grupa substancji może się zlewać z grupą translacji tejże substancji, ale najczęściej ostatnia jest jej podgrupą.

Rozwiązanie zagadnienia: znaleźć wszystkie typy grup dopuszczanych przez substancje krystaliczne—prowadzi, przy użyciu najogólniejszych przekształceń i uwzględnieniu wyżej przedstawionych założeń, do ustalenia 230 rodzajów grup przekształceń (zachowujących odległości), które zawierają translacje w myśl poprzedniego zdania. Prof. Zaremba nazywa te grupy grupami Jordana i Schoenfliesa. Każda z tych grup ma tę własność, że jeśli się rozważy tylko te przekształcenia grupy, które pozostawiają jeden przynajmniej punkt niezmieniony, to grupa tak utworzona jest jedną z 32 grup krystalograficznych, nazywanych grupami Bravaisa; stąd ich znaczenie dla krystalografii.

4. Jedną z grup Jordana i Schoenfliesa jest grupa wytworzona przez same tylko trzy translacje a, b, c nie równoległe do tej samej płaszczyzny. Dowolny punkt przestrzeni poddany przekształceniom tej grupy utworzy nieograniczony zbiór punktów będący siecią przestrzenną Bravaisa, scharakteryzowaną dostatecznie przez te trzy translacje a, b, c .

Przekształcenia innych grup Jordana i Schoenfliesa prowadzą w podobny sposób do bardziej złożonych prawidłowych układów punktów, mających tę własność, że dookoła każdego z nich wszystkie inne punkty są rozmieszczone według tego samego prawa. Każdy z tych układów punktów można uwa-

zać za system złożony z pewnej oznaczonej liczby sieci przestrzennych o tych samych stałych a, b, c ; sieci te są wstawione w siebie w sposób wynikający z przekształceń grupy przekształceń charakterystycznej dla danego układu.

Płaszczyzny sieciowe układu punktów, pozostającego w związku wyżej wyłuszczonej z pewną oznaczoną substancją s , uważamy według dodatkowych hipotez za płaszczyzny wyznaczające położenie ścian kryształów tej substancji, płaszczyzn łupliwości, translacji etc.

Ciała krystaliczne jako ciała jednorodne (Wstęp ogólny § 1, 2, str. 2) zachowują się w kierunkach do siebie równoległych w ten sam sposób; zachowanie się ich zmienia się jednak zawsze, przynajmniej dla niektórych własności fizycznych, ze zmianą kierunku, i ze względu na tę własność są one anizotropowe (§ 1, 3, str. 3). Ta jednorodność i anizotropowość kryształów znajduje w teorii ustroju swój wyraz w następującej własności wszystkich prawidłowych układów punktów: każda prosta, przechodząca przez dwa punkty układu przynależne do tej samej sieci przestrzennej, jest w całej swej nieograniczonej rozciągłości obsiana punktami znajdującymi się w równych odległościach, a każda prosta równoległa do tej rozważanej prostej, przechodząca przez jakikolwiek punkt układu, przecina punkty rozważanego układu w tych samych odstępach. Jeśli jednakże rozpatrujemy odległości punktów sąsiednich leżących na prostych sieciowych nie równoległych do siebie, to odległości te są naogół zależne od kierunku tej prostej, i w tem wyraża się anizotropowość ośrodka.

5. Zauważyć należy, że hipoteza atomistyczna prowadzi, w łączności z zasadniczymi obserwacjami dotyczącymi zachowania się ciał krystalicznych, nieuchronnie do wniosku, że ośrodki krystaliczne mogą dopuszczać tylko przekształcenia wyżej wspomnianych 230 grup, przewidywanych przez ogólną teorię ustroju.

Nie jest jednak rzeczą oczywistą, aby teoria ustroju wymagała bezwzględnie przyjęcia nieciągłości, zakładanej w hipotezach atomistycznych, a w przypadku grupy translacji jest rzeczą odrazu widoczną, że nieciągłość substancji nie jest założeniem koniecznem, aby substancja taką grupę dopuszczała.

Oczywiście jednak teoria ustroju godzi się doskonale z wyobrażeniami nowoczesnej atomistyki i wiązanie jej z temi pojęciami jest rzeczą szczególnie dogodną. Geometryczna teoria ustroju jest potężnym środkiem pomocniczym dla badań, opartych na faktach z zakresu fizyki i chemji, nad rozmieszczeniem w przestrzeni cząsteczek materjalnych, badań mających na celu zbudowanie prawdopodobnej hipotezy o strukturze fizycznej substancji krystalicznej. Wyżej omawiana teoria ustroju ciał krystalicznych doczekała się w ostatnich latach potwierdzenia doświadczalnego, przynajmniej w swej podstawie przez wykrycie zjawisk interferencji promieni roentgenowskich, powodowanych przez kryształy. Badania te stwierdzają w sposób niewątpliwy, że każdej substancji krystalicznej odpowiada pewna grupa translacji (G), przekształcająca ją samą w siebie. O badaniach tych, zaczętych w r. 1912 a będących dziś w pełnym rozwoju, mówimy w rozdziale następującym nieco obszerniej.

6. Celem ostatecznego rozstrzygnięcia, na czem polegają promienie Roentgena (promienie X), czy na ruchu falistym, czy też są to promienie natury emisyjnej, należało wywołać zjawiska interferencji tych promieni; próby przedsiębrane w tym kierunku na siatkach dyfrakcyjnych sztucznych, chociaż niezmiernie gęstych, zawodziły. Ze względu na przypuszczalnie bardzo małą długość fali promieni roentgenowskich należało użyć siatek o odstępach linii tak małych, że ich otrzymanie zdawało się być niemożliwością. W r. 1912 M. Laue, pamiętając o sieciowej hipotezie ustroju kryształów, wpadł na myśl użycia do prób płytek kryształu wyżej wspomnianych, jako siatki dyfrakcyjnej.

Doświadczenia, niezwykle proste, wykonane przez W. Friedricha i P. Knippinga w pracowni prof. A. Sommerfelda w Monachjum, potwierdziły w pełni przypuszczenia Lauego, który dał natychmiast teoretyczną interpretację obserwowanych zjawisk. Sposób postępowania był taki: z promieni wydzielanych przez antykatodę wydzielono zapomocą szpary umieszczonej w zasłonie z ołowiu wąską wiązkę promieni prawie równoległych do siebie, które natrafiają w swej dalszej drodze na płytkę kryształu. Użyto najpierw siarczanu miedzi ($CuSO_4 \cdot 5H_2O$). Na kliszy fotograficznej, umieszczonej za kryształem w pewnej

odległości, zaobserwowano po dłuższem „naświetlaniu“ i wywoływaniu nie tylko czarną plamę, odpowiadającą swym kształtem otworowi w diafragmie, wytworzoną przez promienie nieodchylone, ale cały szereg punktów, grupujących się dookoła tej plamy w różnych odległościach.

Przy użyciu kryształów, posiadających osie lub płaszczyzny symetrii, okazały się przy stosownem położeniu kryształu symetryczne ugrupowania ciemnych punktów, odwzorowujące w pewnym stopniu symetrię kryształów.

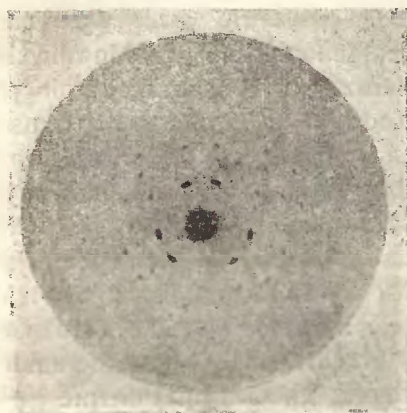


Fig. 6. Roentgenogram blendy cynkowej; promienie padają w kierunku osi trójkrotnej, co się odzwierciedla w odpowiednio symetrycznem ugrupowaniu czarnych punktów.

Rozmieszczenie natężenia promieniowania, padającego na kliszę, wykazało zatem wyraźne maksima natężenia. Fig. 6 przedstawia kliszę, na którą padały prostopadle promienie, przechodzące przez sześcienny kryształ blendy cynkowej (ZnS) w kierunku osi symetrii trójkrotnej. W przypadku „prześwietlania“ kryształu (promienie są niewidoczne dla oka) w kierunku osi symetrii czterokrotnej, gdy klisza jest do niej prostopadła, symetria ta odbija się na obrazie w czterokrotnem powtarzaniu się każdego punktu w równej odległo-

ści od środka plamy, w której przecinają się z płaszczyzną kliszy promienie nie zbaczające z drogi.

W ten sposób stwierdzono: 1) ustrój sieciowy kryształów; 2) falistą naturę promieni roentgenowskich. Doświadczenia Barkli (Phil. Mag. 1911, 22, 396) wykazały zresztą już uprzednio, że promienie roentgenowskie ulegają rozpraszaniu się w materji, a promienie roentgenowskie wtórne, wysyłane przez kryształy, są spolaryzowane. Można było stąd wnosić, że mamy tu do czynienia z ruchem falistym o „drganiach“ (t. zn. zmianach stanu elektrycznego i magnetycznego) poprzecznych.

Stosunek odległości od siebie centrów, powodujących dyfrakcję w kryształach, do długości fali promieniowania padającego jest tu widocznie zbliżony do stosunku między odległością dwu sąsiednich linii w siatce Rowlanda a długością fal świetlnych. Szczegółowe rozważanie tych odległości wykazuje, że są one rzędu 10^{-6} cm., a długość fal padających wynosi 10^{-8} cm. do 10^{-9} cm. Promieniowanie padające nie jest jednorodne, lecz odpowiada światłu białemu o widmie ciągłym.

Teoretyczne rozważanie opisanych zjawisk interferencji wykazuje, że szczególnie ciemne punkty, powstałe wskutek przecięcia się promieni Roentgena o maksymalnym natężeniu z płaszczyzną kliszy, można uważać formalnie za punkty, powstałe przez przecięcie się z kliszą promieni odbitych od pewnych płaszczyzn sieci przestrzennej kryształu, a mianowicie od płaszczyzn o większej stosunkowo gęstości retykularnej i o prostych wskaźnikach.

7. Odminną metodę zastosowali W. H. i W. L. Bragg'owie (ojciec i syn). Dzięki doborowi odpowiedniej antykathody, dającej promieniowanie o widmie, z którego można wydzielić pewne linie spektralne szczególnie intensywne, uzyskali sposób badania zachowania się kryształów pod wpływem jednorodnych promieni Roentgena. Kierunki, w których promieniowania „wtórne“, wychodzące z kryształu podanego, wykazują maksima natężeń wskutek interferencji, znajduje się tak, jakgdyby to były kierunki promieni odbitych od płaszczyzn sieciowych kryształu; natężenie tych promieni, oznaczali Bragg'owie przy pomocy pomiarów jonizacji powietrza w ruchomej kamerze, nastawianej w ten sposób, by padały w nią te intensywne promienie „odbite“.

Znając kierunek promieni „padających“ i „odbitych“, łatwo zbudować według prawa Snell'a układ równoległych do siebie płaszczyzn sieciowych „odbijających“ obserwowane promienie. Do każdej takiej płaszczyzny zewnętrznej mamy nieskończenie wiele płaszczyzn równoległych, i doświadczenie wykazuje, że zewnętrzne zarysy kryształu, gładkość ścian kryształu i t. d. nie grają tu żadnej roli. Oznaczając przez δ kąt badania, przez d odległość najbliższych dwu do siebie równoległych warstw sieciowych o danym kierunku, przez λ długość fali promieni uży

tych, mamy maksima natężenia promieni „wtórnych“, gdy jest spełniony warunek:

$$(1) \quad n\lambda = 2d \cos \delta,$$

gdzie n oznacza liczbę całkowitą 1, 2, 3 ..., wyrażającą, o ile długości fali wyprzedza jeden z promieni „odbitych“ promień z nim się zlewający, „odbity“ od sąsiedniej z nim płaszczyzny sieciowej.

Wzór (1) znany jest z optyki w przypadku interferencji promieni odbitych od stosu płytek cienkich.

Znając długość fali promieni użytych, oraz dany przez liczbę n rząd refleksu, można tą drogą, przez pomiar kąta δ , wyznaczyć wartość d , t. j. odległość dwu najbliższych do siebie równoległych warstw sieciowych. Ponieważ typ sieci przestrzennej oznaczyć nietrudno (wyraża się on częściowo w symetrii obrazów fotograficznych, otrzymanych przez „prześwietlanie“ kryształu promieniami Roentgena w różnych kierunkach i obecności lub braku pewnych punktów), więc można przez pomiar tych odległości w kilku różnych kierunkach ustalić odległości najbliższych centrów dyfrangujących w siatce, t. j. atomów w kryształach. Odwrotnie, znając te ostatnie, można użyć dany kryształ do oznaczenia długości fali promieni roentgenowskich.

8. De Broglie i E. Schiebold zastosowali tę metodę badania przez „obracanie kryształu“ do pomiarów przy pomocy zdjęć fotograficznych.

Zjawiska interferencji promieni Roentgena i rozkład punktów o największym natężeniu można uczynić widocznymi przez użycie zamiast kliszy płyt pokrytych substancją fosforyzującą. Punkty, w których trafiają płytkę promienie o maksimach natężenia, świecą w ciemności. Przy obrocie płytki kryształu przesuwają się odpowiednio i punkty świecące.

Natężenie promieni „odbitych“ dane jest przez warunki wyrażone we wzorze (1). Gdy kryształ ma ustrój bardziej złożony i składa się z dwu lub kilku siatek przestrzennych wstawionych jedna w drugą, to niektóre maksima i odpowiadające im punkty odpadają.

Natężenie maksimów maleje, gdy zwiększa się rząd refleksów n , i zmienia się proporcjonalnie do $\frac{1}{n^2}$; zależy dalej od a) gęstości płaszczyzn sieciowych, usianych atomami, które uważamy za „odbijające“, oraz b) od rodzaju i własności atomów lub jonów, wyznaczających te płaszczyzny.

9. Podczas gdy obie wyżej wspomniane metody wymagają użycia kryształów makroskopowych, którym się nadaje odpowiednie położenia względem promieni padających, to trzecia metoda, opracowana przez P. Debye'ego i P. Scherrera i niezależnie od nich przez A. W. Hulla w Ameryce, pozwala na oznaczanie sieci przestrzennej i ustroju małych części krystalicznych, zmieszanych w bezładny „bezpostaciowy“ proszek, a nawet utwór koloidalny. Wiązka jednorodnych promieni Roentgena, a raczej promieni, wśród których promienie o oznaczonej częstości drgań mają wybitnie wyróżniające się natężenie, pada na rurkę wypełnioną proszkiem krystalicznym, zawieszoną w środku filmu o kształcie walca. Wśród niezmiernie wielkiej różnorodności położenia kryształków znajdują się zawsze dla danej długości fali λ kryształki o takim akurat położeniu pewnych płaszczyzn sieciowych o odstępach d , że związek (1) (str. 72) będzie spełniony i płaszczyzny te będą „odbijać“ promienie padające. Kąt odbicia dla danej liczby n jest oznaczony i ma wartość δ . Ze względu na wielką ilość kryształków bezładnie rozrzuconych w rurce zjawisko musi być w stosunku do promienia padającego symetryczne i promienie odbijane od rozważanych płaszczyzn sieciowych pod kątem δ opisują powierzchnię stożka kołowego o rozwartości $2(90 - \delta)$, którego oś wyznacza wiązka promieni padających (Fig. 7). Promienie te przecinają się z filmem wzdłuż pewnej linii, która występuje po wywołaniu filmu i z której położenia oznacza się kąt δ . Z otrzymanych w ten sposób wartości kątów δ wyznacza się położenie płaszczyzn sieciowych i najmniejszy odstęp warstw równoległych

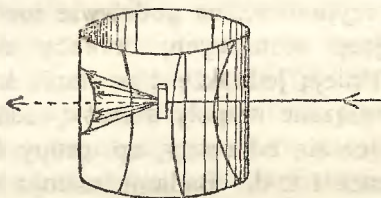


Fig. 7.

do każdej z nich, co prowadzi do poznania całej sieci przestrzennej i oznaczenia odległości jej punktów w dowolnych kierunkach.

Zjawiska interferencji, pozwalające na rozpoznanie struktury substancji, uzyskujemy nawet w przypadku nadzwyczajnego rozdrobnienia: złoto koloidalne dało reakcję, przy wymiarach przekroju jednej cząsteczki (zawiesiny): $1,87 \cdot 10^{-7}$ cm. Kryształki poszczególne składają się tu z 380 atomów. Zwyczajna sadza składa się z cząstek grafitu, które mogą być tak małe, że składają się z 30 atomów, a pomimo tego dają efekt dyfrakcyjny.

Skrobia ryżowa okazuje się substancją krystaliczną o wielkiem rozdrobnieniu. Według najnowszych badań ustroj sieciowy okazują: celuloza, jedwab, byssus, — a nawet substancja włosów, mięśni i nerwów, co daje asumpt do nieoczekiwanych przedtem wniosków o związkach między wzrostem żywych ciał organicznych, a ustrojem krystaliczno-sieciowym (por. Ber. d. Deutsch. Chem. Ges. 1922, str. 1717). Prawidłowe ustawianie się drobnutkich kryształków stwierdzono też we włóknach roślinnych.

10. Badania kryształów promieniami Roentgena wykazały, że pojęcie „cząsteczki“ w stanie stałym krystalicznym nie ma naogół uzasadnienia, gdyż odległości międzypunktowe danej sieci przestrzennej są to odległości tego rzędu, co przyjmowane na podstawie innych oznaczeń odległości międzyatomowe. Musimy zatem przyjąć, że punkty analogiczne danej sieci przestrzennej są to punkty związane bezpośrednio z atomami. Tyczy się to przede wszystkim ciał złożonych z jednego rodzaju atomów, ale i w ciałach bardziej skomplikowanych niema najczęściej racji przyjmować, na podstawie modeli uzyskanych, istnienia jakichś grup atomowych, któreby zasługiwały na nazwę cząsteczek. Istnieją jednakże i w stanie krystalicznym pewne ściślej z sobą związane zespoły atomów, stale się powtarzające i wyodrębniające się od reszty, np. grupy CO_2 w węglanach, SO_4 w siarczanach i t. d. Badanie ustroju kryształów prowadzi zatem bezpośrednio do modeli, przedstawiających przestrzenne ugrupowania atomów w ciałach krystalicznych i daje eksperymentalne rozwiązanie zagadnień stereochemicznych. Uwzględnienie liczby $N = 6,06 \times 10^{23}$, podającej ilość cząsteczek w cząsteczce gramowej, t. j. w ilości gramów równej ciężarowi drobinowemu danej substancji,

oraz uwzględnienie ciężaru właściwego tej substancji, pozwala wraz z odległościami liniowymi, wymierzonymi w *cm* zapomocą jednej z opisanych metod, na zupełne ściśle zbudowanie takiego modelu dla szeregu substancyj.

Ustrój diamentu przedstawia się np. w sposób następujący.

Każdy atom węgla leży w środku czworościanu umiarowego, którego wierzchołki oznaczone są przez położenia czterech innych atomów, najbliższych pierwszemu; najmniejsza ta odległość środków atomów wynosi $1,53 \cdot 10^{-8}$ cm. Każdy z atomów zajmujących punkty wierzchołkowe rozważanego czworościanu jest środkiem takiego samego czworościanu, utworzonego przez cztery atomy węgla, z których jednym jest atom najpierw wzięty pod uwagę (Fig. 8). Ustrój ten rozciąga się jednostajnie wzdłuż całego kryształu; ustrój ten można naśladować, wstawiając w przestrzenną sieć kubiczną o scen-trowanych ścianach drugą taką samą w po-łożeniu dającą się otrzymać z pierwszego przez przesunięcie w kierunku przekątnej elementarnego sześciianu o $1/4$ część długości tej przekątnej. Niema tu żadnego atomu wyróżniającego się od któregośkolwiek innego czemś więcej, niż położeniem w przestrzeni.

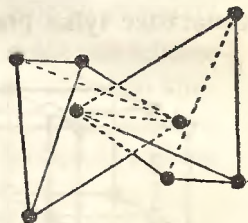


Fig. 8.

Pewne grupy atomów zdają się mieć jednak, zwłaszcza w kryształach związków organicznych, większą trwałość. Oto tetraedryczny sposób wiązania się atomów w diamentie zdaje się utrzymuje się w całym szeregu związków w związkach węgla alifatycznych; druga modyfikacja węgla, grafit¹⁾, odznacza się wybitnie pierścieniowym sposobem łączenia sześciu atomów węgla, który znamy w benzolu i w szeregu związków aromatycznych. Omawiane grupy atomów, szczególnie silnie związane ze sobą, utrzymujące się nawet podczas rozpadu na cząsteczki chemiczne, są według W. H. Bragg'a²⁾ związane słabiej z grupami do nich

¹⁾ Zauważymy tu ubocznie, że sadza składa się z drobniutkich cząstek grafitu.

²⁾ W. H. Bragg: Relation of the crystal-structure of some carbon compounds to those of graphite and diamond. Mineralogical Magazin 1922, XIX, 316.—The structure of organic crystals. Proc. Phys. Soc. 1921, Vol. 34, 33—50.

analogicznymi. Przyroda jest zatem różnorodna, i skłonność do ściślejszego wiązania się atomów w pewne powtarzające się prawidłowo grupy zarysowuje się już w stanie stałym; grup tych nie można oczywiście uważać za „cząsteczki”.

W pewnych substancjach istnieją dane skłaniające nas do stwierdzenia, że jednostki strukturalne nie są atomami, lecz jonami $+$ i $-$; miarą zdolności rozszczepiania nie jest tu zatem, jak pierwotnie sądzono — ciężar atomowy, lecz ilość elektronów w rozważanych jonach. Ustrój soli kamiennej dany jest np. przez prostą sieć kostkową (której punkty leżą jak wierzchołki umiarowych sześciątów prostokątnych, szczelnie wypełniających przestrzeń). Punkty tej sieci są wzdłuż krawędzi sześciątów elementarnych zastąpione naprzemian przez jony $\overset{+}{Na}$ i $\bar{Cl}$ (Fig. 9). Punkty oznaczone tylko przez jony $\overset{+}{Na}$ albo tylko przez jony $\bar{Cl}$ tworzą

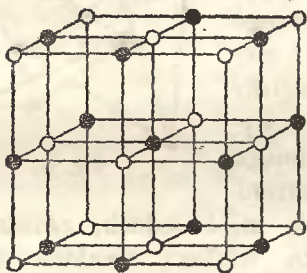


Fig. 9.

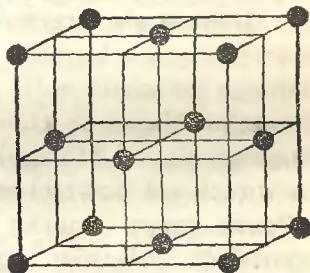


Fig. 10.

siecie odmienne, a mianowicie sieć kubiczną o scentrowanych bokach (Fig. 10). Dwie takie siecie, jedna złożona z jonów $\overset{+}{Na}$ druga $\bar{Cl}$, o tej samej grupie translacji, są tak wstawione jedna w drugą, że uzupełniając się tworzą sieć punktów kostkową o translacji zasadniczej (o kierunku krawędzi kostki), o połowę krótszej. Każdy jon dodatni jest otoczony sześcioma ujemnymi, a każdy ujemny sześcioma dodatnimi. Odległość najmniejsza dwu jonów: $\overset{+}{Na}$ i $\bar{Cl}$ wynosi $2,81 \times 10^{-8}$ cm.

11. Opierając się na liczbie $N = 6,06 \times 10^{23}$, (10, str. 74) i na ciężarze właściwym tej substancji, znajdujemy ilość cząsteczek

w oznaczonej objętości. Znać odległości centrów dyfrakcyjnych, budujemy nie tylko wymiary pewnych równoległościennych jednostek strukturalnych dla oznaczonej substancji, ale wnioskujemy o ilości związanych z taką jednostką cząsteczek chemicznych, a także i o jej wadze. Porównanie ciał o podobnej strukturze i analogicznym składzie chemicznym (izomorfowych), różniących się chemicznie tem, że jeden rodzaj atomów zastępujemy przez inny, pozwala ocenić, jakie zmiany w odległościach strukturalnych, w objętości i kształcie wspomnianych równoległościennów elementarnych, powoduje zastąpienie atomów (jonów) pewnego pierwiastka przez atomy (jony) innego pierwiastka. Zmiany te są oczywiście zależne w pewien sposób od własności zastępujących się pierwiastków. Zwiemy je morfotropicznymi.

Jako prosty przykład zmian morfotropicznych przytoczymy ¹⁾ tu szereg: *KCl*, *KBr*, *KJ*. Układ regularny; typ ustroju podobny do ustroju *NaCl*: jony $\overset{+}{K}$ i $\bar{Cl}$ tworzą dwie siatki sześciennie o scentrowanych ścianach, wstawione jedna w drugą w ten sposób, że uzupełniają się w prostą sieć kostkową. Odległość dwu najbliższych jonów jednakowych w kierunku krawędzi sześciannu $= a$.

	Ciężar właściwy (20°)	Objętość równoległościennu elementarnego: $V = a^3$ w cm^3	a w cm .
<i>KCl</i>	1,990	$247,72 \times 10^{-24}$	$6,28 \times 10^{-8}$
<i>KBr</i>	2,756	$285,52 \times 10^{-24}$	$6,585 \times 10^{-8}$
<i>KJ</i>	3,134	$350,24 \times 10^{-24}$	$7,049 \times 10^{-8}$
<i>KCN</i>	1,546	$279,73 \times 10^{-24}$	$6,54 \times 10^{-8}$
<i>NaCl</i>	2,173	$177,58 \times 10^{-24}$	$5,628 \times 10^{-8}$

Zastępowanie anjonów $\bar{Cl}$ przez $\bar{Br}$, wreszcie przez $\bar{J}$ w szeregu pierwszych trzech związków, powoduje kolejno rozsuwanie się jonów jednakowych, jak to widać z podanych w ostatniej kolumnie wyżej przytoczonej tabliczki wartości na a . Grupa (*CN*) wywiera podobny wpływ jak *Br*. Wszystko to przy niezmiennym kationie $\overset{+}{K}$.

¹⁾ Według F. Rinnego: Das feinbauliche Wesen der Materie. Berlin 1922, str. 93.

Rzeczą godną uwagi jest fakt, że zdolność tworzenia kryształów mieszanych dwu soli rośnie w miarę podobieństwa kształtu i wymiarów elementarnych równoległościaków.

12. Dalsze wnioski z doświadczeń opisanych odnoszą się do budowy samych atomów i ich „symetrii“, wiążącej się z ugrupowaniem elektronów w sferze zewnętrznej. Przyjęcie pewnej symetrii jest rzeczą nieraz konieczną celem wytłumaczenia symetrii kryształu — odmiennej niż modelu, zbudowanego z kulistych cząsteczek rozmieszczonych w przestrzeni, na podstawie wyników badań doświadczalnych. „Symetria“ atomów tego samego pierwiastka może być w różnych związkach odmienna. Próby powiązania z temi rozważaniami poglądów o wartościowości nie dały jeszcze jasnych wyników, chociaż w niektórych przypadkach pewne proste wyobrażenia zdają się nasuwać same przez się. Odnosi się to np. do opisanego wyżej przypadku węgla w diamencie.

Ze ściśle krystalograficznych oznaczeń próbujemy już nawet, ze względu na „symetrię atomów“, snuć wnioski o strukturze samych atomów.

13. Odległości atomów pierwiastków w szeregach związków składają się addytywnie z pewnych stałych, które można uważać za objętości atomów (raczej ich ściślejszych sfer działania) pomyślnych w kształcie kul, dla których promienia wypadłoby zatem przyjąć pewną oznaczoną wartość, cechującą dany pierwiastek. Oczywiście jest rzeczą, że przez fakt ten zyskuje na znaczeniu teoretyczne zagadnienie poznania typów prawidłowych układów kul o tym samym promieniu lub układów złożonych z kilku rodzajów kul o różnych danych promieniach. Jest rzeczą interesującą, że struktury, w których takie kulisto pomyślane przestrzenie, przynależne do poszczególnych atomów w kryształach, mają ułożenie najgęstsze — „closest packing“, są szczególnie często realizowane, przynajmniej w przybliżeniu.

14. Stosując promienie Roentgena do badania kryształów, możemy wreszcie śledzić zmiany w ustroju kryształów podczas zmiany jednej modyfikacji w drugą. Twardy, przezroczysty diament, krystalizujący w układzie regularnym, przechodzi w pewnych warunkach w miękki grafit o połysku metalicznym układu

heksagonalnego. Badanie ustroju wyjaśnia, iż zmiana polega na tem, że jedna z dwu sieci regularnych diamentu (kubicznych, o scentrowanych bokach) jest tu przesunięta w stosunku do drugiej wzdłuż przekątni kostki elementarnej o jedną trzecią część tej przekątni, a nie o jedną czwartą, jak w diamencie, nadto zaś elementarne romboedry wydłużają się tu w kierunku tej przekątni jako osi. Odległości strukturalne w płaszczyznach prostopadłych do tego kierunku pozostają prawie niezmienione. Oś ta nabiera charakteru osi heksagonalnej, gdy w diamencie była trójkrotną, inne zaś osie trójkrotne diamentu tracą swój charakter.¹⁾

15. Od ustroju kryształów zależą takie własności jak łupliwość, translacje, a związane są z nim w pewien sposób wszystkie własności kryształu. Poznanie tych związków jest rzeczą przyszłości ²⁾.

Na zakończenie przytoczymy tu jako przykład stałe sieci dla szeregu pierwiastków.³⁾

1) Ustrój sieci kubicznej o scentrowanych bokach każdego sześciianu elementarnego (Fig. 10, str. 76) mają kryształy pierwiastków:

Krawędź elementar-
nego sześciianu
a w cm.

<i>Cu</i>		3,61.10 ⁻⁸
<i>Ag</i>		4,06.10 ⁻⁸
<i>Au</i>		4,07.10 ⁻⁸
<i>Ca</i>		5,56.10 ⁻⁸
<i>Al</i>		4,07.10 ⁻⁸
<i>Ce</i>		5,12.10 ⁻⁸

Tu należą dalej:

Th, Pb, Co, Ni, Rh, Pd, Ir, Pt ($a = 3,930 \times 10^{-8}$ cm.).

¹⁾ Zwracamy uwagę, że wymienione tu wnioski opierają się na podstawie doświadczalnej, gdy tymczasem dawniejsze na ten temat roztrząsania były natury ściśle spekulatywnej.

²⁾ Przytoczę tu np. próbę P. E. Ewald'a (Inaug.-Diss. Getynga, 1914) obliczenia stałych optycznych dla rombowej sieci przestrzennej, której węzły są zastąpione przez zdolne do drgań elektrony.

³⁾ Według wykazu A. Sommerfeld'a: Atombau etc. 1922.

2) Ustrój sieci kubicznej scentrowanej (Fig. 11):

Li, Na ($a = 4,30 \cdot 10^{-8}$ cm.), *Ta, Cr, Mo, W, Fe $_{\alpha}$, Fe $_{\beta}$* .

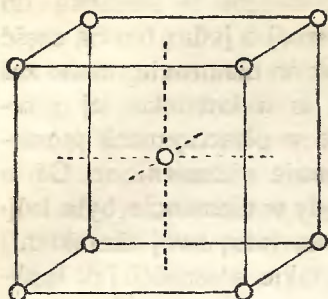


Fig. 11.

3) Ustrój diamentu okazują jeszcze pierwiastki: *Si* i *Sn* (cyna szara). Cyna biała jest tetragonalna.

4) Sieć romboedryczną mają: grafit, *As, Sb, Bi*.

5) Sieć heksagonalną, zbliżoną do „najgęstszego ułożenia“ kul o równym sobie promieniu: *Be, Mg, Zn, Cd, Ti, Zr, Ce, Co $_{\beta}$, Ru, O*.

§ 14. ODWZOROWYWANIE RÓŻNIC WŁASNOŚCI FIZYCZNYCH KRYSTAŁU W RÓŻNYCH KIERUNKACH ZAPOMOCĄ STOSOWNYCH POWIERZCHNI. KRYSTAŁY I SYMETRIA TAKICH POWIERZCHNI.

1. W podręcznikach krystalografii fizycznej wiele miejsca poświęca się studjowaniu anizotropowości ciał krystalicznych, przejawiającej się w tem, że ta sama podniecia zewnętrzna wywołuje w różnych kierunkach kryształu skutki odmienne. Oto np. kula wycięta z kryształu przechodzi pod wpływem jednostajnej zmiany temperatury naogół w elipsoidę trójosiową a tylko w specjalnym przypadku ciał układu regularnego przeobraża się w kulę, której promień zmienia się ze zmianą temperatury. Różnicę w zachowaniu się kryształu w różnych kierunkach, pod względem rozszerzalności cieplnej, możemy tu zatem odwzorować przy pomocy pewnej elipsoidy. Jeśli tedy zwracamy uwagę na tę kategorię własności fizycznych, które do zupełnego ich oznaczenia wymagają, oprócz pewnej wartości liczbowej, także i podania kierunku, do którego się ta wartość liczbowa odnosi, to zachowanie się ośrodka jednorodnego można odwzorować zapomocą pewnej powierzchni, uzyskanej w sposób następujący: z dowolnie obranego punktu *O* wykreślamy we wszystkich kierunkach wektory, związane w pewien sposób z zachowaniem się kryształu w każdym oznaczonym kierunku pod wpływem rozważanej przyczyny ze-

wewnętrznej¹⁾, działającej w każdym kierunku z tem samem natężeniem; końce tych wektorów oznaczają nam szukaną powłokę, charakterystyczną dla danej własności, a jej forma i symetria stanowi charakterystyczny przedmiot krytalografji fizycznej.

Własności takie, jak rozszerzalność cieplna, przewodnictwo ciepła i elektryczności, termoelektryczność, indukcja magnetyczna i elektryczna, przenoszenie się światła, tem się odznaczają, że jeśli znamy zachowanie się ośrodka pod względem jednego z tych zjawisk w trzech do siebie prostopadłych dla danego ośrodka charakterystycznych kierunkach i zachowanie się to przedstawimy zapomocą trzech do siebie prostopadłych wektorów, to można wydedukować wartość numeryczną wektora, będącego w oznaczonym związku z rozważaną własnością, w dowolnym kierunku z odpowiedniego promienia wodzącego elipsoidy, opisanej na trzech wspomnianych wektorach jako półosiach.

Chociaż więc powierzchnia fali świetlnej, t. j. miejsce geometryczne wszystkich punktów, do których równocześnie dochodzi ruch świetlny, wywołany w jednym punkcie kryształu, jest dość skomplikowana, to jednakowoż zostaje ona zawsze w związku z pewną elipsoidą, której znajomość pozwala w prosty sposób na skonstruowanie powierzchni fali świetlnej badanego kryształu.

Stosunki osi głównych takiej elipsoidy i położenie ich w odniesieniu do krawędzi kryształu są dla danego ciała krystalicznego charakterystyczne.

Są jednakowoż własności, które takiego związku z elipsoidą nie dopuszczają i tu powierzchnia charakterystyczna jest bardziej skomplikowana. Np. do scharakteryzowania własności sprężystych w różnych kierunkach ośrodka krystalicznego potrzeba w ogólnym przypadku 21 stałych. Z symetrią kryształów liczba tych współczynników redukuje się, np. w układzie regularnym, przy odpowiednim wyborze układu spólrzędných, do trzech.

2. Szczególne stanowisko wśród własności fizycznych zajmują własności związane z szybkością wzrostu, czy też rozpuszczania się kryształów w różnych kierunkach. Dwa kierunki jedno-

¹⁾ Podnieta zewnętrzna może być wielkością „wektorjalną“, jak np. nacisk, który oznaczamy przez podanie pewnej wartości liczbowej i kierunku, albo też „skalarną“, np. jednostajna zmiana temperatury, do której oznaczenia potrzeba tylko wartości liczbowej.

znaczne pod względem tych własności zachowują się, jak to doświadczenie wykazuje, jednoznacznie ze względu na wszystkie własności fizyczne; nie ma tu jednak oczywiście odwrotności.

Z uwagi na symetryczne powtarzanie się kierunków jednoznacznych ze względu na jakąś oznaczoną własność fizyczną ośrodka krystalicznego, możemy mówić o symetrii fizycznej danego ośrodka; symetria ta, jak z powyższego wynika, jest dla różnych własności różna i dla każdej z nich mamy dla danego ośrodka pewną grupę symetrii.

Pod względem zachowania się fizycznego najbardziej charakterystyczna dla substancji jest grupa wyprowadzona na podstawie badań własności ścian kryształu, dostrzeganych podczas rozpuszczania się tychże, lub też własność ich szybkości wzrostu, mierzonych przez grubość warstw osiadających w tym samym czasie na różnych ścianach w analogicznych warunkach.

Grupa symetrii, rozpoznana na podstawie takich badań dla danej substancji, jest podgrupą wszystkich grup, charakterystycznych dla innych własności fizycznych i może się albo zlewać, albo też być podgrupą grupy, utworzonej na podstawie badań obrazów sferycznych (§ 10, 6, str. 40) kryształów tej substancji. Grupę tę nazwiemy grupą „symetrii fizycznej” (G).

Ponieważ symetryczny rozwój kryształu zależy od powtarzania się kierunków jednoznacznych pod względem szybkości wzrostu, więc grupa (G) jest zarazem grupą elementów symetrii pewnego wielościanu, przedstawiającego typ formy prostej „ogólnej” rozważanej grupy (G), albo też jest podgrupą grupy tego wielościanu. Zlewa się ona zawsze z grupą wielościanów o najniższej symetrii, będących kombinacją kilku form prostych rozważanej grupy, dopuszczalnych na kryształach rozważanej substancji. Wszystkie ściany jednej formy prostej okazują to samo zachowanie się podczas wzrostu kryształu i ze względu na zjawiska występujące podczas rozpuszczania się.

Ponieważ badania symetrii geometrycznej form krystalicznych ograniczają się zwykle do rozważania symetrii ich obrazów sferycznych, więc dopiero zbadanie zachowania się ścian kryształu przy wytrawianiu prowadzi do rozstrzygnięcia, czy rozważane ściany należą do tej samej, czy do różnych form prostych.

KRYSTALOGRAFJA CHEMICZNA.

§ 15.

Krytalografja chemiczna zajmuje się przedewszystkiem związkami między własnościami geometrycznemi i fizycznemi ciał krystalicznych a ich składem chemicznym i własnościami chemicznemi, — jest zatem działem chemji fizycznej. Pierwszem nasuwającym się tu zagadnieniem jest zbadanie stanu fizycznego, w którym ciało krystaliczne, o ściśle oznaczonym składzie i budowie chemicznej, znajduje się w równowadze trwałej z otoczeniem w różnych temperaturach pod różnemi ciśnieniami. Zależność tych stanów od zmiennych zewnętrznych (temperatury, ciśnienia a także od stężenia) uwidoczniają t. zw. diagramy stanu poznane już dla szeregu ciał, zwłaszcza zaś dla prostych związków w dość szerokim zakresie. Do wyznaczenia takich diagramów potrzebne są — w części odnoszącej się do stanu krystalicznego (stałego) — pomiary prężności pary, punktów topliwości, nieraz warunków rozpuszczalności, wreszcie zaś oznaczenia temperatur zmiany modyfikacyj, których przekroczenie powoduje dla danego ciśnienia przemianę badanego ciała krystalicznego o oznaczonych własnościach w ciało nowe, o tym samym procentowym składzie chemicznym, ale o innych własnościach fizycznych, — przytem przejście to zachodzi w ten sposób, że zmiana wszystkich własności fizycznych ciała wraz z temperaturą odbywa się w sposób nieciągły. Poznanie warunków zmiany modyfikacyj różnych ciał jest dla krytalografji zagadnieniem szczególnie ważnem. Zależność temperatury, w której następuje zmiana stanu fizycznego ciała krystalicznego, od ciśnienia wyraża się prawem termodynamicznem, wykazującym zupełną analogję do praw znanych dla temperatur topiłości czy też sublimacyi.

Zadanie wyżej postawione staje się skomplikowane, gdy się ma do czynienia z układem, złożonym z większej liczby ciał; dobrym przewodnikiem okazała się tu t. zw. reguła faz¹⁾. Każda

1) Pojęcie fazy w znaczeniu tu użytym wyjaśniamy na str. 202.

modyfikacja krystaliczna przedstawia jedną fazę, a w przypadku związku, którego skład procentowy wyrażamy wzorem H_2O , znamy dokładniej, oprócz fazy gazowej i ciekłej, pięć odmiennych faz krystalicznych (polimorfizm), z których jedną jest zwykły lód.

Dalszym tematem krystalografii chemicznej jest badanie kryształów mieszanych. Uważamy je w myśl teorii Van't Hoff'a za roztwory stałe, przytem przez słowo roztwory rozumiemy ciała, których skład chemiczny a w łączności z tem i własności fizyczne, mogą się zmieniać w sposób ciągły. W następstwie zastosowano do takich kryształów i prawa odnoszące się do rozcieńczonych roztworów.

Badanie ciśnienia osmotycznego i stężenia roztworów, znajdujących się w równowadze z kryształami mieszanymi, doprowadziły do ustalenia kilku typów ciał tej kategorii. Kryształy mieszane tworzą szczególnie łatwo t. zw. substancje izomorfowe, które w stanie czystym posiadają kryształy bardzo do siebie podobne, o podobnym ustroju wewnętrznym, scharakteryzowanym przez grupę translacyj o translacjach mało różniących się od siebie.

Podobieństwo translacyj wytwarzających grupę translacyj substancji sprzyja więc mieszaniu się substancyj; analogicznie podobieństwo translacyj leżących w pewnych płaszczyznach sprzyja tworzeniu się zrostów prawidłowych kryształów różnych substancyj, chemicznie odmiennych, przytem płaszczyzny o zbliżonych translacjach zrastają się sobą.

Niezmiernie obszerne pole badania uzyskała krystalografia chemiczna przez zastosowanie promieni Roentgena do badania ustroju kryształów. Jedno z najtrudniejszych zadań chemji: poznanie przestrzennego ugrupowania atomów w ciałach stałych, znalazło w tych badaniach krystalograficzno-fizyczno-chemicznych rozwiązanie dla szeregu substancyj. Rozpoznano tu nie tylko typ układu, lecz wymierzono odległości atomów: stereochemja uzyskała przez to podstawę doświadczalną (patrz „Kryst. fiz.” § 13, str. 69).

Rzecz prosta, że badania te dają całe mnóstwo faktów i wniosków, odnoszących się do różnych dziedzin: do struktury wewnętrznej i symetrii atomów, znaczenia wartościowości chemicznej, sposobu wiązania się pierwiastków i t. d.

Do ważnych wniosków doprowadza badanie związku między własnościami fizycznymi a konstytucją chemiczną w ciałach o niesymetrycznej budowie chemicznej. Wskazana przez Pasteur'a, a opracowana przez Van't Hoffa i Le Bel'a teoria „asymetrycznego“ atomu węgla wytworzyła się dzięki zastosowaniu metod krystalograficznych do chemii i wciąż pozostaje w ścisłym związku z krystalografią dzięki przyjmowaniu wpływu cząsteczki chemicznej na ustrój kryształu. Teoria ta ma duże znaczenie z powodu wielkiego rozpowszechnienia ciał chemicznie „asymetrycznych“ w przyrodzie żywej, w organizmach zwierzęcych i roślinnych. Obecnie zastosowano tę teorię do atomów innych pierwiastków o wartościowości większej niż 3. Mówimy o „asymetrycznych“ atomach siarki, selenu, krzemu i cyny oraz pięciowartościowego azotu i fosforu. Podobnie jak w przypadku związków o asymetrycznych atomach węgla udało się już rozbić niektóre związki o asymetrycznych atomach siarki, selenu i cyny na dwa związki o tym samym składzie chemicznym pod względem stosunków wagowych, lecz skręcające płaszczyznę polaryzacji w warunkach odpowiednio równych o ten sam kąt, lecz w kierunkach przeciwnych (związki enancjomorficzne). Prowadzone przez tę teorię doświadczenia dały już szereg ważnych wyników.

Osobno wymienić należy poszukiwanie związków między stałymi krystalograficznymi a miejscem atomów w układzie perjodycznym pierwiastków w przypadku, gdy atomy te zastępują się wzajemnie w badanych ciałach, czy we wzorach stereochemicznych ciał rozważanych.

Rzec można, że teoria ustroju i doświadczalne wyniki badań przez nią wywołanych są podłożem, spajającym wszystkie najrozmaitsze zjawiska świata kryształów w jedną całość, i powodują odrębność, ale i zwartość krystalografii jako nauki.

PŁYNNE KRYSZTAŁY I CIECZE KRYSTALICZNE.

§ 16.

1. Omówimy teraz pokrótce zjawiska, których istota nie została jeszcze ostatecznie wyjaśniona, o których posiadamy jednak wiele zasługujących na uwagę spostrzeżeń, przedstawionych w bardzo już obszernej literaturze.

Istnieją substancje jednorodne, które w pewnych, oznaczonych warunkach zachowują się optycznie anizotropowo, przybierają formy wielościanów o zaokrąglonych krawędziach, a tak są miękkie, że z łatwością rozplývają się w „krople“.

Wiadomo nam z krystalografji, że w znacznej części niewątpliwe kryształy, jak kryształy lodu, soli kamiennej i t. d., nie są tak „stałe“, za jakie się je powszechnie zwykło uważać, i że można już przez mały nacisk wywołać przesuwanie się (translację) warstw kryształu wzdłuż pewnych płaszczyzn, czasem w pewnych tylko kierunkach, nie zrywając łączności części przesuniętych z pozostałemi; jednorodność kryształu zostaje przytem zachowana w całej jego rozciągłości.

W kryształach lodu takie przesuwanie się części kryształu następuje wzdłuż płaszczyzn prostopadłych do osi symetrii trójkrotnej; w kryształach soli kamiennej—wzdłuż płaszczyzn przekątni sześciannu umiarowego, wyciosanego dzięki doskonałej łupliwości tego ciała wzdłuż trzech płaszczyzn do siebie prostopadłych; w kryształach złota, srebra, miedzi — płaszczyznami „translacyj“ są płaszczyzny, równoległe do ścian regularnego ośmiościanu naturalnych kryształów. Można by sobie więc wyobrazić, że płynność „ciekłych“ kryształów polega na wzmożonej zdolności przesuwania się warstw kryształu względem siebie (translacji), i że różnica pomiędzy temi kryształami a kryształami zwykłemi nie jest istotna.

Zauważamy tu jednak różnicę. Olejan amonowy, $C_{18}H_{33}(NH_4)O_2$, rozpuszczony w ciepłym alkoholu, wydziela się w temperaturze nieco wyższej niż pokojowa w postaci podwójnych piramidek heksagonalnych, bardzo wydłużonych i bardzo miękkich,—które uważamy za typowe „płynne kryształy“. Dwa takie

kryształki, zbliżone do siebie, zlewają się w jeden kryształ o podwójnej objętości, podobnie jak zlewają się z sobą dwie krople płynu, — zjawisko, którego w zwykłych kryształach nie znamy. W tem leży wyłączość „płynnych kryształów“.

Oprócz olejanu amonowego możemy przytoczyć jako przykłady takich ciał: azoxybenzoesan metylu, octan cholesterylu, estry kwasu para - azoxybenzoesowego.

Gdy kryształki tych ciał zetkną się w położeniach takich, że ich osie wydłużenia są do siebie prostopadłe, to niekiedy tworzą się „bliźniaki“.

2. Do zjawisk jeszcze bardziej uderzających, które się jednak wiążą bezpośrednio z poprzednio opisanymi, należy istnienie t. zw. cieczy krystalicznych, których wykrycie przez F. Reinitzera (1888) zwróciło uwagę na całą tę kategorię zjawisk. Uczony ten zauważył, że benzoesan cholesterylu ma prócz krystalicznej fazy stałej dwie fazy ciekłe: jedną powstającą przez topienie się kryształów w t. 145° , załamującą światło podwójnie, optycznie anizotropową, — druga zaś faza, optycznie izotropowa, powstaje z pierwszej przy przekroczeniu t. 179° . Zjawisko to jest odwracalne.

Badał je dalej O. Lehmann, który zebrał najwięcej materiału spostrzeżeń w tym kierunku. Takich cieczy „krystalicznych“ poznano już sto kilkadziesiąt wśród związków organicznych; przeważnie są to wieloatomowe pochodne benzolu. Nie posiadają one zwykle żadnej formy własnej, przybierają kształt naczyń, są jednak bez wpływów zewnętrznych optycznie anizotropowe, przytem podwójne załamanie bywa niekiedy stosunkowo znaczne. Różnica dwu głównych współczynników załamania w ciekłym para-azoxy-anizolu i takim samym fenetolu wynosi $\gamma - \alpha = 0,33$ (według O. Lehmana). Naogół zachowują się te ciecze tak, jak kryształy optycznie jednoosiowe.

Zachowanie się tych substancyj było badane w warunkach następujących.

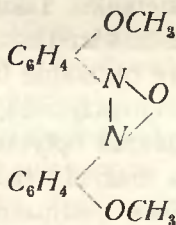
1) Ciecz krystaliczna (czy kryształ ciekły) znajduje się w zawieszeniu w innym, izotropowym ośrodku np. w oliwie, glicerynie, w kalafonji.

2) Drugi sposób badania tych ciał polega na tem, że wytwarza się cieniutką warstwę jednorodną substancji badanej. W tym

celu wystarczy kroplę cieczy „krystalicznej“ spoczywającą na szkiełku przedmiotowym przykryć cienkim szkiełkiem o powierzchniach płaskich i równoległych; przez odpowiednie kilkakrotne poruszanie szkiełka uzyskujemy pożądaną warstwę. Podwójne załamanie, zdradzające się poprzednio przy badaniu warstewki, umieszczonej między skrzyżowanymi nikolami, rozjaśnieniem i barwami interferencyjnymi, znika teraz: badanie w świetle zbieżnem wykazuje, że warstwa cieczy zachowuje się optycznie tak, jak kryształ optyczny jednoosiowy, badany w kierunku osi optycznej. W całej rozciągłości warstwy mamy teraz oś optyczną substancji skierowaną prostopadle do płaszczyzn płytek szklanych, między którymi substancja jest zawarta. Stąd optyczna jednorodność w zachowywaniu się całej płytki, wytwarzająca się przez powyższe postępowanie.

W kierunkach, nachylonych pod kątem odmiennym od prostopadłego do płaszczyzny płytek, występuje podwójne załamanie.

Zauważyć należy, że wpływ nacisku i tarcia substancji między szkiełkami na ustawianie się osi optycznych równoległe do siebie i prostopadle do płytki nie sięga daleko w głąb cieczy krystalicznej. W para-azoksyanizolu:



jednorodność utrzymuje się tylko w warstewce grubości do 0,02 mm.

Szereg cieczy krystalicznych okazuje silny dychroizm (różną zdolność absorbcji drgań świetlnych różnej częstości, zależną od kierunku drgań), niektóre zaś skręcają płaszczyznę polaryzacji i to w stopniu o wiele większym, niż to bywa w zwykłych kryształach. Podczas gdy płytka kwarcu grubości 1 mm. skręca (w kierunku osi optycznej) płaszczyznę polaryzacji światła żółtego o 25° mniej więcej, to ester amyłowy kwasu anizol-amino-

cynamonowego skręca w podobnych warunkach o 4000° , a inny związek nawet o 12000° .

Z innych własności wymienimy jeszcze wpływ pola magnetycznego na te związki, polegający na tem, że oś optyczna cieczy ustawia się w kierunku linii sił magnetycznych.

Między zachowaniem się ciekłych kryształów a cieczy krystalicznych istnieją wszystkie możliwe przejścia.

Dla scharakteryzowania powyższych stanów substancyj trzeba podkreślić stałość punktów przemiany stanu krystalicznego w stan ciekły krystaliczny i ciekłego krystalicznego w stan izotropowy, oraz odwracalność tych zmian, wykazujących zupełną analogję do zmian modyfikacyj w stanie stałym, np. siarki rombowej w jednoskośną i odwrotnie. Wspomniany związek parazoxyanizol topi się w 116° , w zakresie od 116° do 134° (pod zwykajnem ciśnieniem) jest cieczą anizotropową, a powyżej tej temperatury jest cieczą zwykłą, izotropową.

Stwierdzono istnienie substancyj, które posiadają dwie, a nawet większą liczbę faz ciekłych krystalicznych, o dobrze oznaczonych punktach przemiany; fazy te różnią się własnościami optycznymi i innymi fizycznymi, np. tarcie wewnętrznem.

3. Powyżej opisane zachowanie się tych ciał jest sprzeczne ze zwykłym pojęciem cieczy, według którego ciecz powinna, ze względu na przemieszczanie się cząsteczek o najrozmaitszych położeniach, okazywać we wszystkich kierunkach średnio (statystycznie) to samo zachowanie się — czyli być izotropową. Trudno też przyjąć w cieczach krystalicznych, nie okazujących nieraz najmniejszej nawet skłonności do przyjmowania własnej postaci wielościennej, istnienie prawidłowych ugrupowań atomów czy cząsteczek według sieci przestrzennej.

Wobec tego starano się zjawiska powyższe w rozmaity sposób tłumaczyć, wykazując niejednorodność¹⁾ materiału i t. d. — czem na tem miejscu nie możemy się zajmować bliżej.

¹⁾ J. Wulff (Zeitschr. f. Kristallogr. 1909, 46, 261) przyjmuje w cieczach krystalicznych ustrój złożony: izotropowe jądra bytyby otoczone błoną podwójnie załamującą.

Pewne światło rzucają na tę kwestję chemiczne badania D. Vorländera, który wykazał, że substancje posiadające własności ciekłych kryształów czy cieczy krystalicznych mają tę cechę wspólną, że odznaczają się specjalną linią budową cząsteczek (Fig. 12). Przyjmujemy zatem, że cząsteczki te oddziałują

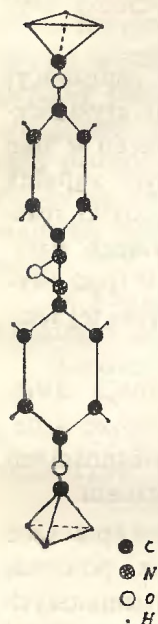


Fig. 12.

na siebie w ten sposób, że ustawiają się równolegle swymi osiami wydłużenia; dookoła tej osi każda może wykonywać swobodnie ruchy rotacyjne. Oś wydłużenia nabiera zatem własności osi izotropizmu, a ciecz zachowuje się jak kryształ optycznie jednoosiowy. Podwójne załamanie byłoby tu własnością samych cząsteczek, które w pewien, acz słaby sposób, oddziaływałyby na siebie, — własność ważna dla poglądów o wzroście i ustroju ciał stałych, której jednak inne zjawiska nie wykazywały.

Pogląd powyższy, zgodny z doświadczeniami, zdaje się usuwać trudności i sprzeczności nasuwające się wskutek tych odkryć.

Pogląd ten zużytkowano zwłaszcza w literaturze angielskiej do teoryj ustroju kryształów i tłumaczenia związków własności substancyj chemicznych z własnościami krystalograficznymi (W. Barlow, W. J. Pope). Ważne w tym kierunku wydają się doświadczenia F. Grandjean'a (Bull. de la Soc. franç. Minéral. 39, 1916, 164 i 40, 1917, 69), który wykazuje, że osie optyczne cieczy krystalicznych przybierają w zetknięciu z płaszczyznami łupliwości różnych ciał (aurypigmentu, blendy cynkowej, soli kamiennej, sylwinu, muskowitu i t. d.) położenie prawidłowe, związane zwykle bezpośrednio z symetrią kryształu.

BIBLIOGRAFJA.

Treść: Uwagi wstępne. — I. Ważniejsze rozprawy i dzieła klasyczne. — II. Dzieła i prace omawiające historję krystalografji. — III. Podręczniki i monografie. — IV. Wykaz stałych krystalograficznych. Atlasy kryształów. Wydawnictwa periodyczne. Opisy przyrządów krystalograficznych.

UWAGI WSTĘPNE.

Bibliografja poniżej podana obejmuje wszystkie działy krystalografji pokolei, złączone w rozdziale „Bibliografja“ ze względu na ścisłą łączność poszczególnych działów krystalografji. Większość wymienionych prac mogłaby być według swej treści zaliczona co najmniej do dwóch działów i z tego względu jest rzeczą słuszną zebrać je w rozdziale tworzącym odrębną całość.

Studjowanie krystalografji — jak każdej nauki — można prowadzić różnemi drogami. Oto samouk Stopnia IIIa (niższego) rozpocznie naukę od podręczników, samouk Stopnia IIIb większą może odnieść nieraz korzyść ze studjowania klasycznych rozpraw specjalnych. Oczywiście, ze względu na terminologję, zawsze będzie musiał wziąć podręcznik do ręki.

Rozpoczęliśmy bibliografję od rozpraw podstawowych. Porządek taki uzasadniamy tem, że pełne zrozumienie stanu pewnej nauki — krystalografji zaś w szczególności — najłatwiej osiągnąć, gdy się pozna jej rozwój historyczny. Brak nam, niestety, nowszego opracowania krystalografji z tego punktu widzenia, a w dziale o pracach z historii krystalografji możemy czytelnikowi wskazać tylko starsze źródła lub dzieła, w których krystalografja opracowana jest raczej przygodnie. Przedstawienie zaś historii rozwoju krystalografji w postaci wstępu w tomie niniejszym przekraczałoby ramy Poradnika. By temu brakowi choć w części zaradzić, umieszczamy naprzód bibliografję dzieł i rozpraw klasycznych, celowo zebraną, w której, obok tytułu, podajemy krótko, choćby w kilku słowach, główną treść rozprawy, stanowiącą jej wartość dla postępu nauki. Ułożyliśmy te prace chronologicznie w tej myśli, że uważny czytelnik już z czytania tego artykułu zdoła sobie sam wytworzyć obraz, jakimi drogami postępowała tu myśl ludzka. Czytelnik obeznany z rozwojem fizyki i chemji spostrzeże, jak

silnie oddziałują ogólnie poglądy naukowe i stan innych nauk na rozwój krytalografji, i łatwiej zrozumie jej stan obecny.

Wreszcie uwaga następująca. Aby wyróżnić dzieła i prace, których studjowanie uważamy za szczególnie polecenia godne, opatrujemy je gwiazdką. Podział na „bardziej” i „mniej” polecenia godne dzieła stosujemy tylko do literatury obcej, gdyż z ubogą literaturą polską każdy czytelnik polski zapoznać się winien, w części — ze względu na zasługującą na to ich treść, a zawsze — ze względu na wprowadzoną w nich polską terminologję.

Dzieła i prace ważniejsze podane są zwykłym drukiem, prace zaś, które tylko z pewnych względów (np. historycznych) zasługują na uwagę, albo są ważne dla pewnych specjalnych zagadnień, podajemy *petitem*.

Dla uniknięcia nieporozumień wyjaśnimy jeszcze, że w przypadku, gdy przytaczamy rozprawy, które się ukazały w wydawnictwach periodycznych, podajemy zwykle obok tytułu wydawnictwa trzy liczby. Jedna z nich, zwykle pierwsza, oznacza datę (rok) wydawnictwa, druga, pisana kursywem, tom wydawnictwa, trzecia zaś stronę, od której zaczyna się dana rozprawa. Dwie liczby przedzielone kreską oznaczają pierwszą i ostatnią stronę rozprawy; gdy przedzielone są przecinkiem, to oznacza to, że odsyłamy do dwu części tej samej rozprawy lub dwu rozpraw odnoszących się do tego samego przedmiotu, umieszczonych w jednym tomie wydawnictwa.

I. Ważniejsze rozprawy i dzieła klasyczne odnoszące się do nauki o kryształach.

§ 1. GEOMETRYCZNE WŁASNOŚCI KRYSTAŁÓW.

N. Steno. *De solido intra solidum naturaliter contento dissertationis prodromus.* Florencja, 1669 (w tłumaczeniu angielskiem: Londyn, 1671).

Steno wykrywa prawo stałości kątów w kryształach tej samej substancji.

A. Mauriti. Ant. Capper. Prodrumus Crystallographiae s. de Crystallis improprie sic dictis commentarium (z 3-ma tablicami). Lucerna, 1723, 4°.

Capper, lekarz lucerneński, wprowadza tu (jak podają) po raz pierwszy słowo: krystalografia i daje opis szeregu kryształów, ilustrowany 53 rysunkami.

Romé de l'Isle. Essai de Cristallographie ou description des figures géométriques. Paryż, 1772.

Tenze: Cristallographie, ou description des formes propres à tous les corps du règne minéral. Paryż, 1783.

Jest to pierwsza systematycznie opracowana krystalografia, w której autor zwraca przedewszystkiem uwagę na stałość kątów różnych kryształów danej substancji i daje wiele rysunków form krystalicznych. De l'Isle rozpoznaje bliźniaczą naturę kryształów gipsu z Montmartre koło Paryża. Na podstawie jego wskazówek mechanik Carangeot skonstruował gonjometr kontaktowy, później używany przez R. J. Haüyego.

René Juste Haüy. Extrait d'un Mémoire sur la structure des cristaux de grenat, appr. par l'Acad Roy. des Sciences le 21 Fevr. 1781; Journal de Phys. 1782, 366.

Mémoire sur la structure des spathes calcaires 1781.

Essai d'une théorie sur la structure des cristaux. Paryż, 1784, str. 236.

Traité de Minéralogie, Paryż, 1801, t. 1-y, str. 494, t. 2-gi str. 617, t. 3-ci str. 588, t. 4-ty str. 693, t. 5-ty (zawiera atlas z 86 tablicami).

Traité de Cristallographie. 2 tomy 8°, z atlasem 4°. Paryż, 1822.

Haüy wykrył podstawowe prawo krystalografii geometrycznej, znane nam jako prawo wymiernych stosunków odcinków lub prawo wymiernych wskaźników (p. „Kryst. geom.” § 2, str. 25 i § 5, str. 30) i stworzył w ten sposób racjonalną podstawę krystalografii geometrycznej. Stwierdził on nadto istnienie ścisłego związku między składem chemicznym a formą kryształu; związek

ten został wprowadzie dopiero później poprawnie wypowiedziany, jednakowoż Haüy może być słusznie uważany za twórcę i tej gałęzi krystalografii chemicznej. O jego teorii ustroju mówimy niżej w § 2 „Bibliografii“.

W pracy p. t. *Sur une loi de cristallisation appelée loi de symétrie* (Mém. du Musée d'Hist. Nat. 1815, t. I), Haüy wypowiada na podstawie spostrzeżeń prawo znane pod nazwą „prawa symetrii“. Oczywiście, prawo to mogło być ściślej sformułowane dopiero później.

W. H. Wollaston. *Description of a reflectiv goniometer.* Philosophical Transact. of the Roy. Soc. of London. Londyn, 1809.

Wollaston zbudował gonjometr refleksyjny, dzięki czemu dokładność pomiarów kątów ściennych na kryształach zwiększyła się bardzo znacznie; przyrząd ten umożliwił dalszy postęp badań nad formą kryształów.

Chr. Samuel Weiss. *De indagando formarum crystallinarum caractere geometrico principali dissertatio*, Lipsk, 1809; **tenże:** przekład Mineralogji Haüy'ego, 1806; **tenże:** *Uebersichtliche Darstellung der verschiedenen natürlichen Abteilungen der Krystallisationssysteme*, Abh. d. Berl. Akad. d. Wissenschaften, Phys. Kl. 1815, str. 289.

Autor wykrywa prawo pasowe (por. „Krystalografja geometryczna“, § 3, str. 28). Kładzie nacisk na geometryczne badanie formy kryształów bez uwzględnienia hipotez o ich ustroju wewnętrznym.

F. E. Neumann. *Principio evolutionis systematum crystallinorum*, Berlin, 1826.

Autor wypowiada prawo pasowe przy użyciu obrazu sferycznego kryształów (por. „Kryst. geom.“ § 10, 6, str. 40).

Porównaj też:

J. A. Monteiro, artykuł w Journ. des Mines 1813, 34, 161

Lévy, artykuł w Ann. d. Chimie 1822, 21, 263.

W. Whewell w pracy pomieszczonej w Phil. Transact. 1825, 1, 87, wprowadza wskaźniki jako symbole płaszczyzn kryształu.

A. Kupffer. Handbuch der rechnenden Krystallogonomie, Petersburg, 1831; **tenże:** w Poggendorfers Annalen der Physik, 1826, 8, 61, 215.

Autor podaje dowodzenie, że prawo wymiernych wskaźników zachowuje swą ważność, jeśli za osie spółrzedne wybierze się dowolne trzy, byle nie w jednej płaszczyźnie leżące, krawędzie kryształu.

* **W. H. Miller.** A treatise on Cristallography. Londyn, 1839. — W tłumaczeniu niemieckiem: Lehrbuch d. Krystallographie, Wiedeń, 1856, str. 328.

Autor wprowadza do krystalografii metodę projekcji stereograficznej oraz Whewellowskie wskaźniki ścian kryształu, zwane obecnie „Millerowskimi”.

Wskaźnikami posługiwali się już przedtem, niezależnie od siebie, G. Grassmann (1829), M. L. Frankenheim i C. Fr. Gauss (1831).

Joh. Fr. Chr. Hessel. „Krystall“ w Physikalisches Wörterbuch Gehler’a 1830, 5, str. 1023—1340, osobno: Krystallogometrie oder Krystallogonomie und Krystallographie. Lipsk, 1830. Wydane także w „Klasykach Ostwalda”, jako tomy 88 i 89; Lipsk, t. I, str. 192; t. II, str. 165.

Hessel pierwszy wyprowadza 32 klasy kryształów. Praca ta była mało znana i przez długi czas nieużytkowana. Styl tej ważnej pracy ciężki, studjowanie jej jest bardzo uciążliwe, i dlatego przeszła ona bez większego wpływu.

Trzydzieści dwie klasy symetrii kryształów wyprowadzili następnie A. Bravais (1849), A. Gadolin (1867) i inni.

* **A. Bravais.** Études Cristallographiques, prés. à l’Academie des Sciences le 26 février 1849, str. 124.

Wielościanny klasy A_2^4 (§ 11, str. 52) są tu wspomniane, chociaż uważane za mało prawdopodobne formy kryształów.

Zamieszczony w rozprawie tegoż autora: Note sur les polyèdres symétriques de la géometrie (Journal de Mathématiques pures et appliquées, publ. par M. Lionville, tome XIV, 141) podział wielościanów według symetrii nie jest jeszcze wyczerpujący.

Bravais nadał krystalografji ścisłość i formę zbliżoną do obecnej.

***A. Gadolin.** Mémoire sur la déduction d'un seul principe de tous les systèmes cristallographiques avec leurs subdivisions — Acta Societatis Scientiarum Fennicae — Helsingfors 1871, 9, str. 1. W wydawnictwie „Klasyków nauk ścisłych“ Ostwald a t. 75, 1896, str. 85.

Rzecz ściśle i jasno przedstawiona.

Do symetrii kryształów odnoszą się dalej godne uwagi prace:

E. S. Fiodorow. Nacząta uczenia o figurach (z 18-tu tabl.). Zapiski Imp. Peterb. Mineralog. Obszcz. (Ser. 2). Petersburg, 1885, 21, 1—277.

P. Curie. Sur les questions d'ordre. Bull. de la Soc. Minéralog. de France, 1884, t. 7, str. 89 i 418.

B. Minnigerode. Untersuchungen über die Symmetrieverhältnisse der Krystalle. Neues Jahrb. f. Mineralogie, Geol. und Palaeontologie, 1887, Beil.-Bd. 5, str. 145—166.

F. Becke. Ein Wort über das Symmetriecentrum. Zeitschr. f. Kryst. 1896, 25, 73.

A. K. Boldyrew. Osnowy geometrieskawo uczenia o simetrii. Zapiski Imper. Peterb. Mineralog. Obszczestwa. (Ser. II). Petersburg, 1907, 45, 321—416.

G. Wulff. Die Symmetrie-Ebene als Grundelement der Symmetrie, Zeitschr. f. Kryst. 1896, 27, 566

§ 2. TEORJA USTROJU.

a) Rozważania teoretyczne.

Robert Hooke. Micrographia in fol., z 38 tabl. Londyn, 1667.

R. Hooke usiłował wytworzyć sobie obraz ustroju wewnętrznego kryształów alunu i soli kamiennej, ustawiając obok siebie kule o równych sobie promieniach. Z takich agregatów kul wnioskował on o postaciach kryształów tych substancyj.

Domenico Gugliemini. Riflessioni filosofiche dedotte dalle figure de'sali. Bolonja, 1688. **Tenże:** De salibus dissertatio epistolaris. Wenecja, 1705.

Autor dostrzega pierwszy, że kryształy dają się łupać wzdłuż płaszczyzn równoległych do tej samej płaszczyzny. Na podstawie płaszczyzn łupliwości wnioskuje o postaci cząsteczek elementarnych, z których buduje kryształy. Te cząsteczki elemen-

tarne Guglieminiego mają kształt umiarowego ośmiościanu, kostki, słupów rombów z podstawą i t. d.

Chr. Huyghens. *Traité de la lumière où sont expliquées les causes de ce qui lui arrive dans la réflexion & dans la réfraction. Et particulièrement dans l'étrange réfraction du cristal d'Islande* par C. H. D. Z. — Leide, chez Pierre van der Aa, 1690.

Tenże: *Opera reliqua.* Amsterdam, 1728.

Huyghens zajmował się specjalnie własnościami kalcytu. Znane mu postacie kryształów tego ciała składają się, według niego, z drobnitkich elementarnych elipsoidów rotacyjnych, ułożonych równolegle do siebie. Tak pomyślany ustrój kryształu wiąże on z własnościami fizycznymi, z łupliwością romboedryczną i twardością ścian tegoż romboedru kalcytu. Elipsoidalny kształt cząsteczek elementarnych kalcytu Huyghens zaczerpnął ze swych badań optycznych, zakładając, że te cząsteczki mają kształt wykrytej przez niego powierzchni fali nadzwyczajnej w kryształach tej substancji.

Torbern O. Bergman. *Variae crystallorum formae a spatio ortae.* Nova Acta Reg. Soc. Sc. Upsala, Vol I. 1773.

Z faktu, że z różnych form kalcytu można przez łupanie wydzielić geometrycznie do siebie podobne romboedry, Bergman wnosi, że można i naodwrot zbudować każdy kryształ kalcytu z drobnitkich takich romboedrów.

René Juste Haüy. *Essai de Cristallographie.* Paryż, 1772. **Tenże:** *Cristallographie ou description des formes propres à tous les corps du règne minéral.* Paryż, 1783. **Tenże:** *Essai d'une théorie sur la structure des cristaux.* Paryż, 1784, str. 236. **Tenże:** *Traité de Cristallographie,* 2 vol. 8°, atlas 4°. Paryż, 1822. Pierwsza praca: *Extrait d'un Mémoire sur la structure des cristaux approuvé par l'Acad. Roy. d. Sc. le 21 Févr. 1781* (*Journal de Phys.*, 1782).

J. R. Haüy jest twórcą pierwszej systematycznie opracowanej teorii ustroju kryształów. Punktem wyjścia jest dla niego łupliwość wielu ciał krystalicznych. Z najrozmaitszych kryształów kalcytu uzyskuje przez łupanie zawsze romboedry geometrycznie

do siebie podobne, coraz to drobniejsze. Wyobraża sobie tedy, że także najmniejsza cząsteczka, która jeszcze jest kalcytem, ma kształt takiego samego romboedru. Jest to jego „molécule intégrante“.

Z takich to cząsteczek, ułożonych równolegle i ściśniętych obok siebie, buduje różne postacie kryształów kalcytu, układając na ścianach łupliwości romboedru coraz to nowe warstewki takich romboedrycznych cząsteczek, opuszczając jednak przy krawędziach w każdej nowej warstwie po jednym lub więcej szeregu cząsteczek. Analogicznie opuszcza też cząsteczki przy narożach zasadniczego romboedru. Przez taki proces „dekrecscencji“ powstają nowe, choć schodkowate „płaszczyzny“. Według Haüyego wzrastanie kryształów odbywałoby się w sposób następujący: dla każdej substancji istnieje charakterystyczny wielościan (kostka, romboedr etc). Na ścianach kryształu o postaci tego wielościanu, który się najpierw wytwarza, osiadają warstewki złożone z cząsteczek równej wielkości i kształtu, a przez „dekrecscencję“ powstają dalsze, organicznie z sobą związane formy kryształów tej samej substancji. „Stałe geometryczne“ takiego równoległościanu zasadniczego¹⁾ są zatem stałe i (oczywiście w oznaczonych warunkach) charakterystyczne dla substancji.

L. A. Seeber. (Gilbert Ann. d. Physik, 1824, 76, 229) i **G. Delafosse** (Mémoires présentés par divers savants à l'Ac. Roy. d. Sc. de l'Institut de France, t. 8. Paryż, 1843) zastąpili równoległościenne, ściśnięte przylegające cząsteczki Haüyego przez cząsteczki swobodnie zawieszone lub przez punkty materialne (Delafosse).

M. L. Frankenheim. Die Lehre von der Cohäsion. Wrocław, 1835. Tenże: System der Krystalle. Nova Acta Acad. Ces. Leopold. Carol. Naturale Curiosorum 1842, 19, 471.

Frankenheim pierwszy opracowuje sieci przestrzenne pod względem geometrycznym. Zadanie to rozwiązuje poprawnie, lecz nieco później, A. Bravais.

* **A. Bravais.** Études Cristallographiques. Zbiórowe wydanie prac krystalograficznych, Paryż, 4^o, 1866, str. LXII+310, Gautier-Villars, zawiera:

1) Note sur les polyèdres symétriques de la géométrie (str. XIII—XVII). Mémoire sur les polyèdres

¹⁾ t. j. stosunek trzech przecinających się w jednym punkcie krawędzi równoległościanu oraz kąty między nimi zawarte.

de forme symétrique. (Journal de Mathématiques pures et appliquées 14, 141, str. XXI—LXII).

2) Mémoire sur les systèmes formés par des points distribués régulièrement sur le plan ou dans l'espace (prés. à l'Acad. des Sc. le 11 déc. 1848). (Journal de l'École Polytechnique 19, Paryż 1850, str. 1—128).

3) *Études Cristallographiques (str. 101—265):

Première partie. Du cristal considéré comme un simple assemblage des points (prés. à l'Acad. des Sc. le 26 févr. 1849).

Deuxième partie. Du cristal considéré comme un assemblage de molécules polyatomiques (prés. à l'Acad. d. Sc. le 6 août 1849).

Troisième partie. Des macles et des hémitropies (Communiquée à la Soc. Philomatique le 8 juin 1850.)

Bravais jest właściwym twórcą geometrycznej hipotezy oraz fizycznej teorii sieci przestrzennej w kryształach. Dał on poprawną i jasną teorię sieci przestrzennych, opartą w znacznej części na rozważaniach, które zaliczylibyśmy dziś do „teoretyczno-grupowych“, i wskazał drogę, na której następnie teoria ustroju doznała rozszerzenia. Sieć przestrzenną określa przez trzy translacje nierównoległe do jednej płaszczyzny. Ustala 14 typów takich sieci, które, ze względu na elementy symetrii, pozostawiające jeden przynajmniej punkt niezmienny, dzieli na siedem klas, odpowiadających układom krytalograficznym.

Ustrój kryształu wyobraża sobie w ten sposób, że środki ciężkości jakichkolwiek swobodnie zawieszonych cząsteczek krytalicznych zajmują miejsce punktów pewnej sieci przestrzennej. Ze względu na fakt, że kryształy wykazują większą liczbę grup symetrii, niż wspomniane 7 klas sieci przestrzennych, nadaje on tym cząsteczkom formę wielościanów; jeśli wielościany te posiadają wszystkie elementy symetrii sieci, mamy 7 klas *holoedrycznych*; przez stopniowe ujmowanie im elementów symetrii, symetria całego układu zmniejsza się, i w ten sposób Bravais dochodzi do 25 dalszych grup,—w sumie do 32 grup dopuszczalnych dla kryształów i ośrodków krytalicznych.

Bravais uważał jednak grupę A_2^4 (p. § 11, str. 52) za nieprawdopodobną w przyrodzie.

Poglądy Bravais'a na fizyczne znaczenie punktów sieci przestrzennej uległy w miarę postępu nauki oczywiście zmianom i należą dziś tylko do historii. Jego geometryczna teoria sieci przestrzennych i płaskich jest jednak podstawą dzisiejszej teorii ustroju i dopiero teraz uzyskała należne uznanie.

Jedynym brakiem w jego roztrząsaniach o symetrii jest to, że dowody jego co do dopuszczalnych osi symetrii odnoszą się tylko do samych sieci przestrzennych, a Bravais zdaje się *implicite* zakłada, że każdy element symetrii wielościanu umieszczonego w polu sieciowym (ograniczonego przez płaszczyzny sieciowe) jest także elementem symetrii sieci. Twierdzenie takie byłoby mylne, gdyż nietrudno skonstruować wielościan, posiadający osie symetrii trójkrotne, umieszczony w płaszczyznach sieci przestrzennej, pozbawionej tego elementu symetrii. Brak ten można jednak uzupełnić i udowodnić, że grupą symetrii wielościanu sieciowego może być tylko jedna z 32 grup Bravais'a (por. St. Zaremba i St. Kreutz l.c., str. 336).

Chr. Wiener. Die Grundzüge der Weltanordnung. Lipsk i Heidelberg, 1869.

Zdaniem autora prawidłowość w budowie kryształów polega na tem, że rozmieszczenie wszystkich atomów układu dookoła każdego z nich jest takie same, jak dookoła któregośkolwiek innego atomu tegoż układu. Oczywiście założenie takie jest możliwe tylko w przypadku, gdy rozważamy utwór nieograniczony w żadnym kierunku.

* **C. Jordan.** Mémoire sur les groupes de mouvements. Annali di Matematica di F. Brioschi e L. Cremona. Ser. II, t. 2. Milano, 1868, str. 168 i 322.

Autor ustala typy grup przestrzennych i wykazuje, że zagadnienie to rozwiązuje też problemat wyszukania typów prawidłowych układów molekularnych, dopuszczających przekształcenia euklidesowe, jako przekształcenia przeprowadzające cały układ sam w siebie. Rozważa on mianowicie przekształcenie $A_{\alpha, \iota}$, złożone z obrotu dookoła pewnej osi (α) o kąt α .

i translacji t wzdłuż tej osi w oznaczonym kierunku o daną długość (ruch śrubowy). Bravais rozwiązał tylko bardzo specjalne zadanie w porównaniu z pracą C. Jordana.

L. Sohncke. Die unbegrenzten regelmässigen Punktsysteme als Grundlage einer Theorie der Krystallstruktur. — Braun, Karlsruhe, 1876, str. 83. — Tenże: *Entwicklung einer Theorie der Krystallstruktur. Lipsk, 1879, str. 247.

Posługując się metodą opracowaną przez C. Jordana, autor wyszukuje prawidłowe układy punktów Jordana, które mogą mieć zastosowanie w krystalografji. Tylko 65 układów (65 grup) Jordana czyni zadość warunkom wymaganym z krystalograficznego punktu widzenia i dopuszcza grupę translacji, dającą się przedstawić przez trzy translacje nierównoległe do jednej płaszczyzny. Prawidłowe te układy punktów składają się zatem z pewnej oznaczonej ilości sieci przestrzennych, wstawionych w siebie, w sposób oznaczony przez elementy symetrii grupy. Sohncke poddał wyniki Jordana krytycznej rewizji i uzupełnił je w kilku punktach.

* **A. Schoenflies.** Krystallsysteme und Krystallstruktur (z 73 ryc. w tekście). Teubner, Lipsk, 1891, str. 638.

Autor dodaje do przekształceń, rozważanych przez C. Jordana i L. Sohnckego, nowe przekształcenie, będące iloczynem odbicia w płaszczyźnie P i translacji wykonanej w tejże płaszczyźnie. Uwzględniając i takie przekształcenia, znajduje 230 prawidłowych układów punktów i związanych z niemi typów grup przestrzennych. Każda z tych grup zawiera w sobie grupę translacji, wyznaczoną przez trzy translacje a , b , c , nierównoległe do tej samej płaszczyzny, i w tem leży krystalograficzne znaczenie tych grup. Wśród tych 230 typów grup Schoenfliesa znajduje się 65 grup Jordana i Sohnckego.

Metodę i sposób rozważań teoretyczno-grupowych oraz dowody, odnoszące się do elementów symetrii obrotowych i translacji, przejął Schoenflies od C. Jordana, stąd słusznie można mówić o 230 typach Jordana i Schoenfliesa. Grupy należące do 230 typów grup omawianych posiadają własność nastę-

pującą: jeżeli z przekształceń tych grup wydzielić przekształcenia, które pozostawiają przynajmniej jeden punkt niezmienny, to przekształcenia te utworzą grupy, mieszczące się w 32 typach grup krystalograficznych *Bravaisa*. Wyprowadzenie tych 32 rodzajów grup krystalograficznych jest treścią pierwszej części omawianego dzieła.

W związku z rozważaniami z dziedziny teorii grup *Schoenfliesa* ustala typy prawidłowych układów molekularnych, wypełniających całą przestrzeń.

Prawidłowym, nieograniczonym w żadnym kierunku, układem cząsteczek *Schoenfliesa* nazywa układ cząsteczek, nieograniczony w żadnym kierunku, złożony z cząsteczek sobie równych i tak rozmieszczonych w przestrzeni, że „każda z nich jest w ten sam sposób otoczona przez wszystkie inne cząsteczki, co którakolwiek inna cząsteczka”. Dwie figury (cząsteczki) są według terminologii *Schoenfliesa* sobie równe, jeśli mogą być przekształcone jedna w drugą przez przemieszczenie (obrót i translację), albo też przez odbicie w płaszczyźnie (t. j. są sobie zwierciadlano równe). Układów takich jest 230.

Schoenflies wprowadza też pojęcie komórki elementarnej, wykazując, że każdy układ przestrzenny, dopuszczający przekształcenia jednego z 230 typów grup, może być podzielony na komórki (obszary), stykające się ze sobą, równe lub zwierciadlano sobie równe. Każdy punkt, leżący wewnątrz takiej komórki, ma w każdej innej komórce odpowiadający mu punkt analogicznie położony względem elementów ograniczających komórkę, a zbiór wszystkich takich punktów tworzy pewien prawidłowy układ punktów, wypełniający przestrzeń i dopuszczający przekształcenia danej grupy. Wewnątrz jednej takiej komórki niema natomiast dwu punktów, któreby należały do tego samego prawidłowego układu punktów, dopuszczającego przekształcenia rozważanej grupy i w tem leży własność charakterystyczna dla tej komórki. Osie i płaszczyzny symetrii nie mogą przecinać wnętrza takiej komórki elementarnej, której forma jest zresztą w znacznej mierze nieoznaczona.

Przeważna część wyników, otrzymanych przez *Schoenfliesa* była nieco wcześniej uzyskana przez wybitnego rosyjskiego krystalografa E. Fiodorowa inną drogą. O Fiodo-

rowie mówimy jednak po Schoenfliesie dlatego, że praca Schoenfliesa wiąże się swą metodą bezpośrednio z poprzednio omówioną pracą C. Jordana i Sohnckego, wraz z którym tworzy pewną zamkniętą całość.

*** E. Fiodorow.** Naczała uczenia o figurach (z 18 tabl.), Zapiski Imp. Peterb. Mineralog. Obszczestwa, serja 2-ga, 1885, 21, str. 1 — 279.

Tenże: Symetrja koniecznych figur, — tamże 1889, 25, str. 1 — 52.

Tenże: Symetrja prawidłnych sistem figur (z 5-ciu tablicami), tamże 1891, 28, str. 1 — 147.

Wyciągi z prac Fiodorowa w Zeitschr. f. Krystallogr. 1890, 17, 610 i 1893, 21, 679.

Dalej szereg rozpraw tego autora w języku niemieckim w Zeitschr. f. Kryst. 1895, 24, 209 i w następnych tomach tego wydawnictwa.

Fiodorow traktuje naukę o symetrii zupełnie ogólnie i wyznacza możliwe rodzaje symetrii dla: 1) figur o wymiarach skończonych i 2) dla układów wypełniających całą przestrzeń, t. j. dla „jednorodnych“ układów punktów i przestrzeni „jednorodnie podzielonej“. W prawidłowych czyli „jednorodnych“ układach, wypełniających całą przestrzeń, dopuszczalne są oprócz osi symetrii, płaszczyzn symetrii i ich iloczynów jeszcze osie śrubowe i płaszczyzny odbicia, złączonego z translacją równoległą do płaszczyzny odbicia.

Autor wyprowadza najpierw 32 klasy symetrii wielościanów pasowych. Różne rodzaje symetrii Fiodorow charakteryzuje za pomocą specjalnych równań, zawierających symbole istniejących elementów symetrii; spółrzedne punktów odnosi przytem do specjalnie wybranych osi spółrzednych.

Układem prawidłowym figur nazywa autor nieograniczony zbiór figur skończonych, z których każde dwie można przekształcić jedną w drugą przez przekształcenia wyżej wymienione, a cały zbiór figur równocześnie przechodzi przez to przekształcenie w siebie. Układów takich jest 230.

Bardzo szczegółowo zajmuje się Fiodorow kwestją prawidłowego podziału przestrzeni na wielościany. Przestrzeń można wypełnić figurami równymi sobie, równoległymi do siebie, otoczo-

nemi parami płaszczyzn równoległych do siebie—paralleloedrami, albo też wielościanami nierównoległymi do siebie—stereoedrami. Paralleloedry układają się według pewnej sieci przestrzennej. Mogą one posiadać 3, 4, 6 albo 7 par płaszczyzn parami do siebie równoległych. Powierzchnia ostatniej z tych figur, t. zw. heptaparalleloedr przedstawia minimum dla danej objętości.

Ze stereoedrów można zawsze utworzyć grupy w ten sposób, że powstają paralleloedry. Punkty analogicznie umieszczone w każdym ze stereoedrów dają prawidłowy układ punktów.

W. Barlow. Prace w Zeitschr. f. Kryst. 1894, 23, 1 — 63 i 1895, 25, 86.

***Tenze:** Geometrische Untersuchung über eine mechanische Ursache der Homogenität der Struktur und der Symmetrie; mit besonderer Anwendung auf Krystallisation und chemische Verbindung.—Zeitschr. f. Kryst. 1898, 29, 433 — 589.

Tenze i W. J. Pope: The relation between the crystalline form and the chemical constitution of simple inorganic substances.—Transact. of The Chemical Soc. London, 1907, 91, 1150 — 1214.

Barlow wychodzi z układów Sohnckego i wykazuje, że niektóre z tych prawidłowych układów mogą przejść same w siebie przez odbicie w płaszczyźnie, inne zaś nie dadzą się przekształcić w siebie w ten sposób. Punktem wyjścia Barlowa są te ostatnie układy punktów Sohnckego; jeśli jest to możliwe, wstawia on w dany układ Sohnckego obraz tego układu uzyskany przez odbicie zwierciadlane w pewnej płaszczyźnie w ten sposób, że przekształcenia obu układów zlewają się z sobą. Oba takie układy, będące do siebie w takim stosunku, jak (w przybliżeniu) prawa ręka do lewej, a które nazywamy enancjomorficznymi, mogą być związane z sobą zapomocą trzech sposobów: zapomocą 1) centrów symetrii, 2) płaszczyzn symetrii zwykłych lub połączonych z translacją w danej płaszczyźnie i 3) symetrii przemiennej. Stosując te metody, Barlow otrzymał z 65 układów Sohnckego 230 układów Schoenfliesa i Fiodorowa.

Barlow określa strukturę „jednorodną“ w sposób nastę-

pujący. „Ustrój jest jednorodny wtedy, gdy w takim ustroju, nieograniczonym w żadnym kierunku, każdemu punktowi struktury odpowiada nieskończenie wiele punktów o tem samym położeniu w ustroju; wszystkie geometryczne układy punktów danego ustroju (w liczbie nieskończenie wielkiej), oznaczone przez punkty sobie równoważne, są prawidłowymi nieograniczonymi układami punktów, w których ułożenie wszystkich punktów jest dookoła każdego z nich takie same“.

W innej pracy W. Barlow zastanawia się nad gęsto ułożonymi układami kul o tym samym promieniu, lub też złożonymi z kul o dwu lub trzech wymiarach.

Lord Kelvin. On homogeneous Division of Space. Proc. Roy. Soc., 1894, 55, 1 — 16. **Tenże:** On the Division of Space with Minimum Partitional Area. Phil. Mag. 1887, ser. 5, 24, 503, 1 — 514. **Tenże:** The Molecular Tectics of a Crystal. — The second Boyle Lecture, Oxford, 1894. Prace te zostały wydane także w języku niemieckim jako: Vorlesungen über Molekularodynamik und die Theorie des Lichts wydane przez B. Weinsteina. G. Teubner, Lipsk, 1909, str. 590.

Najogólniejszą komórką przy jednorodnym podziale przestrzeni jest tetrakaidekaedron, odpowiadający heptaparaleloedrowi Fiodorowa. Ściany tej komórki mogą nie być płaskie.

Za przykład jednorodnego podziału przestrzeni Kelvin podaje model geometryczny ustroju kwarcu i z tym ustrojem wiąże symetrię własności fizycznych (piezoelektryczność i t. d.) i geometrycznych. Interesujący jest też jego układ mający przedstawiać ustrój lodu.

Ważne są wywody Kelvina na temat „gęstego“ i „najgęstsze“ ułożenia obok siebie ciał sztywnych równych sobie, dowolnego kształtu, a szczególnie kulistych.

Lord Kelvin poruszył też zasadniczo ważny temat w „Molekularnej mechanice kryształu“, Proc. Roy. Soc. Edinburgh, Maj, 1902, rozpatrując warunki trwałości pewnych specjalnych układów cząsteczek, w szczególności układu cząsteczek mogących się poruszać tylko wzdłuż jednej prostej. Do zba-

dania przyjmowanych przez teorię ustroju warunków trwałości prawidłowych układów cząsteczek jednak jeszcze bardzo daleko.

W badaniach nad trwałością prawidłowych układów molekularnych zasługuje na uwagę praca:

A. Nold. Grundlagen einer neuen Theorie d. Kristallstruktur. Zeitschr. f. Kryst. 1905, 40, 13.

Elementarne cząsteczki w prawidłowym układzie wiążą się w pierścienie dla zrównoważenia sił między nimi działających. W jakich warunkach takie pierścienie mogą zamykać się w prawidłowych układach i jakie są ich szczególne własności geometryczne, jest treścią cytowanej pracy. Autor wychodzi oczywiście z pewnych specjalnych założeń. Nold przewidział teoretycznie, później doświadczalnie oznaczony ustrój diamentu.

Z prac zajmujących się ustrojem kryształów w związku z makroskopowem i submikroskopowem zrastaniem się warstewek i części w położeniu nierównoległym, lecz prawidłowem, t. zw. bliźniaczem, wymienić należy przede wszystkim prace E. Mallarda i G. Friedela.

Odnoszące się do tego przedmiotu prace **E. Mallarda** znajdują się w Ann. des Mines, Paryż, 1876, 10, 111, także w Bull. de la Soc. Minéral. Paryż, 1880, 3, 3—20; 1881, 4, 71—79; 1886, 9, 54—74.

G. Friedel. Études sur les groupements cristallins (odbitka z Bull. de la Soc. de l'Industrie minérale, Ser. 4, tom III i IV). Saint-Étienne, 1904, str. 481.

Fréd. Wallerant. Théorie des anomalies optiques, de l'isomorphisme et de polymorphisme. Bull. de la Soc. Minér. 1898, 21, 188—259.

Powyższy spis prac zawiera obok rozpraw klasycznych, także i prace takie, które zawierają pewne myśli godne uwagi, rozwinięte dopiero przez następców. Wiele z takich rozpraw oczywiście pominięto, czytelnik je znajdzie jednak przytoczone w wyżej wymienionych pracach. Ktoby się interesował prawdziwym stosunkiem praw krystalograficznych, z których jedno — prawo sieciowe — łączy się z teorią ustroju, znajdzie rozwiązanie tego problematu w pracy St. Zaremby i St. Kreutza: Sur les fondements de la Cristallographie géométrique. Bull. de l'Acad. des Sc. de Cracovie 1919, 1—473, Kraków.

b) Badania doświadczalne ustroju kryształów zapomocą promieni roentgenowskich.

Po omówieniu prac teoretycznych dotyczących ustroju przytoczymy najważniejsze prace doświadczalne. Wymienimy na tem miejscu tylko kilka prac z tego zakresu, rzecz można epokowych, gdyż wobec wielkiej liczby badań w tym kierunku i świeżości tematu, trudnooby było już teraz zdać sobie sprawę, które z nich są ważniejsze.

Spowodowały one ze swej strony szereg badań teoretycznych, odnoszących się do związku własności fizycznych z ustrojem.

W. Friedrich, P. Knipping und M. Laue. Interferenz-Erscheinungen bei Roentgenstrahlen. Sitzb. d. Münchener Akad. d. Wiss., mat. phys. Kl. 1912, 303.

Autorowie stwierdzają, że kryształy powodują dyfrakcję i interferencję promieni Roentgena, zgodnie z przyjmowanym dla nich teoretycznie ustrojem sieci przestrzennej.

W. H. Bragg i W. L. Bragg. X-rays and crystal structure. Bell, Londyn, 1915.

Autorowie zajmują się zapomocą opracowanej przez nich metody dokładnem oznaczaniem odległości warstw sieciowych w różnych kierunkach oraz oznaczaniem doświadczalnem rozmieszczenia atomów w przestrzeni.

P. Debye i P. Scherrer. Interferenzen an regellos orientierten Teilchen im Roentgenlicht. Phys. Zeitschr. 1916, 17, 277; tamże 1917, 18, 291.

Jest to praca, poświęcona metodzie oznaczania grupy translacyj substancji znajdującej się w subtelnem, nawet koloidalnem rozpyleniu części krystalicznych.

Metody eksperymentowania przy badaniu kryształów promieniami Roentgena znajdzie czytelnik w wyżej przytoczonych pracach klasycznych oraz w licznych późniejszych rozprawach specjalnych z zakresu roentgenografii kryształów. Wykaz tych prac podaje np. F. M. Jaeger w omawianem niżej (Bibliografia III, § 10) dziele. W najnowszych zeszytach pisma periodycznego: Zeitschrift f. Krystallographie (1922), P. Niggli podaje syste-

matycznie streszczenia prac odnoszących się do badań ustroju kryształów promieniami Roentgena.

Szczegółowo opracowano również metody oznaczania długości fali promieni roentgenowskich (por. M. Siegbahn: *Jahrb. d. Radioaktivität und Elektronenkunde* 1916, 13, 296).

§ 3. ROZWÓJ ŚCIAN KRYSZTAŁÓW.

1. Badania praw, odnoszących się do rozwoju ścian na kryształach, mogą mieć znaczenie dla poznania ustroju kryształu. Bravais wiązał częstość występowania ścian kryształu z gęstością retykularną odpowiednich płaszczyzn sieciowych, G. Jungmann, a następnie V. Goldschmidt i E. Fiodorow badają rozwój ścian należących do jednego pasa lub — jak Fiodorow — pozostających z sobą w związku pasowym.

V. Goldschmidt w pracy: *Ueber Entwicklung der Krystallformen* (*Zeitschr. f. Krystallogr.* 28, 1, 1897) — wypowiada t. zw. prawo komplikacji.

Okazuje się, że z symbolów dwu płaszczyzn silnie rozwiniętych można wydedukować symbole płaszczyzn, występujących w słabszym rozwoju w pasie utworzonym przez te dwie ściany pierwotne, przez kolejne sumowanie odpowiednich wskaźników. Oto np. między dwiema ścianami sześcianu (001) i (100) występują ściany o symbolach (103), (102), (203), (101) etc; według symboliki Goldschmidta mają one znaki:

$$0, \frac{1}{3}0, \frac{1}{2}0, \frac{2}{3}0, 10.$$

Taki rozwój nazywa autor „harmonicznym“ i w prawidłowości liczb, znajdujących się w symbolach ścian, widzi analogię do liczb charakteryzujących ilość drgań tonów szeregu harmonicznego tonów (tercja, kwarta, kwinta, seksta i oktawa). Szereg taki można wyrazić przez liczby:

$$0, \frac{1}{3}, \frac{1}{2}, 1, 2, \infty.$$

V. Goldschmidt widzi tu dalej analogie do szeregu utworzonego przez częstość drgań linii spektralnych *A, B, C, D, E, F, G, H*. Śmiało te rozważania zawarte w pracy: *Ueber Harmonie und Complication*, Berlin, 1901, str. 136, są jeszcze

bardzo nieokreślone i mogą oczywiście podlegać ostrej krytyce, a prawidłowości są trudne do sprecyzowania. Niewątpliwie ważne jest jednak spostrzeżenie i sprecyzowanie sposobu, pozwalającego przewidywać ściany, które wytwarzają się najczęściej podczas dalszego wzrostu między dwiema płaszczyznami, stępując krawędź, utworzoną przez te dwie płaszczyzny.

Praca **E. Fiodorowa**: Beiträge zur zonalen Krystallographie ukazała się w Zeitschr. f. Kryst. 1900, 32, 446 i 1902, 35, 25.

Wychodząc z rzutów trzech „pierwotnych“ płaszczyzn w projekcji gnomonicznej, autor wyprowadza drogą „komplikacji“ dalsze ściany, grupując ściany, których prawdopodobieństwo rozwoju jest jednakowe w tych samych „perjodach“. W związku z tem zebrał on dane statystyczne na 101 minerałach układu regularnego.

2. Drogę do ściślejszego ujęcia związków, zachodzących między kryształem a środowiskiem, a zatem także zależności pokroju kryształu od własności roztworu, obecności domieszek innych soli i t. d. wskazał W. Gibbs, opierając się na rozważaniu zmiany energii układów.

J. W. Gibbs. On the Equilibrium of Heterogeneous Substances, Transact. of the Connecticut Acad. t. III. 1874—1878, 108 i 343.

Według P. Curie warunkiem równowagi stałej między kryształem a roztworem jest istnienie związku:

$$A_1 S_1 + A_2 S_2 + A_3 S_3 + \dots = \text{minimum};$$

przez $A_1, A_2, A_3 \dots$ są oznaczone stałe włoskowatości ścian, otaczających kryształ (t. j. energia potrzebna do zwiększenia powierzchni każdej z nich o jednostkę), przez $S_1 S_2 S_3 \dots$ — powierzchnie danych ścian. Na związku tym Curie opiera dalsze rozważania, których wynikiem jest np. zrozumienie procesu wzrastania większych kryształów kosztem mniejszych (wzmaganie się gruboziarnistości osadów krystalicznych i t. d.).

P. Curie. Sur la formation des cristaux et sur les constantes capillaires de leurs différentes faces. Bulletin de la Société franç. de Minéralogie (1885) 8, 145.

Porównaj też: G. Wulff, Zeitschr. f. Krystallogr. 1901, 34, 449 i Liebmann, Zeitschr. f. Krystallogr. 1913, 35, 171.

Dalsze systematyczne rozważania „energetyczne” znajdujemy w rozprawach W. Wernadskiego (np. O zastosowaniu reguły faz do krystalografii—Bull. d. l. Soc. d. Natur. de Moscou 1904, 18. O fizycznej teorii kryształów bliźniaczych).

3. Rozwój krystalografii opisowej związany jest ściśle z nazwiskami Millera, Quenstedta, Weisbacha. Bardzo wielu zwolenników znalazła pomiędzy krystalografami metoda teodolitowa, wprowadzona do badań krystalograficznych prawie równocześnie przez E. S. Fiodorowa i V. M. Goldschmidta; z pracowni prof. Goldschmidta w Heidelbergu wyszła może największa liczba prac krystalograficznych, wykonanych tą metodą.

§ 4. FIZYCZNE WŁASNOŚCI KRYSZTAŁÓW.

1. Wobec rozległości tego działu, niepodobna byłoby tu wniknąć w poszczególne gałęzie i śledzić rozwój badań różnych własności fizycznych kryształów. Wchodzi to w zakres opracowań rozwoju fizyki, o których wyczerpujące wskazówki podał prof. Smoluchowski w t. II Poradnika. Zwrócimy tu zatem tylko uwagę, że podstawową własność symetrii, wyrażającej się w zachowaniu się różnych ścian kryształu ze względu na zjawiska wzrostu i szybkości rozpuszczania się, dla badania zależności jakiegokolwiek własności fizycznej ciał krystalicznych od kierunku, wykazały prace F. E. Neumanna o własnościach geometrycznych, optycznych i sprężystych kryształów.

F. E. Neumann. Szereg prac w: Pogg. Ann. 27, 1833 i następnych; — Abh. Berl. Akademie, 1835 i t. d.

Tenże: Vorlesungen über die Theorie d. Magnetismus u. s. w. Lipsk, 1881.

Tenże: Vorlesungen über die Theorie der Elasticität d. festen Körper und des Lichtäther, her. v. O. E. Meyer, Lipsk, 1885.

W. Thomson wykrył wzajemne analogie w prawach matematycznych, dotyczących zachowywania się kryształów w stosunku do różnych zjawisk, które opisujemy jako „prąd” (1872). Wykrywa on związek między zjawiskami cieplnymi a sprężystymi, elektrycznymi, daje teorię indukcji magnetycznej, pyro-

elektryczności i t. d. Ten sam autor zajmuje się molekularną mechaniką kryształów.

Z autorów, którzy wiele zdziałali dla fizyki kryształów, wyliczyć należy dalej przede wszystkim W. Voigt'a, J. Curie, P. Curie (wykrycie związku między zjawiskami elektrycznymi a odkształceniem sprężystym: pewne kryształy odkształcają się w polu elektrycznym, naodwrot—pod wpływem odkształcenia sprężystego występują na tych kryształach pewne zjawiska elektryczne) i F. Pockels'a.

2. Ze względu na wyjątkowe stanowisko, jakie optyka zajmuje w krytalografji, wyliczymy tutaj szereg nazwisk, które wiążą się szczególnie ściśle z rozwojem znajomości optycznych własności kryształów. Bliższe dane bibliograficzne, odnoszące się do prac szeregu niżej wymienionych autorów o głośnych nazwiskach, znajdzie czytelnik w obszerniejszych podręcznikach krytalografji fizycznej (np. Ch. Soret'a, Th. Liebicha) lub optyki kryształów (np. F. Pockelsa).

E. Bartholinus. Odkrycie podwójnego załamania światła w kalcycie (1669). *Experimenta Crystalli Islandiei*, 1670.

Chr. Huyghens. Bieg promieni i tłumaczenie formalne podwójnego załamania światła w kalcycie (1690).

E. L. Malus. Polaryzacja światła (1808). (*Mém. prés. á l'Inst. par div. sav. Sc. math et phys.* 2, 1811).

F. Arago. Wykrycie skręcania płaszczyzny polaryzacji w kwarcu; wraz z **A. Fresnel'em**: Warunki interferencji światła spolaryzowanego.

(*D. Franç. Jean Arago. Prace w Mém. d. la Cl. des Sc. math. et phys. de l'Inst. de France* 1811, 1812, 12, 93).

D. Brewster. Odkrycie kryształów optycznie dwuosiowych (1820), (porównaj także prace J. B. Biot'a); miotёлki absorbcyjne; kąt polaryzacji. D. Brewster wykazał jednakowe zachowanie się optyczne kryształów układu tetragonalnego i heksagonalnego.

A. Fresnel. Prawa rozchodzenia się światła w kryształach dwuosiowych (*Mém. sur la double réfraction, Mém. de l'Académie des Sc., Paryż*, 7 (1827); zachowanie się dwu superponowanych płytek w świetle spolaryzowanym; zjawiska interferencji światła spolaryzowanego i t. d. Rozprawy jego są zebrane w „*Oeuvres complètes*“. 3 tomy, 4^o, Paryż, 1876.

J. B. Biot. Rozchodzenie się światła w kryształach, rozróżnienie dwu typów kryształów optycznie jednosiowych: kryształów optycznie jednoosiowych dodatnich i ujemnych (1812, 1815, 1816, 1820). „*Lamellarna*“ polaryzacja (1842). Biot zbadał zależność kąta, o który płaszczyzna polaryzacji ulega skręceniu w kwarcu w kierunku osi symetrii trójkątnej, od grubości płytki

i od długości fali światła użytego. Patrz: *Mém. de la Cl. Sc. math. phys. de l'Inst. de Paris* 1812, (1814) 13, str. 218. *Mém. de l'Acad. Paris*, 1817. 2, (1819) str. 41.

J. Herschel wykazał, że istnieje związek między formą kryształów kwarcu a rodzajem skręcania płaszczyzny polaryzacji w kierunku osi trójkrotnej: „prawo” kwarc skręcają w prawo — „lewo” w lewo. Stwierdzono tu zatem związek własności fizycznych z geometrycznymi. (*Cambridge Phil. Soc. Transact.* 1822, 1, 43. *Edinburgh Phil. Journal*, 1821, 4, 371, 1822, 6, 379).

J. Plücker. Rozważania nad kształtem fali świetlnej w kryształach (1838).

A. Cauchy, F. Neumann, G. Green, Mac Cullagh, G. Lamé, Boussinesq i inni. Teorje sprężyste światła.

A. Cauchy. Powierzchnie współczynników załamania.

W. Hamilton. Refrakcja konieczna (1837).

F. Neumann. Problem załamania i odbijania się fal świetlnych na granicy dwu ośrodków przezroczystych (1835). Zachowanie się optyczne ciał, podległych odkształcaniu sprężystemu i t. d.

A Bertin. Powierzchnie jednakowej różnicy dróg optycznych w kryształach opt. anizotropowych (*Ann. Chim. phys.* (3), 1862, 63).

H. C. Sorby. Spostrzeżenia nad zjawiskami, dostrzegalnymi przy obserwowaniu siatki skrzyżowanej przez ciała optycznie dwuosłowe. (*Proc. Roy. Soc. London*, 1877, 26).

G. G. Stokes. Własności powierzchni szybkości promieni w kryształach opt. dwuosłowych i metody sprawdzania doświadczalnego ich kształtu. (1862, 1872, 1877).

E. Mallard. Zachowanie się optyczne stosu, złożonego z warstewek płytek cienkich krystalicznych (opt. anizotropowych), oraz zastosowanie tych rozważań do utworów bliźniaczych. (*Ann. des Mines* 1876, 10, także: *Explication des phénomènes optiques anomaux que présente le grand nombre des substances cristallisées*, Paris, 1877, Dunod éd. str. 143).

J. C. Maxwell. *A treatise on electricity and magnetism*, 2 tomy, Clarendon Press, Oxford, 1873. Klasyczne dzieło, włączające optykę do nauki o elektryczności.

W związku z nazwiskiem **J. C. Maxwella**, wymienimy tu nazwisko **H. A. Lorentza**, twórcy teorii elektronowej, będącej rozszerzeniem elektromagnetycznej teorii **Maxwella**.

P. Drude. Teoria rozchodzenia się światła w kryształach absorbujących światło (1877). Zagadnienie odbijania się światła na granicy ciał absorbujących.

W. Voigt. Rozszerzona mechaniczna teoria światła, uwzględniająca oddziaływanie eteru na części materialne (1891).

Obaj ostatnio wymienieni autorowie opierają się w swych późniejszych pracach na elektromagnetycznej teorii światła, rozszerzonej przez przyjęcie drgań elektronów, i zajmują się teorią ruchu świetlnego w ciałach krystalicznych, skręcających płaszczyznę polaryzacji i silnie absorbujących, zjawiskami dyspersji i t. d.

H. C. Pocklington stwierdził na cukrze trzcinowym i soli Segnette'a istnienie kryształów optycznie dwuosiowych, skręcających płaszczyznę polaryzacji światła prostoliniźnie spolaryzowanego. *Phil. Mag.* (6) 1901, 2, 368.

§ 5. CHEMICZNE WŁASNOŚCI KRYSTAŁÓW.

W dziale krytalografji chemicznej wymienić należy przede wszystkim prace uczonego szwedzkiego Eilharda Mitscherlicha, będące podwaliną nauki o izomorfizmie i polimorfizmie.

E. Mitscherlich. Ostosunku składu chemicznego i postaci soli arsenowych i fosforowych. *Akad. Handl., Sztokholm 1821 r. Abh. d. Berliner Akad. 1818—1819. Sur la relation qui existe entre la forme cristalline et les proportions chimiques.*

I-er Mémoire: sur l'identité de la forme cristalline chez plusieurs substances différentes, et sur le rapport de cette forme avec le nombre des atomes élémentaires dans les cristaux. *Annales chim. phys. Paris, 1820, 14, str. 172.*

II-me Mémoire: sur les arsénates et les phosphates—tamże, 1821, 19, 350.

III-me Mémoire: sur les corps qui affectent deux formes cristallines différentes—tamże, 1823, 24, 264.

Mitscherlich wykazuje, że analogiczne pod względem składu chemicznego fosforany i arseniany sodu, potasu i amonu mają formy geometryczne bardzo do siebie podobne. Podobieństwo formy stwierdził Mitscherlich na kryształach węglanów *Ca, Zn, Fe, Mn*, siarczanów metali: *Fe, Mn, Zn, Mg* i soli podwójnych typu $R_2 \overset{II}{Me} (SO_4)_2 \cdot 6H_2O$, gdzie $R = K, NH_4$ a $\overset{II}{Me} = Cu, Mn, Co, Fe, Zn, Ni, Mg$. Ten sam uczoney dostrzegł także i dwupostaciowość substancji $NaH_2PO_4 \cdot H_2O$, a następnie stwierdził istnienie dwu modyfikacyj krystalicznych siarki, węglanu wapna etc.

Dla badań związku między formą krytalograficzną a własnościami fizycznymi oraz chemicznymi substancyj mają podstawowe znaczenie prace L. Pasteur'a.

Powtarzając doświadczenia i pomiary na kryształach lewego i prawego kwasu winnego i soli tego kwasu, P. stwierdza przede-

wszystkiem podobieństwo kryształów tych związków i tłumaczy je przewagą wspólnych składników (t. j. kwasu winnego); odpowiada to temu, co nazywamy dziś „izomorfizmem masowym”. Po analogicznem ustawieniu kryształów (mniej więcej równoległym) udało się Pasteurowi sprecyzować występujące między różnemi związkami różnice krystalograficzne—morfotropizm. Pasteur zauważył wreszcie, że dwie modyfikacje winianów, skracające płaszczyznę polaryzacji w roztworze w kierunkach przeciwnych, krystalizują się w postaciach, nie posiadających ani płaszczyzny symetrii, ani centrum symetrii, i będących względem siebie w takim stosunku, jak prawa ręka do lewej, t. j. w formach enancjomorficznych. Przyczynę tego zjawiska widział w ugrupowaniu atomów w cząsteczce: asymetria cząsteczki wyraża się tu w charakterystyczny sposób w asymetrii kryształu.

Sole kwasu gronowego, optycznie nieczynne, krystalizują się w formach, które enancjomorfizmu nie okazują.

Poglądy Pasteura prowadziły bezpośrednio do hipotezy o „asymetrycznym atomie węgla”.

L. Pasteur. Ann. de Chim. et Phys. (3) 24, 442, 1848. — Comptes — rendus de l'Acad. d. Sciences Paris 26, 535, 27, 101, 367, 1848. — Deux leçons sur la dissymétrie moléculaire, professées devant la Société Chimique de Paris, 1890 (w „Klasykach” Ostwalda t. 28, str. 34).

Hipotezę o asymetrii atomu sformułowali i uogólnili Van't Hoff w „Vorstellung und Breitung der Structur-Formules in der Raume”, Rotterdam, 1874, i, niezależnie, Le Bel (Bull. de la Soc. Chim. d. Paris (2) 22, 1874, 337). Oparto na tem stereochemję węgla.

Van't Hoff ogłosił dalej: Über feste Lösungen und Molekulargewichtsbestimmung an festen Körpern. Zeitschr. f. physikal. Chemie (1890) 5, 322. Autor rozszerza pojęcie roztworu na kryształy mieszane.

Podnieść dalej należy badania tego uczonego nad stosunkiem kryształów soli podwójnych, kryształów mieszanych i kryształów ciał wielopostaciowych do ich roztworów; badania nad warunkami równowagi trwałej i oznaczenie zakresów (interwałów) przemiany, wykonane wraz z szeregiem współpracowników w przypadku soli, których składniki znajdują się w wodzie mor-

skiej, mają dla mineralogii znaczenie prac klasycznych. Patrz: **J. H. Van't Hoff**. Zur Bildung der ozeanischen Salzablagerungen, zesz. I. Brunświk, 1905, str. 85; zesz. II. Brunświk, 1909, str. 90.

Tenze: Untersuchungen über die Bildungsverhältnisse der ozeanischen Salzablagerungen Lfrg. 1—50, 1897—1907.

Pojęcie morfotropizmu, zarysowujące się u Pasteura, wprowadził i rozszerzył **P. Groth** (Monachjum) w r. 1870.

Badania w tym kierunku prowadzone obecnie przy pomocy promieni Roentgena (p. str. 69 i nast.) dają wciąż nowe wyniki.

Izomorfizmem i morfotropją zajmował się bardzo szczegółowo **J. W. Retgers** w Haadze w licznych pracach (ogłoszonych około r. 1890).

Zasadnicze znaczenie dla poznania warunków równowagi różnych stanów ciał mają pisma B.-Roozebooma.

D. W. H. Bakhuis - Roozeboom. Die heterogenen Gleichgewichte, vom Standpunkte der Phasenlehre. — Vieweg, Brunświk, t. I. 1901, str. 219; t. II, 1904, str. 467.

Tegoż autora rozprawa klasyczna: Erstarrungsprodukte der Mischkristalle zweier Stoffe — Zeitschr. f. Phys. Chem., Lipsk, 1890, 30, str. 385 — 459.

Opierając się na teorji stałego roztworu, autor rozważa szczegółowo warunki trwałej równowagi układów złożonych z dwu lub trzech faz i związany z tem przebieg krystalizacji składników w odpowiednich warunkach. Krystalizacja stopu dwu ciał, które tworzą kryształy mieszane, odbywa się według pięciu typów, opracowanych szczegółowo w przytoczonej wyżej rozprawie.

Do poznania doświadczalnego diagramów stanu różnych ciał przyczyniły się wybitnie prace **J. Tamanna** i jego uczniów (ogłaszane głównie w Zeitschr. für phys. Chemie, Physikalische Zeitschrift i innych pismach fizycznych).

Wiele spostrzeżeń dotyczących zmiany stanu krystalicznego dokonał **O. Lehmann** przy pomocy mikroskopu, połączonego z przyrządem do ogrzewania preparatów.

§ 6. PŁYNNE KRYSZTAŁY I CIECZE KRYSZTALICZNE.

O pierwszych odkryciach informują prace:

F. Reinitzer. Artykuły pomieszczone w Monatshefte f. Chemie 9, 421, 1888.

O. Lehmann. Artykuły pomieszczone w Zeitschr. f. phys. Chemie 4, 462, 1889.

Pogląd ogólny na kwestję omawianą daje:

W. Voigt. Flüssige Krystalle und anisotrope Flüssigkeiten. Physikalische Zeitschr. Lipsk, 1916, stronic: 76, 128, 152, 305.

Dalej zwracamy uwagę na publikacje następujące:

O. Lehmann. Flüssige Krystalle sowie Plastizität von Krystallen im Allgemeinen, molekulare Umlagerungen und Aggregatzustandsänderungen. — Z 483 ryc. w tekście i 39 tabl., 4^o, Engelmann, Lipsk, 1904, str. 264.

Dzieło to zawiera opis wielkiej ilości spostrzeżeń z omawianego zakresu w postaci monograficznego opracowania. Dołączone fotografie ilustrują opisywane zjawiska.

O. Lehmann. Die neue Welt der flüssigen Krystalle und deren Bedeutung für Physik, Chemie, Technik und Biologie, — z 246 fig., Lipsk, 1910, str. 388.

O. Lehmann. Das Krystallisationsmikroskop und die damit gemachten Entdeckungen, insbesondere der flüssigen Krystalle. Brunświk, Vieweg, 1910, str. 112.

Zasługą O. Lehmana jest nagromadzenie wielkiej ilości spostrzeżeń; na śmiało i z entuzjazmem wypowiedane wnioski autora nieraz godzić się nie można.

R. Schenck. Krystallinische Flüssigkeiten und flüssige Krystalle, Lipsk, W. Engelmann, 1905, str. 159.

Schenck traktuje problemat cieczy anizotropowych z punktu widzenia chemji fizycznej. Kryształem ciekłym nazywa on kropelki jednorodne podwójnie załamujące światło; zbiorowiska takich kropelek tworzą według niego „ciecz krystaliczną“ (poglądowi

temu sprzeciwia się Lehmann). Kryształy ciekłe, według Schencka, są osobną, specjalną fazą stanu skupienia.

D. Vorländer. Krystallinisch-flüssige Substanzen, z 28 ryc. Stuttgart, F. Enke, 1908, str. 82.

Autor wyszukuje związki między budową chemiczną ciał a ich zdolnością przybierania w pewnych warunkach krystaliczno-ciekłego stanu.

D. Vorländer und H. Hauswaldt. Achsenbilder flüssiger Krystallen, z 19 tablicami. Halle, 1909.

Praca ta zawiera fotografie obrazów interferencyjnych, otrzymywanych przy badaniu ciekłych kryształów w zbieżnym świetle spolaryzowanym. Naogół odpowiadają one obrazom kryształów z jedną osią izotropizmu.

O. Lehmann. Flüssige Krystalle und ihr scheinbares Leben, Forschungsergebnisse in einem Kinofilm. 8^o, ryc. w tekście 161, Lipsk, 1921, str. 72.

Jest to krótkie przedstawienie poglądów autora na zjawiska obserwowane w ciekłych kryształach, ujęte w formie objaśnień do obrazów świetlnych, które autor pokazywał podczas jednego ze swych odczytów.

Czytelnikowi, któryby chciał zapoznać się z omawianym tu tematem w sposób gruntowny, doradzilibyśmy przeczytanie następujących dzieł:

1) Wielkie dzieło Lehmana: Flüssige Krystalle etc. (patrz wyżej), celem zapoznania się z podstawowym materiałem uzyskanym przez obserwację.

5) Dzieło R. Schencka (patrz wyżej), który daje na ten materiał krytyczny pogląd fizyko-chemika i wreszcie

3) Praca D. Vorländera (patrz wyżej), która zwraca przedewszystkiem uwagę na własności chemiczne ciał rozważanych.

Nowsze prace oryginalne znajdują się w różnych czasopismach naukowych; zwracamy uwagę na prace francuskich autorów (P. Gaubert'a, F. Granjean'a, także F. Wallerant'a), ogłaszane głównie w Bull. Soc. Minéral., Paryż i w Comp.-rendus Akademji paryskiej.

II. Dzieła i prace omawiające historję krystalografji.

§ 7.

1. Wyczerpującego dzieła, któreby omawiało rozwój historyczny całości krystalografji do nowszych czasów, dotychczas nie posiadamy, znajdujemy natomiast opracowania, odnoszące się do pewnych specjalnych działów tej nauki. Niektóre wydawnictwa, omawiające nauki pokrewne, zawierają też najważniejsze wiadomości o rozwoju krystalografji. Wobec tego stanu rzeczy doradzamy każdemu, kto chce studjować historję krystalografji, by rozpoczął od dzieł starszych, a następnie zwrócił się do nowszych opracowań poszczególnych działów. Jest rzeczą oczywistą, że kto chce zapoznać się gruntowniej z historją krystalografji, sięgnąć musi do prac oryginalnych. Z tego też powodu zwracamy na tem miejscu uwagę czytelnika na poprzedzający rozdział *Biblijografji* (I, § 1 — § 6), w którym umieściliśmy chronologicznie ułożony wykaz ważniejszych rozpraw i dzieł z zakresu nauki o kryształach.

I. Dzieła starsze:

Podstawowem dziełem z zakresu historii krystalografji do połowy ubiegłego wieku jest dzieło:

* **F. von Kobell.** Geschichte der Mineralogie von 1650—1860. Monachjum, 8°, 1864, str. 703.

Dzieło to miało się ukazać w ostatnich czasach uzupełnione w nowem opracowaniu. Jest to gruntowne i obszerne opracowanie przedmiotu, godne polecenia. Czytelnik może tu śledzić rozwój poszczególnych działów i zrozumie, w jaki sposób z „mineralogji“ wydzielił się (już w r. 1860) szereg nauk: oprócz geologii, paleontologii — krystalografja geometryczna i fizyka kryształów. Autor podkreśla to wyraźnie.

Godną czytania jest też książka **Marxa**, zajmująca się jedynie historją krystalografji (nie mineralogji!):

C. M. Marx. Geschichte der Krystallkunde, Karlsruhe i Baden, 1825.

I. Wiadomości o kryształach u starożytnych. II. Od Alberta Magnusa do Boyla. III. Od Stena do Henckla. IV. Od

Linneusza do Romé de L'Isla. V. Od Haüyego do Brooke'a. VI. Od Kestnera do Mohsa.

Wiele ciekawych szczegółów zawiera wydawnictwo:

E. F. Glocker. Mineralogische Jahreshefte — Norymberga. Zeszyty 1-szy i 2-gi r. 1833, str. 165; zesz. 3-ci i 4-ty r. 1834, str. 543; zesz. 5-ty r. 1837, str. 608.

W rozdziałach p. t. *Neueste Geschichte der Mineralogie* autor daje ogólny pogląd na rozwój nauk mineralogicznych (wraz z krystalografią) w okresie od r. 1830—1835; dalsze rozdziały poświęcone są bibliografii i streszczeniom prac z lat wymienionych. Krystalografia geometryczna i fizyczna jest tu uwzględniona bardzo obszernie.

II. Opracowania nowsze:

S. Günther, prof., dr. *Geschichte der anorganischen Naturwissenschaften*. Berlin, Bondi, 1901, str. 984.

Kilka rozdziałów tego dzieła (str. 131 i 757) poświęcono mineralogii i krystalografii.

O rozwoju krystalografii w drugiej połowie ubiegłego stulecia informują czytelnika niżej wymienione prace:

E. S. Fiodorow. Zаметка об успехах теоретической кристаллографии за последние десятилетия. — *Записки Им. Петерб. Минералог. Общч.* (Ser. 2). Petersburg, 1890, 345—378.

Rozprawa ta napisana jest dla specjalistów krystalografów; autor zajmuje się w niej rozwojem pojęć o symetrii i teorii ustroju, omawia prace własne i podkreśla twórczość nauki rosyjskiej na polu krystalografii teoretycznej.

Krótko i bardzo przystępnie jest napisane sprawozdanie o rozwoju nowszej krystalografii przez L. Fletchera:

L. Fletcher. Address to the Geological Section of the British Association on recent progress in mineralogy and crystallography, Oxford, Londyn, 1894, str. 16.

Do specjalnych działów krystalografii odnoszą się dwie prace następujące:

W Barlow i H. A. Miers. *The Structure of Crystals*. Report of the Committee, consisting of prof. N. Story

Maskelyre (Chairman), prof. H. A. Miers (Secretary), Mr. L. Fletcher, prof. W. J. Sollas, Mr. W. Barlow, Mr. G. F. Herbert Smith, and the Earl of Berkeley, appointed to report on the present state of our knowledge concerning the structure of crystals (mała 8°). Glasgow 1901, str. 1—41.

Sprawozdanie to obejmuje rozwój geometrycznych teorii ustroju kryształów od r. 1666 do r. 1901 i wprowadza czytelnika w krótki i jasny sposób do zasadniczych pojęć z tego zakresu wiedzy.

Niedawno ukazała się rozprawa o historii metod rysunku krystalograficznego:

L. Burmester. Geschichtliche Entwicklung des krystallographischen Zeichnens und dessen Ausführung in schraeger Projektion. Zeitschr. f. Krystall. 1922, 57, 1, Monachjum.

Dzieło obejmuje historję rozwoju metod rysunków krystalograficznych.

O rozwoju krystalografji można sobie wytworzyć pewien pogląd z dwu prac następujących:

H. Baumhauer. Die neuere Entwicklung der Krystallographie. Brunświk, Vieweg, 1905. 8°, str. 184.

Jest to krótki pogląd na niektóre rozdziały krystalografji, przeznaczony dla pracowników w dziedzinach pokrewnych (dla fizyków lub chemików).

Artykuł **Th. Liebisch'a**, **A. Schoenfliess'a** i **O. Muegge'go** p. t. „Krystallographie“ w Encyklopädie der mathemat. Wissenschaften mit Einschluss ihrer Anwendungen. Tom V-ty, zeszyt 3, 1906, str. 391—492.

Rzecz ta informuje o ważniejszych zagadnieniach i metodach krystalografji; czytelnik znajduje w tej pracy najważniejsze określenia, prawa i wzory krystalograficzne. Uwzględniono tylko krystalografję geometryczną i teorię ustroju.

Wiele wiadomości odnoszących się do historii krystalografji można czerpać z życiorysów i nekrologów wybitnych krystalografów, rozrzuconych w różnych czasopismach naukowych. W związku z tą uwagą przytoczymy książkę:

J. C. Poggendorff. Biographisch-literarisches Handwörterbuch zur Geschichte exakter Wissenschaften. 4 tomy. Barth, Lipsk. 3-ci tom, wydany przez D. Federsena i prof. Oettingena (od r. 1858—1883). 4-ty tom (od r. 1883 do r. 1904).

Dzieło to zawiera dane osobiste, dotyczące się bardziej znanych krystalografów i mineralogów.

2. Przy czytaniu dawniejszych prac może być pomocną książka:

Adolf Kennigott. Synonimik der Krystallographie. Ein zum Verständniss krystallographischer Arbeiten und Schriften unentbehrliches Lehr- und Hilfsbuch für Mineralogen und Chemiker und für alle, welche sich mit der Naturgeschichte der Krystalle beschäftigen, Wiedeń, 1855.

L. Milch. Tabellarische Übersicht der in den verbreitetsten deutschen Lehrbüchern der Krystallographie und Mineralogie durchgeführten Bezeichnungen der Krystallformen.

Wydane z polecenia Niem. Tow. Mineralog. w r. 1912 (bez daty i miejsca), str. 34.

III. Podręczniki i monografie.

§ 8. WSKAZÓWKI OGÓLNE.

W podanym poniżej wykazie dzieł czytelnik znajdzie po kilka podręczników do każdego z działów krystalografji; jest to oczywiście mała część tylko dzieł ogłoszonych nawet w czasach nowszych; z pomiędzy nich staraliśmy się wybrać rzeczy cenniejsze, różniące się między sobą stopniem wymaganego od czytelnika przygotowania i metodą, a także językiem. Książki z tego samego działu następują po sobie w poszczególnych wykazach w tym porządku, że zaczynamy od dzieł, które uważamy za najlepsze i podstawowe, dalej następują dzieła uzupełniające, które mogą być użyteczne dopiero po przestudjowaniu pierwszych.

W zasadzie staraliśmy się podawać w pierwszym rzędzie tytuły dzieł bardziej przystępnych.

Ścisłe przeprowadzenie uszeregowania podręczników krystalografji według ich stopnia przystępności, od łatwiejszych do

trudniejszych, doprowadziłoby jednak nieraz do innego nieco podziału, niż jakby to wynikało ze względu na ich wartość dydaktyczną, bo ich przystępność bywa często pozorna, a wartość wskutek tego mniejsza. Trudności bywają tu poprostu przemilczane. Ocena, który z dwu podręczników krystalograficznych jest „łatwiejszy“, jest zresztą w krystalografii rzeczą bardzo subiektywną w związku z istnieniem dwu typów ujmowania wykładu krystalografii (bardziej dedukcyjnego i indukcyjnego) i z subiektywną większą zdolnością i zamiłowaniem czytelnika do jednego lub drugiego sposobu przedstawiania sprawy. Woleliśmy więc położyć nacisk na książki o większej wartości i te wysunąć na plan pierwszy; na drugim dopiero planie dajemy tytuły podręczników znanych jako „elementarne“, ale mniej ścisłych.

Przytaczając większą liczbę dzieł, dajemy więc czytelnikowi możność wybrania sobie najbardziej mu odpowiedniego podręcznika, a o właściwościach ważniejszych z nich informujemy szczegółowiej obok każdego z nich w odpowiednim rozdziale; często wystarcza samo podanie tytułów głównych rozdziałów książki, by czytelnik sam mógł ocenić metodę i plan podręcznika.

Z drugiej jednak strony, wobec wielkiej stosunkowo liczby dzieł wymienionych, czytelnik, zwłaszcza samouk, stykający się po raz pierwszy z krystalografją, może sobie życzyć wyraźnych wskazówek, od których dzieł ma rozpocząć studjowanie i w jakiej kolei z wymienionych książek ma korzystać. Jako odpowiedź na to pytanie podajemy we „wskazówkach“ niniejszych wykazy kilku dzieł, wymienionych w tym porządku, w jakim doradzilibyśmy ich czytanie. Szczegółowsze informacje co do treści tych dzieł oraz dane bibliograficzne znajdzie czytelnik w ustępach paragrafów następujących, do których odsyłamy. Uwzględniamy przytem podział czytelników na kategorię IIIa i IIIb.

Wydaje nam się rzeczą oczywistą, że każdy samouk Polak, na stopniu niższym, czy wyższym, powinien zapoznać się ze słownictwem polskiem i podręcznikami polskiem. Weźmie tedy zawsze, zanim przejdzie do dzieł w obcych językach, do ręki jedyne polskie dzieło z tego zakresu: Podstawy krystalografji Weyberga (patrz niżej).

Stopień IIIa:

G. Friedel. Leçons de Cristallographie, Hermann, Paryż, 1908, str. 335. (patrz niżej).

Th. Liebisch. Grundriss der physikalischen Krystallographie, Veit, Lipsk, 1896, str. 506 (patrz niżej).

E. Mallard. Traité de Cristallographie, 1879 i 1884, albo też elementarne dzieło:

Ch. Soret. Éléments de Cristallographie physique, Georg, éd. Genewa. Gauthier-Villars, Paryż, 1893, str. 653 (patrz niżej).

Ostatnie dwa dzieła są wprawdzie przestarzałe, posiadają jednakowoż zalety metodyczne, czyniące ich studjowanie i dziś pożytecznem.

Gdy kto pragnie bardzo elementarnego, choć mało ścisłego wykładu, znajdzie go w obszernym podręczniku:

P. Groth. Physikalische Krystallographie, Engelmann, Lipsk, 1905, str. 820 (patrz niżej);

lub też **Tenze:** Elemente der physikalischen und chemischen Krystallographie, Monachjum-Berlin 1921, str. 362 (patrz niżej).

Stopień IIIb:

Czytelnik bardziej wyrobiony (np. uczeń uniwersytecki z przygotowaniem w zakresie nauk ścisłych) może, pomijając dzieła wyżej wymienione, zapoznać się z krystalografią geometryczną w książce:

Th. Liebisch. Geometrische Krystallographie, Engelmann, Lipsk, 1881, str. 464. (patrz niżej),

a następnie przejść do krystalografii fizycznej:

Th. Liebisch. Physikalische Krystallographie, Lipsk, 1891, str. 614 (patrz niżej):

Powinien też przeczytać wyżej przytoczone dzieło E. Mallarda.

Czytelnik przyzwyczajony do studjowania teoretycznych dzieł fizycznych może zapoznać się odrazu z elementami krystalografii geometrycznej i z fizyką kryształów w książce:

W. Voigt. Lehrbuch der Krystallphysik (z wyłączeniem optyki kryształów) B. G. Teubner, Lipsk i Berlin 1910, str. 964 (patrz niżej).

Krystalografię omawia też obszernie dzieło:

H. Bouasse. Cours de Physique (conforme aux programmes des certificats et de l'Aggrégation de Physique), Ch. Delagrave, 6 tomów, Paryż, 1909, — zwłaszcza część szósta: Étude de symétries (patrz niżej).

2. Optykę kryształów studjować najlepiej z dzieła:

F. Pockels. Lehrbuch der Krystalloptik, G. Teubner, Lipsk i Berlin, 1906, str. 520.

Zagadnienie krystalografii chemicznej poznać można z książki:

P. Groth. Einleitung in die chemische Krystallographie, Engelmann, Lipsk, 1904, str. 80 (patrz niżej).

O nowszych badaniach doświadczalnych z zakresu roentgenografii kryształów informuje pokrótce książka:

F. Rinne. Das feinbauliche Wesen der Materie nach dem Vorbilde der Kristalle. Borntraeger, Berlin 1922, str. 168. (patrz niżej).

Gdyby kto, przejrzawszy powyższe dzieła, chciał się zapoznać szczegółowiej z którymkolwiek z działów lub uzupełnić swe wiadomości nowszemi, znajdzie w poniżej podanym wykazie odpowiadające mu dzieło.

Większość podręczników mineralogji zajmuje się krystalografią w dziale ogólnym. Podręczniki te będą omówione w tomie Poradnika, poświęconym mineralogji, mogą tu być zatem, naogół, pominięte.

§ 9. KRYSTALOGRAFJA GEOMETRYCZNA¹⁾.

1. Liczba podręczników „krystalografji“ jest w literaturze światowej bardzo wielka. Istnieje zwłaszcza mnóstwo „Krystalo-

¹⁾ Dzieła odnoszące się do krystalografji geometrycznej zawierają zwykle zarys teorii ustroju kryształów, tak samo w dziełach zatytułowanych jako „Teorja ustroju kryształów“ znajduje się zwykle także wykład własności geometrycznych zewnętrznej formy kryształów. W rozdziale p. t. „Krystalo-

grafij geometrycznych“, pisanych w połowie ubiegłego stulecia, obecnie już przestarzałych. Niektóre z nich mogą być jednak pożyteczne i dziś do pewnych specjalnych celów np. obliczeń, pomimo, że używają przestarzałej symbolistyki.

a) *Podręczniki polskie.*

2. Odczuwa się brak polskich podręczników krystalografii, podających wyczerpujące przedstawienie obecnego stanu nauki.

Zupełnie elementarne przedstawienie zasadniczych praw krystalografii znajdujemy w książeczce:

Z. Weyberg. Wiadomości początkowe z krystalografii według dzieł J. Wulffa i Th. Liebisch. Warszawa, 1905, str. 251.

Jest to krótki wykład nauki o symetrii kryształów na podstawie przytoczonego poniżej dzieła J. Wulffa; fizyczne własności kryształów są przedmiotem części drugiej tej książeczki. Autor, nie kusząc się o ścisłość ze względu na popularny charakter książeczki, daje w tem dziełku przegląd ważniejszych prawidłowości krystalograficznych, a czytelnika, „któryby zachęcony wykładem „Wiadomości początkowych“ zechciał się gruntownie zapoznać z istotą krystalografii“, odsyła do dzieł obu wspomnianych autorów.

Początkujący mineralogowie znajdują też w polskim opracowaniu mineralogji G. Tschermaka, dokonanem przez J. Morozewicza, omówione pojęcia wstępne krystalografji i postaci kryształów. W przedmowie do tego dzieła J. Morozewicz daje „przegląd historyczny podręczników mineralogji w Polsce“, w którym omówione są także i rozdziały tych książek, odnoszące się do krystalografji.

G. Tschermak. Podręcznik mineralogji (z 840 drzeworytami i III tabl. kolorowemi). Z piątego wydania nie-

grafia geometryczna“ zbieramy poniżej dzieła, w których nacisk położono na własności formy zewnętrznej; w rozdziale p. t. „Teorja ustroju“ dajemy wykaz dzieł, które przedewszystkiem zajmują się symetrią ośrodka. Różnica między temi dziełami tkwi zwykle tylko w nacisku, z jakim poszczególni autorowie traktują wymienione zjawiska.

mieckiego przełożył, uzupełnił i przedmową historyczną opatrzył Józef Morozewicz. Warszawa, Wende, 1900, str. 702.

Ze względu na słownictwo polskie w zakresie krytalografji, które w znacznej mierze utarło się i jest dziś u nas w użyciu, przytoczymy ze starszych książek zupełnie przestarzałe pod względem treści dzieło:

Aloizy Alth. Zasady mineralogji. Kraków 1868, str. 776. Z atlasem i 303 drzeworytami.

3. Jedyne nowsze dzieło polskie, przeznaczonem dla słuchaczy wyższego stopnia, jest następujące:

Zygmunt Weyberg. Podstawy krytalografji. Wykład elementarny prawa jednorodności, prawa kątów stałych i prawa kierunków równych. Z 124 rysunkami w tekście i 4-ma tablicami. Lwów, 1916, str. 160. Nakładem Tow. Popierania Nauki Polskiej.

Autorowi należy się istotna wdzięczność za to, że dał czytelnikowi polskiemu książkę, której głównem zadaniem jest wywalczenie zrozumienia ważności krytalografji wśród nauk fizykochemicznych w polskich kołach przyrodniczych w chwili zupełnego jej u nas i długotrwałego zaniedbania. Gdy się zważy rok wydania książki, okres najgorętszej wojny na naszych ziemiach — to staranne jej opracowanie, przejrzystość i piękne wydanie oraz czystość i dobór rysunków, wykonanych przez autora, na tem większe zasługują uznanie.

„Podstawy“ zawierają omówienie „prawa jednorodności“ — t. j. hipotezy sieci przestrzennej, prawa wymiennych wskaźników, prawa pasowego i prawa symetrii.

Książkę swą oparł autor przede wszystkim na dziele G. Wulffa: Rukowództwo po krytalografii, Warszawa 1904. Punktem wyjścia wykładu o symetrii jest pojęcie odbicia w płaszczyźnie. Pozwala to na systematyczne wyprowadzenie 32 klas symetrii, zaciera się jednak przez to wyrazistość własności grupowych przekształceń, transformujących kryształ w siebie. Podstawą roztrząsań o symetrii kryształów są własności sieci przestrzennej, której założenie w kryształach nie jest jednak identyczne z prawem wymiennych wskaźników, wyrażanem w dwu odmiennych od siebie i niejednoznacznych sobie postaciach, na co się zwykle

nie zwraca uwagi. Czytelnik wstępnego rozdziału niniejszego artykułu o stosunku wzajemnym hipotez, przyjmowanych za podstawę krystalografii geometrycznej (Krystalografia geometryczna § 1 — § 9), ustrzeże się łatwo od nieporozumień.

W interesie czytelnika, studującego „Podstawy“, zalecimy następujące uzupełnienie lub poprawki: na str. 4, wiersz 26 od góry; zamiast: „wszystkie własności fizyczne“ ma być: „niektóre własności fizyczne“ — jak to zresztą wynika z końcowego rozdziału książki. Na tejże stronicy, wiersz 27 od góry, należałoby po „lecz“ dodać słowo: „wszystkie“. Na str. 142, wiersz 10 od dołu, zamiast: „kryształy klas“, czytaj: „niektóre kryształy klas“.

W ostatnich rozdziałach autor omawia stosunek własności fizycznych do geometrycznych w różnych klasach oraz bliźniaki i kryształy wielokrotnie bliźniacze.

Do stopnia IIIa możnaby zaliczyć część książki Wł. Michalskiego¹⁾, przeznaczonej przez autora dla uczniów szkół średnich. Książka ta będzie omówiona w Poradniku na II-gim stopniu „Mineralogii“, na tem miejscu zwracamy na nią uwagę ze względu na czytelników, którzy nie zajmują się mineralogją.

¹⁾ Władysław Michalski. Przyroda martwa. Cz. II. Książnica Polska, Lwów-Warszawa, 1922, str. 260.

W książce tej, będącej podręcznikiem do użytku w szkole średniej „dla ucznia do nauki w domu“, wprowadza autor zasadnicze pojęcia z krystalografii w sposób, który wydaje się nam szczęśliwym. Opiera się przede wszystkim na spostrzeżeniu i doświadczeniu. Książeczka ta może jako uzupełnienie pracy nauczyciela oddać wielkie usługi i jest jedynym u nas tego rodzaju podręcznikiem szkolnym, uwzględniającym krystalografię. Z przedstawienia rzeczy widać, że autor, obeznany z przedmiotem, przemyślał rzecz gruntownie. Zastrzeżenie budzi jedynie zbyt szczegółowe, jak na podręcznik szkolny, traktowanie części systematycznej, której wykład, zdaniem naszym, trudno uczynić prostym i jasnym bez wprowadzenia rozważań „grupowych“. Byłoby rzeczą bardziej celową zadowolnić się opisem kilku form najpospolitszych. Podkreślić należy z uznaniem, że autor zwraca uwagę na związki między elementami symetrii obrazu sferycznego jednego kryształu; sądzymy jednak, że rozwinięcie w formie ćwiczeń tych związków na kilku prostych przykładach, zamiast omawiania form prostych wszystkich 32 klas, zjednałoby książkę więcej przyjaciół wśród młodzieży i wśród samouków. W postaci obecnej jest to książka odpowiednia raczej dla czytelnika na stopniu wyższym niż dla ucznia gimnazjalnego. Tytuł książki nasuwa uwagę następującą. Utała obrazowa nazwa „przyroda martwa“ mogłaby młodocianym czytelnikom nasunąć nieśluszną myśl, że idzie tu o utwory, które „żyły“ i obumarły.

4. Jako przewodnik do sporządzania z tektury modeli geometrycznych form krystalicznych, przytoczyć należy ogłoszoną w języku polskim:

Ludwik Rother (z Cieszyna). Sieci krystaliczne służące do sporządzania najważniejszych postaci krystalicznych. 3 tablice Wiedeń, 1906.

b) Dzieła w językach obcych.

Stopień IIIa.

5. Krótki zarys krystalografii geometrycznej i fizycznej, a częściowo i chemicznej, dostosowany do potrzeb uczniów początkujących, podają następujące dzieła:

* **G. Friedel**. Leçons de Cristallographie. Cours de l'École Nationale des Mines de Saint-Étienne, avec 383 figures dans le texte. Hermann, Paryż. 1911. Stron 310. Nowe wydanie Paryż 1918, str. 335.

Jest to kurs krystalografii, wykładany dla uczniów szkoły górniczej i stanowiący wstęp do mineralogii. Ponieważ wykład ten jest przeznaczony dla przyszłych inżynierów górniczych, autor uwzględnia przede wszystkim działy, mające zastosowanie praktyczne, a zatem własności geometryczne, naukę o bliźniakach, własności optyczne, naukę o izomorfizmie i wielopostaciowości. W krótkim osobnym rozdziale zebrane są własności „wektorjalne nieciągłe” (łupliwość, istnienie ścian płaskich, figury wytrawione).

* **Charles Soret**. Éléments de Cristallographie physique, avec 1 planche et 538 figures dans le texte. Genewa—Paryż, 1893, str. 653.

Jest to podręcznik bardzo sumiennie opracowany i w formie bardzo przystępnej. Część geometryczna krystalografii i nauka o symetrii są opracowane obszernie. W drugiej części zajmuje się autor teoriami ustroju kryształów i krystalografią chemiczną, dalej idą własności spójności i sprężystości. Część trzecia obejmuje własności optyczne, czwarta — cieplne, piąta — elektryczne. Autor ujmuje omawiane zagadnienia w sposób budzący zainteresowanie u czytelnika.

Kto nie włada językiem francuskim, może studjować podobne duchem, różniące się jednak formą, niemieckie dzieło P. Grotha.

* **P. Groth.** *Physikalische Krystallographie und Einleitung in die krystallographische Kenntniss der wichtigsten Substanzen* (z 750 ryc. w tekście i 3 tabl. kolorowemi) wydanie czwarte, Engelmann, Lipsk, 1905, str. 820.

Autor dąży do opisanie zjawisk i prawidłowości tu przynależnych bez stosowania metod matematycznych. Uwaga ta wystarcza do scharakteryzowania zakresu, w jakim przedmiot jest przedstawiony. Książka ta wywarła ogromny wpływ na rozwój krystalografii doświadczalnej i jest tłumaczona na różne języki. Po omówieniu własności fizycznych kryształów autor uczy wykonywania zwyczajnych pomiarów krystalograficznych i optycznych i ich użytkowywania. Dzieło to uzupełnione jest wielką ilością przykładów różnych ciał krystalicznych. Osobno wykazane są ciała, skracające płaszczyznę polaryzacji światła, przez co uwidoczniono związek tej własności z symetrią.

* **G. Wulff.** *Rukowództwo po krystalografii* (po rosyjsku). Warszawa, 1904, 4^o, str. 235.

Część I. Pierwsze prawo krystalografii: prawo stałości kątów. Metody pomiarów kątów, rzuty, wiadomości z trygonometrii sferycznej, o błędach pomiarów, o wartościach średnich, metoda najmniejszych kwadratów, gonjometr teodolitowy.

Część II. Drugie prawo krystalografii i różne wyrazy tego prawa: arytmetyczny, geometryczny, fizyczny. Obliczanie kryształów na podstawie pomiarów teodolitowych; stosowanie metody najmniejszych kwadratów przy obliczaniu kryształów.

Część III. Trzecie prawo krystalografii: prawo symetrii. O symetrii i klasyfikacji kryształów. Bliźniaki. Opis 32 klas kryształów.

Autor opiera naukę o symetrii kryształów na pojęciu odbicia zwierciadlanego. (Porównaj uwagi wypowiedziane o tej metodzie oraz o stosunku wzajemnym hipotez krystalograficznych przy omawianiu książki Z. Weyberga). — Zauważymy, że wyraz fizyczny prawa krystalografii nie jest równoznaczny z przy-

jętym przez autora wyrazem arytmetycznym lub geometrycznym. Omawiane dzieło Wulffa, jako też jego wykłady w Uniwersytecie Warszawskim, wywarły silny wpływ na polskich mineralogów doby dzisiejszej.

C. M. Viola. *Grundzüge der Krystallographie* (z 453 rysunkami w tekście). Lipsk, 1904, str. 378.

Książka ta jest opracowana w sposób elementarny; autor wysuwa na plan pierwszy „harmonję” kryształów, pojęcie zaczerpnięte ze stosunku harmonijnego — a związane z symetrią. Dzieło to polecamy jako uzupełnienie dzieł Ch. Soreta, P. Grotha lub G. Wulffa.

W. Wernadskij. *Zarys krystalografji* (po rosyjsku). Cz. I, zesz. 1. Uczonyja Zapiski Moskowski Uniwersytetu. Oddział przyr.-hist., zesz. 19, wielka 8°, str. 344, z 144 rys. w tekście, Moskwa, 1904.

Autor zwraca uwagę na zjawiska włoskowatości i napięcia powierzchniowego i do nich wprowadza znaczną część zjawisk, omawianych w krystalografji. Wykład zawiera gruntowne omówienie pojęcia kryształu, naukę o symetrii i jej zależności od ustroju kryształów, dalej opis własności geometrycznych kryształów i praw krystalograficznych. Przy rozważaniu kryształów bliźniaczych autor stosuje zasady energetyki.

W zakończeniu znajduje się wykaz statystyczny, podający przynależność do poszczególnych klas symetrii 5665 gatunków minerałów lub sztucznych substancyj, zbadanych do roku 1902 pod względem krystalograficznym.

Książka ta nie jest niestety znana piszącemu te słowa.

E. Fiodorow. *Kurs krystalografji* (po rosyjsku). Petersburg, 1897.

Autor rozwija najpierw elementy nauki o symetrii, dalej omawia strukturę kryształów i prawidłowości, wynikające z ustroju sieciowego kryształów, metody rzutów i występujące często na minerałach kombinacje postaci. Autor opisuje szczegółowo gonjometr „uniwersalny” oraz sposób obliczania pomiarów kryształów wykonanych tym gonjometrem i rachunek błędów. W dziale optycznym autor zajmuje się obszerniej wprowadzonymi przez siebie metodami badania, np. t. zw. stolikiem mikroskopowym Fiodorowa, który umożliwia obracanie preparatu dookoła trzech do siebie prostopadłych osi, a zatem pozwala na badanie płytek kryształu w różnych położeniach i odczytywanie ką-

tów, o które obrócono preparat; dzięki temu można nadać płytkom dowolnie wyciętym położenie specjalnie nadające się do oznaczeń.

Książka przeznaczona była dla studentów Szkoły Górniczej w Petersburgu.

Dr. Gottlob Linck. Grundriss der Krystallographie für Studierende und zum Selbstunterricht. Mit 486 Figuren und 3 farbigen Tafeln. 4-te wyd., 1920, str. 285.

F. J. Lewinson-Lessing. Uczeńnik krystallografji (po rosyjsku). Cz. I. Krystallografja geometryczna z 251 fig., str. 159. Petersburg, 1911.

Wykład jasny i elementarny.

Prof. A. W. Nieczajew. Krystallografja geometryczna, fizyczna i fizyko-chemiczna (po rosyjsku), z 380 rysunkami w tekście. Kijów, 1909, str. 246.

Krótki zarys krystallografji, jako wstęp do mineralogji, pisany bardzo przystępnie.

G. Césaro. Éléments de cristallographie et de minéralogie. 1909.

Fr. Wallerant. Exposé élémentaire des lois de la cristallographie géométrique. Paryż, 1910.

Obie te książki wybitnych uczonych nie są znane piszącemu te słowa.

Z pomiędzy podręczników krystallografji geometrycznej wymienimy jeszcze następujące:

W. I. Lewis. Treatise on Crystallography. Cambridge, 1899.

G. La Valle. Corso di cristallographia teoretica con applicazione al calcolo dei cristalli. Messyna, 1896.

N. St. Maskelyre. Crystallography. A treatise on morphology of crystals. Oxford, 1895.

Stopień IIIb.

* Th. Liebisch. Geometrische Kristallographie, z 403 ryc. w tekście. Engelmann, Lipsk 1881, str. 464.

Treść: I. Definicje wstępne, prawo pasowe, wykład projekcji liniowej, wskaźniki, równanie płaszczyzny i równanie krawędzi kryształu. Prawo wymiernych wskaźników, stosunek tego prawa do prawa pasowego. Stosunek anharmoniczny wymierny. Przekształcenie wskaźników, gdy zmienia się płaszczyzna lub krawędź jednostkowa. Tożsamość równań płaszczyzn lub krawędzi. Przekształcenia wskaźników przy zmianie układu płaszczyzn spółrzednych. Stałość stosunku anharmonicznego. Przykłady. Związek

między wstawami kątów pięciu ścian kryształu, z których żadne trzy nie są równoległe do tej samej prostej etc.

II. Projekcja liniowa i stereograficzna, projekcja gnomoniczna. Rysunek krystalograficzny. Rachunek krystalograficzny.

III. O symetrii. Układy i klasy krystalograficzne.

IV. Bliźniaki.

V. Tablice porównawcze różnych rodzajów symbolizacji ścian w kryształach.

Jest to jeden z najściślej pisanych podręczników krystalografii. Wyprowadzenie 32 klas nie jest tu jednak proste, a własności grupowe nie są uwidocznione. Książka w każdym razie bardzo polecenia godna, wymaga jednak uzupełnienia, zwłaszcza pod względem teorii sieci przestrzennej. Do tego celu nadaje się doskonale dzieło E. Mallarda.

* **Ernest Mallard.** *Traité de Cristallographie géométrique et physique.* Paryż, tom I, 1879, str. 370; tom II, r. 1884, str. 600. Atlas: tablic I—IX.

Klasyczny ten kurs krystalografii, wykładany niegdyś przez autora dla uczniów paryskiej École des Mines, jest do dziś dnia, zwłaszcza w części geometrycznej, jednym z najlepszych podręczników krystalografii, pojętej jako nauka dedukcyjna w myśl sieciowej teorii Bravais'a. Mallard, wzorując się na pracach Bravais'a pomija grupę A_2^4 . Część fizyczna jest już, rzecz naturalna, nieco przestarzała, do dziś dnia jednak, nawet dla obeznanych z przedmiotem, bardzo pouczająca. Autor podaje we wstępie do drugiego tomu ogólne zasady, odnoszące się do własności fizycznych ośrodków ciągłych, i omawia dalej szczegółowo własności sprężystości, cieplne, optyczne i t. d. ciał krystalicznych.

E. Sommerfeldt. *Geometrische Krystallographie* (z 31 tablicami i 69 rysunkami w tekście). Lipsk, 1906, str. 139.

Rozdziały: I. Symetria kryształów. II. O szeregu postaci krystalicznych. III. Rzut stereograficzny i zastosowanie stosunków podwójnego podziału do obliczeń krystalograficznych. IV. Pomocnicze twierdzenia matematyczne (mnożenie wektorów i wyznaczniki). V. Siecie przestrzenne (związki między kryształami a sieciami przestrzennymi, dedukcja pasowa zastosowana do składników sieci przestrzennej). VI. Ogólne prawa (podstawowe prawo krystalografii, prawa z teorii grup); ogólne uwagi o obliczaniu kryształów. — W dodatku: o ry-

sunkach kryształów, obliczanie kryształów metodą teodolitową; o bliźniakach. Zebranie użytych wzorów matematycznych i literatura.

Zrozumienie tej książki może sprawiać czytelnikowi nieobeznanemu z krytalografią pewne trudności.

§ 10. TEORJA USTROJU

(WRAZ Z KRYSTALOGRAFIĄ GEOMETRYCZNĄ).

1. Krytalografia geometryczna łączy się ściśle z teorią ustroju; wymienimy tu następujące dzieła:

Stopień III a.

* **P. Niggli.** Lehrbuch der Mineralogie. Berlin, 1920, str. 694.

Dzieło to zawiera zupełnie elementarny wykład podstaw teorii ustroju i krytalografii geometrycznej. W dalszych częściach znajduje się jasny i krótki wykład elementów optyki kryształów i kilku innych własności kryształów. Co do wykładu części geometrycznej mamy wrażenie, że twierdzenia o symetrii wielościennych form kryształów są tu zbyt pomieszane z wywodami o symetrii ośrodka (ustroju), i początkujący może łatwo brać symetrię ośrodka i symetrię fizyczną za symetrię formy geometrycznej kryształu.

2. Z najnowszymi wynikami badań ustroju kryształów zaznajomić się można z dzieł następujących:

* **F. M. Jaeger,** Ph. D. Lectures on the principle of symmetry and its applications in all natural sciences. Second edition, with 173 diagrams and 3 portraits. Amsterdam, 1900, str. 348.

Książka ta zawiera najpierw krótki wykład nauki o symetrii układów ograniczonych, opierający się na rozważaniach grupowych, i daje liczne przykłady stosowania nauki o symetrii do utworów przyrody. Autor więc omawia 32 klasy krytalograficzne, dalej przytacza różne przykłady form symetrycznych ze świata zwierzęcego i roślinnego. Potem następuje wykład symetrii fizycznej kryształów. Dalej autor przechodzi do układów nieograniczonych i omawia teorię sieci przestrzennej i innych nieograniczonych

prawidłowych układów punktów, podaje wyniki badań ustroju kryształów promieniami Roentgena, podkreśla znaczenie grup przekształceń utworów nieograniczonych dla studjowania świata organicznego, układania się liści i t. d. W dalszych rozdziałach omawia autor kryształy zbliźniaczone, kryształy o symetrii pozornej, kryształy naśladowujące symetrię wyższą. Ostatnie dwa rozdziały zawierają szczegółowe opracowanie t. zw. prawa Pasteur'a i opis szeregu zjawisk z tego zakresu, wiążącego bezpośrednio chemję z kryształografią.

Książka Jaegera uwzględnia spostrzeżenia z rozmaitych działów nauki i przez to jest bardzo interesująca.

* **P. Groth.** Elemente der physikalischen und chemischen Krystallographie, z 4 tabl., 962 ryc. w tekście i 25 stereogramami. Monachjum—Berlin, 1921, str. 362.

Jest to elementarnie ujęty, krótki wykład własności geometrycznych kryształów, wiążący się z rozważaniami nad ustrojem kryształów. Uwzględnia wyniki badań ustroju kryształów zapomocą promieni Roentgena. Doskonale opracowane są przykłady substancyj, dopuszczających przekształcenia poszczególnych 32 klas symetrii.

* **T. Rinne.** Einführung in die krystallographische Formenlehre und elementare Anleitung zu krystallographisch-optischen sowie roentgenographischen Untersuchungen. Lipsk, 1919, str. 203.

Książka ta jest przeznaczona dla chemików, pragnących zapoznać się z metodami kryształograficznymi. Oprócz podania wiadomości, odnoszących się do formy kryształów, autor stara się zaznajomić czytelnika z mikroskopowo-optycznymi metodami badania w założeniu (słusznem, zdaniem naszym), że metody te powinny znaleźć szersze, niż dotychczas, uwzględnienie w pracowniach chemicznych.

* **T. Rinne.** Das feinbauliche Wesen der Materie nach dem Vorbilde der Kristalle. 2 i 3 wydanie. Borntraeger, Berlin, 1922, str. 168.

Jest to krótki wykład najnowszych wyników badań nad ustrojem kryształów i omówienie wiążących się z ustrojem za-

gadnień fizyko-chemicznych. Celem tej książki jest zachęcenie szerszych kół do studjowania krystalografji, ważnej nie tylko z punktu widzenia przyrodoznawczego, ale z punktu widzenia „filozofji przyrody“.

Stopień III b.

3. * **A. Schoenflies.** Krystallsysteme und Krystalstruktur (z 73 ryc. w tekście). B. G. Teubner, Lipsk, 1891, str. 638 (patrz Bibliografja I, str. 00).

* **H. Bouasse.** Cours de Physique. Część szósta. Étude des symétries, Ch. Delagrave, Paryż, 1909, str. 415.

Zawiera: Wstęp.—Rozdz. I. O przekształceniach, o wypadkowych przekształceń. II. O wielościanach symetrycznych. Projektja stereograficzna. III. Siecie przestrzenne. Symetria sieci. IV. Prawo wymiernych wskaźników i jego konsekwencje. V. Grupy skończone i przemieszczenia. Grupy skończone I-szego rodzaju, grupy skończone II-go rodzaju. VI. Układy krystaliczne. Sposoby oznaczania płaszczyzn. VII. Nieskończonościowe grupy przemieszczeń. Nieskończonościowe grupy translacji. Nieskończonościowe grupy ogólne.—Dalsze rozdziały dzieła odnoszą się do symetrii ośrodka i własności fizycznych. (Patrz niżej § 12).

* **P. Niggli.** Geometrische Symmetrie des Diskontinuums (z 200 fig. w tekście). Lipsk, 1919, str. 576.

Autor przeciwstawia nauce o symetrii jednorodnych ośrodków „ciągłych“ (kontynuów) naukę o symetrii jednorodnych ośrodków „nieciągłych“. W przypadku pierwszym „każdy punkt jest równy każdemu innemu“. W przypadku nieciągłości, „punkty identyczne mają oznaczone, zależne od kierunku, odległości“. Istnieje zatem pewna skończona stała objętość przestrzeni, obejmująca „nieidentyczności“. Kryształy są „diskontynuami“. Jako takie są ciałami różnokierunkowymi (anizotropowemi), gdyż różnokierunkowość (izotropja) w ośrodkach takich możliwa jest tylko jako izotropja statyczna. Autor przedstawia zatem stosunki symetrii jednorodnych „diskontynuów“, opierając się na pracy Schoenfliesa, i daje systematyczny opis 230 układów przestrzennych z punktu widzenia analityczno-geometrycznego. W końcowej części dzieła autor omawia sposoby wyznaczania grup prze-

strzennych, gdy dany jest układ punktów ciężkości atomów. Idzie tu o to, że metody doświadczalne, oznaczając zasadniczy typ struktury, pozostawiają jeszcze szereg dowolności w wyborze grupy przestrzennej dla danej substancji. Autor daje tu zatem ilustrowany przykładami przewodnik, jak należy postępować w takim przypadku, by wszystkie te grupy wyszukać i odczytać konsekwencje, wynikające z przyjęcia każdej z nich dla własności rozważanego układu. Podane na końcu tabelki ułatwiają wyznaczenie klasy przestrzennej z orzeczeń roentgenometrycznych. Książka ta, a zwłaszcza ostatnia jej część, omawiająca związki fizyko-chemiczne z teorią ustroju, może oddać pracującym naukowo w tym kierunku duże usługi i zawiera wiele nowych i interesujących punktów widzenia. Zwrócić należy jednak uwagę, że nie jest to kurs elementarny.

* **A. Sommerfeldt.** *Atombau u. Spektrallinien.* 3-cie wydanie. Brunświk, 1922, str. 764.

Dzieło to, zajmujące się budową atomu i linjami spektralnymi, zawiera rozdział o analizie kryształów promieniami Roentgena.

4. Z nieco dawniejszych wydawnictw, dających krótki rzut oka na całość nauki o teorii ustroju, wymienimy jeszcze:

* **D. J. Beckenkamp.** *Statische und kinetische Krystalltheorien.* Erster Teil: Geometrische Eigenschaften der Krystalle und deren Veranschaulichung durch geometrische Strukturbilder. Mit 303 Textabbildungen. Berlin, 1913, str. 206.

Autor informuje tu w sposób bardzo treściwy o wynikach i o rozwoju teorii ustroju, a obszerniej omawia niektóre metody obliczania kryształów i wyrównywania błędów. W całości przebiega się osobiste stanowisko autora, według którego w większości przypadków kryształy symetryczne są agregatami (prawidłowemi zrostami lub bliźniakami) osobników pozbawionych symetrii.

E. Sommerfeldt. *Die Krystallgruppen nebst ihren Beziehungen zu den Raumgittern* (mit 14 Stereoskopaufnahmen und 50 Figuren). Drezno, 1911, str. 79.

W książce tej, przeznaczonej dla chemików, botaników i zoologów, autor przedstawia zasady krytalografji oraz podaje układy punktów, które tłumaczą 32 klasy symetrii.

E. Sommerfeldt. *Physikalische Krystallographie vom Standpunkte der Strukturtheorie.* Mit 122 Abbildungen. Lipsk, Chr. Tauchnitz. 1907, str. 131.

W książce tej autor wykłada teorię ustroju kryształów. Treść: Podział przestrzeni na prawidłowe ciała. Typowe zbiory n-punktów i ich związek z sieciami przestrzennymi. Opis 25 „typowych” układów punktów. „Zniekształcone” układy punktów. Opis heksagonalnych, tetragonalnych i trygonalnych „zniekształconych” układów punktów. Układy punktów *Sohncke*go. Historyczny rozwój teorii ustroju. Rozszerzona teoria *Sohncke*go. Zastosowania teorii ustroju.

St. Kreutz. *Elemente der Theorie der Krystalstruktur.* z 40 ryc. w tekście, 65 rzutami i 85 stereogramami. Lipsk, 1913, str. 171.

Autor omawia podstawowe założenia teorii ustroju, geometryczne własności sieci przestrzennych i ogólniejszych układów oraz ich związek z różnymi własnościami kryształów. Książka zawiera stereogramy oraz rzuty celowo skonstruowanych modeli 65 prawidłowych układów punktów, dopuszczających jako przekształcenia translacje związane z obrotem, oraz stereogramy 14 typów sieci przestrzennych i może być dzięki temu nieraz użyteczna. Natomiast, wobec postępu badań roentgenometrycznych kryształów przykłady różnych struktur, dobrane teoretycznie dla szeregu ciał krystalicznych, są częściowo przestarzałe.

H. Hilton. *Mathematical crystallography and the theory of groups of movements.* Oxford, Clarendon Press, 1903, str. 262.

Jest to angielskie opracowanie wyżej cytowanej książki *Schoenfliesa*.

§ 11. RACHUNEK KRYSALOGRAFICZNY ORAZ RYSOWANIE KRYSZTAŁÓW.

1. Stopień III a.

* **H. E. Boeke.** *Die Anwendung der stereographischen Projektion bei kristallographischen Untersuchungen.* Mit 57 Textabbildungen und 1 lithographischen Tafel. Gebr. Borntraeger. Berlin, 1911, str. 58.

* **H. E. Boeke.** *Die gnomonische Projektion in ihren Anwendung auf kristallographische Aufgaben.* Mit 49 Textfiguren. Berlin, 1913, str. 54.

Dwie powyżej wymienione książeczki zaznajamiają czytelnika w prosty i umiejętny sposób z zasadami projekcji stereograficznej i gnomonicznej i z ważniejszymi zastosowaniami ich do celów mineralogiczno-krytalograficznych. Stopień książek elementarny. Obie są bardzo godne polecenia.

* **Samuel L. Penfield.** *The stereographic projection and its possibilities, from a graphical standpoint with 34 figures and 4 plates.* New Haven, Conn. 1901. 8°, str. 54.

* **S. L. Penfield.** On the solution of problems in crystallography by means of graphical methods, based upon spherical and plane trigonometry. American Journal of Science, Vol. XIV. 8^o, 1902.

O treści rozpraw powyższych poucza ich tytuł. Metody graficzne Penfielda, rozpowszechnione zwłaszcza w amerykańskich uczelniach, są w istocie niezmiernie proste i nadają się do stosowania w studenckich ćwiczeniach elementarnych oraz dla szybkiej kontroli obliczeń.

A. Nies, Dr. Allgemeine Krystallbeschreibung auf Grund einer vereinfachten Methode des Krystallzeichnens bearbeitet und mit einer Anleitung zur Anfertigung der Krystallnetze und Krystallmodelle. Mit 182 Textfiguren. Schweizbart. Stuttgart, 1895, str. 175.

Książka przeznaczona dla młodzieży.

Stopień III b¹⁾.

2. **B. Gossner.** Krystallberechnung und Krystallzeichnung. Ein Hilfsbuch der Krystallographie mit Betonung der graphischen Verfahren, sowie der analytischen und zonalen Beziehungen. Mit 1 Tafel und 105 Abbildungen im Text. Lipsk i Berlin, 1914, str. 128.

Jest to elementarne przedstawienie powszechnie używanych metod.

* **V. M. Goldschmidt.** Ueber Projektion und Krystallberechnung. Berlin, 1887, str. 97.

Tenze. Krystallographische Projektionsbilder. Berlin, 1887.

Prócz wymienionych, szereg prac tego autora znajduje się w Zeitschr. für Krystallographie. Goldschmidt skonstruował specjalne gonjometry teodolitowe i wypracował ekonomiczne metody obliczania kryształów.

¹⁾ Samouk tego szczebla, mający pewną wprawę w rozwiązywaniu zadań z geometrii elementarnej i geometrii wykreślnej, znajdzie sobie zwykle sam drogę do rozwiązania nasuwającego mu się zagadnienia. Niżej przytoczone dzieła mogą mu być jednak pomocne do zapoznania się z istotą nasuwających się tu zagadnień.

Specjalne metody obliczania kryształów, zwłaszcza drogą mechanicznego rozwiązywania trójkątów sferycznych przy użyciu gonjometru teodolitowego i pewnych środków pomocniczych, wypracował i podał:

* **E. Fiodorow**. Prace jego na ten temat ukazały się w języku rosyjskim oraz w *Zeitschr. für Krystallographie*, 1896 — 1897, 26, 27, 28.

* **G. Wulff** (Prace w *Zeitschrift für Krystallographie*, 1893, 21, 249; 1902, 36, 14) rozpowszechnił między krystalografami używanie siatki stereograficznej dla ułatwienia wykonywania rzutów stereograficznych.

* **F. Stoeber**. Sur une méthode de dessin des cristaux. Bull. de la Soc. franç. de Minéralogie 1899, 22, 42, Paryż.

Autor daje nadzwyczaj praktyczną metodę rysowania kryształów na podstawie projekcji stereograficznej.

* **H. Dufet**. Sur le calcul cristallographique. Bull. de la Soc. franç. de Minéralogie, Paryż, 1903, 26, 190.

Autor podaje nowe metody obliczania kryształów.

G. Wyrouboff. Manuel pratique de Cristallographie. Gauthier-Villars. Paryż, 1889, str. 344.

Książka ta, jak autor zaznacza w przedmowie, powinna mieć tytuł: Praktyczny podręcznik oznaczania form krystalicznych. Główną część książki wypełniają tedy zagadnienia rachunku krystalograficznego. Liczne przykłady, podane dla każdego z układów, ułatwiają naukę.

* **Aristides Brezina**. Methodik der Krystalbestimmung. Wiedeń, 1884, str. XIV i 359.

Książka ta daje dobre wskazówki, wzory i szczegółowo opracowane przykłady schematycznego wykonywania pomiarów i obliczeń krystalograficznych. Metody użyte dadzą się przeważnie zastąpić bardziej celowymi, dzieło to jest jednak godne polecenia, jako wzór systematycznego notowania spostrzeżeń i prowadzenia rachunków.

H. Hecht. Anleitung zur Krystalloberechnung mit 1 Tafel und 5 auf Pauspapier gedruckten Hilfs-Projektionen. Lipsk, 8^o, 1893, str. 765.

F. Henrich. Lehrbuch der Krystallberechnung mit zahlreichen Beispielen. Stuttgart, 1886.

E. Reusch. Die stereographische Projektion. Lipsk, 1881.

Quintino Sella. Teoretica e pratica del regolo calcolatore. Roma-Torino. Milano-Firenze. 1886.

Z dawniejszych podręczników i prac wymienimy następujące:

J. Weissbach. Anleitung zum axonometrischen Zeichnen. 1857.

C. F. Naumann. Lehrbuch der reinen und angewandten Krystallographie. 1830.

Tenze. Elemente der theoretischen Krystallographie. Engelmann, Lipsk, 1856, str. 383.

Fr. A. Quenstedt. Methode der Krystallographie. Tybinga, 1840.

Tenze. Grundriss der bestimmenden und rechnenden Krystallographie. Tybinga, 1873.

M. Websky Dr. Anwendung der Linearprojektion zum Berechnen der Krystalle. Berlin, 1887.

3. Rachunek wyrównywania błędów metodą najmniejszych kwadratów opracował:

J. Beckenkamp. Ausgleichsmethoden der geometrischen Krystallographie. Zeitschrift für Krystallographie 1894, 22, 376.

W przypadku użycia gonjometru dwukołowego (metody teodolitowej) należy korzystać z książki:

J. Wulff. Rukowodstwo po kristallografji. 1904.

Metodę „skupień“ opracował:

E. A. Wülfing. Die Häufungsmethode. Sitzber. der Heidelbergern Akademie der Wissensch. Abt. A.— Heidelberg, 1916.

Zastosowanie tej metody do pomiarów dwukołowych podaje.

T. J. Woyno. Die Anwendung der Häufungsmethode auf zweikreisige Krystallmessung. — Centralblatt f. Mineralogie, Stuttgart. 1918, 107.

§ 12. KRYSTALOGRAFJA FIZYCZNA

(PODRĘCZNIKI OBEJMUJĄCE ZWYKŁE KRYSTALOGRAFJĘ GEOMETRYCZNĄ).

1. Przytaczamy najpierw kilka dzieł, obejmujących większy zakres własności fizycznych a zarazem, jako jeden z obszerniejszych działów, naukę o symetrii krystalograficznej.

Stopień IIIa.

Bardziej elementarne podręczniki, zawierające całość krytalografji, wymieniliśmy już omawiając podręczniki krytalografji geometrycznej. W szczególności zwrócimy tu jeszcze uwagę na omówione wyżej dzieła:

Ch. Soret. *Éléments de Cristallographie*, 1893.

P. Groth. *Physikalische Krystallographie*, 1905.

Gorąco polecamy książkę:

* **Th. Liebisch.** *Grundriss der physikalischen Krystallographie* (mit 898 Fig. im Text). Lipsk, Veit i Comp., 1896, str. 506.

Autor daje zupełnie elementarny wykład zasadniczych praw symetrii i krytalografji fizycznej. Książka ta odpowiada wykładom krytalografji fizycznej, które autor miewał w uniwersytecie w Getyndze, przeznaczona jest zatem przedewszystkiem dla uczniów uniwersyteckich.

Stopień IIIb.

Woldemar Voigt. *Die fundamentalen physikalischen Eigenschaften der Krystalle in elementarer Darstellung*. 252 fig. w tekście.—Veit, Lipsk, 1908, str. 243.

Dziełko to powstało z wykładów dla nauczycieli gimnazjalnych na kursach wakacyjnych. W książce tej autor pomija optykę kryształów.

* **Th. Liebisch.** *Physikalische Krystallographie*. Mit 298 Abbildungen im Text und 9 Tafeln. Lipsk, 1891, str. 614.

W obszernem i bardzo gruntownem tem dziele, autor uwzględnia przedewszystkiem symetrię kryształów. Po rozdziale o zjawiskach symetrii i wyprowadzeniu 32 grup charakterystycznych dla kryształów następują rozdziały o jednorodnem odkształceniu i o zjawiskach, które można opisać obrazowo jako prąd. Bardzo szczegółowo są omówione optyczne własności kryształów; autor zadawała się przytem ściśłym, o ile możliwości, opisem zjawisk, nie wchodząc bliżej w teorię. Po rozdziale o sprężystości kryształów, zajmuje się autor zjawiskami wzajemnej zależności własności sprężystych, optycznych i elektrycznych

w kryształach. Do studjowania tej książki potrzebne jest gruntowniejsze przygotowanie matematyczne, więc znajomość równań różniczkowych, teorii powierzchni II-go rzędu i t. d.

* **Woldemar Voigt.** *Lehrbuch der Krystallophysik* (mit Ausschluss der Krystalloptik), mit 213 Figuren im Text und 1 Tafel. Lipsk i Berlin, 1910, str. 964.

Dzieło to przystępne jest tylko dla gruntownie obeznanych z pojęciami i metodami fizyki matematycznej.

Treść: I. O symetrii kryształów; ogólna teoria przekształceń kryształów w siebie. — II. Funkcje fizyczne jako wielkości o oznaczonym kierunku. — III. Ogólne prawa fizyczne pomocnicze (z mechaniki, termodynamiki, teorii elektryczności i magnetyzmu). — IV. Związki między skalarem a wektorem (pieroelektryczność i piromagnetyzm). — V. Związki między skalarem a trójką tensorów (rozszerzalność cieplna i tensoryczna pieroelektryczność). VI. Związki między dwoma wektorami (Przewodnictwo elektryczne i ciepłne. Indukcja elektryczna i magnetyczna. Termoelektryczność). — VII. Związki między dwiema trójkami tensorów. (Sprężystość i tarcie wewnętrzne). — VIII. Związki między wektorem a trójką tensorów. (Piezoelektryczność, piezomagnetyzm i zjawiska odwrotne). W dodatku: zjawiska wytrzymałości, związki między kryształami a ciałami „niby izotropowymi“.

2. Optyka kryształów jest opracowana w sposób wzorowy przez F. Pockelsa.

* **F. Pockels.** *Lehrbuch der Krystalloptik.* Mit 168 Figuren im Text und 6 Doppelplatten. Lipsk i Berlin, 1906, str. 519.

Książka ta wyróżnia się tem, że uwzględnia zastosowania optyki do mineralogji i krystalografji, pomimo, że jest napisana z punktu widzenia fizycznego i w sposób zupełnie ścisły. Aby książkę uczynić przystępną, przynajmniej w części i dla osób nie posiadających wyższego wykształcenia matematycznego, autor rozpoczyna od omówienia praw rozchodzenia się światła w prostych przypadkach i ze stanowiska geometrycznego ogólnych prawidłowości, zależnych tylko od falistej natury ruchu świetlnego, a dopiero w dalszym ciągu przechodzi do dedukcji wektora

światłnego z równań różniczkowych. W teoretycznych rozważaniach autor posługuje się elektromagnetyczną teorią światła. W książce tej znajdujemy ważniejsze wyniki spostrzeżeń i doświadczeń oraz krótką charakterystykę metod używanych; w szczególności opis instrumentów autor nie wdaje się.

Treść: Wstęp: podstawowe zasady ogólnej teorii światła. — I. Kryształy doskonale przejrzyste, nie posiadające własności skręcania płaszczyzny polaryzacji. — II. Kryształy skręcające płaszczyznę polaryzacji. — III. Kryształy silnie absorbujące światło. — IV. Zmiany własności optycznych pod wpływem zmian zewnętrznych.

J. Beckenkamp. *Statische und kinetische Krystalltheorien.* Część II-ga. Teoria rozprzestrzeniania się energii w kryształach przez promieniowanie (optyka kryształów). Berlin, Borntraeger, 1915, str. 670.

Książka ta podaje dużo szczegółów. Część I-sza była omówiona przy teorii ustroju.

Ścisłą ilustrację różnych zjawisk interferencji światła spolaryzowanego, wywołanych przez płytki kryształów podwójnie załamujących, dają fotografie, bardzo starannie wykonane przez H. Hauswalda.

H. Hauswaldt. *Interferenzerscheinungen an doppelbrechenden Krystallplatten im convergenten polarisierten Licht* — z przedmową Th. Liebisch'a, z 33 tablicami in folio. Magdeburg, 1902.

Tenże: *Interferenzerscheinungen im polarisierten Licht.* Neue Folge. Z 80 tablicami in folio. Magdeburg, 1904.

Dla powtórzenia zasad optyki kryształów słuchacze uniwersytetów niemieckich używają często podręcznika:

A. Becker. *Krystalloptik*, str. 362, Stuttgart, 1903.

Elementarny zarys zasadniczych własności optycznych kryształów. Szkic historyczny rozwoju teorii światła.

3. Z obszerniejszych dzieł i podręczników fizycznych, zajmujących się optyką kryształów, wymienimy:

W. Voigt. Kompendium der theoretischen Physik Tom II. 1896.

P. Drude. Lehrbuch der Optik. Hirzel, Lipsk, 1906, str. 538

Tenze: Physik des Aethers auf elektromagnetischer Grundlage. Stuttgart, 1912, str. 671.

H. Poincaré. Théorie mathématique de la lumière (II.). Paryż, 1889, 1891.

E. Mascart. Traité d'optique, Paryż, 1889, 1891, 1893, 1896.

Fizycznym własnościom kryształów poświęcono sporo miejsca w fizyce Winkelmann'a. Lipsk, 1905—1909.

Osobno przytoczyć należy książkę:

* **H. Bouasse.** Cours de Physique, której tom VI-ty: Études des symétries (Delagrave, Paryż, 1909, str. 424). poświęcony jest nauce o własnościach ciał skryształizowanych. Jest to kurs teoretyczny.

Po części, odnoszącej się do teorii ustroju i symetrii geometrycznej, następuje: I. Symetria kryształów. Tworzenie się i wzrost kryształów. — II. Zbiorowiska kryształów. Bliźniaki. Mimizeja. Polimorfizm, homeomorfizm. Kryształy mieszane. — III. Odkształcenie jednorodne. Podział kryształów. Rozszerzalność cieplna; ściśliwość. Uskoki. — IV. Związki między wielkościami wektorjalnemi. Energia elektryczna i magnetyczna. Polaryzacja magnetyczna. Polaryzacja elektryczna. — V. Przewodnictwo cieplne i elektryczne. Zjawisko Halla i zjawiska analogiczne. — VI. Zjawiska powstające przy odkształceniach. Sprężystość kryształów. Piezoelektryczność. Piroelektryczność. — VII. Symetria ośrodka i podwójne załamywanie. Ośrodki krystaliczne. Pleochroizm. Absorbacja. Podwójne załamywanie jako wynik ustroju. Podwójne załamanie przypadkowe. Podwójne załamywanie elektryczne (efekt Kerra). Ciecze anizotropowe. — VIII. Podwójne załamywanie eliptyczne i koliste. Superpozycja podwójnego załamywania zwyczajnego i kolistego. Polaryzacja kolista w kryształach optycznych dwuosiowych. — IX. Symetria ośrodków optycznie czynnych. Teoria polaryzacji kolistej. — X. Symetria pola magnetycznego. Polaryzacja magnetyczna. Teoria zjawisk magnetycznych. — XI. Kryształy ciekłe. Ciecze krystaliczne.

4. Za poradnik praktyczny i przewodnik przy wykony-

waniu pomiarów krystalograficzno-fizycznych służyć mogą dzieła następujące:

* **A. E. H. Tutton.** *Crystallography and practical crystal measurement.* Macmillan. Londyn, 1911, str. 964. Nowe wydanie: T. I. Forma i ustrój kryształów. T. II. Własności fizyczne i chemiczne. Londyn, 1922, XXXIX + 1446, 8 tabl., 931 figur w tekście.

Dzieło to utrzymane jest w tonie elementarnym i nie wnika głębiej w teoretyczne traktowanie zagadnień fizyki kryształów. Daje natomiast bardzo szczegółowy opis metod doświadczalnych, którymi posługuje się krystalograf, i w których udoskonaleniu zasłużył się autor w wysokim stopniu. Jest to więc przede wszystkim podręcznik krystalografii praktycznej. Autor ilustruje na przykładach sposoby przedstawiania liczbowego wyników pomiarów, zakładając, że uczeń czy czytelnik posiada wiadomości matematyczne bardzo skromne.

O pomiarach mikroskowo-optycznych traktuje bardzo szczegółowo opracowane i godne polecenia dzieło:

* **E. A. Wülfing.** *Mikroskopische Physiographie der wichtigen Mineralien.* Część ogólna. Stuttgart, 1904, str. 467.

Ten sam przedmiot omawiają następujące dwie publikacje:

* **L. Duparc et Fr. Pearce.** *Traité de technique minéralogique et pétrographique.* Cz. I. Metody optyczne. Lipsk, 1907, 483.

* **Fred. Eug. Wright.** *The methods of petrographic-microscopic research.* Washington, D. C., 1911, str. 204. Carnegie Institution of Washington, № 158.

Praca ta omawia: metody, ich dokładność i zastosowanie.

* **W. W. Nikitin.** *La méthode universelle de Fedoroff.* Opis systematyczny postępowania dla oznaczania stałych optycznych minerałów. Dzieło przetłumaczone na język francuski przez Louis Duparc'a i Véré de Dervies. Tom I i II. Genève, Éd. Atar. 1914, str. 516.

5. Zagadnienia, należące do krystalografii geometrycznej, fizycznej i chemicznej omawia:

Fred. Wallerant. *Cristallographie. Déformation des corps cristallisés; groupements, polymorphisme — isomorphisme.* Paryż, 1909, str. 516.

Dzieło to nie zawiera całości wykładu krystalografii geometrycznej, lecz tylko bardzo szczegółowy wykład pewnych rozdziałów krystalografii, nie omawianych w krystalografii Mallarda. W wywodach autora występują wyraźnie jego osobiste zapatrywania na ustrój kryształów, jednakże i dane rzeczowe są obszernie uwzględnione. Po ogólnym wstępie o ustroju i symetrii kryształów autor omawia deformację jednorodną; szczegółowo omawia przypadki odkształcenia przez translację i uskoki; potem autor rozpatruje zjawiska bliźniaczenia się kryształów i symetrii pozornej, polimorfizmu i izomorfizmu, wreszcie zrastania się ciał różnych ze sobą.

§ 13. KRYSTALOGRAFJA CHEMICZNA.

* **P. Groth.** *Einleitung in die chemische Krystallographie.* Engelmann, Lipsk, 1904, str. 80 (duża ósemka).

Jest to wstęp do bardzo obszernego dzieła; autor porównywa systematyczne dane i stałe krystalograficzne dla różnych ciał oraz omawia wnioski, wynikające z porównania pewnych grup różnych ciał.

Treść: Ogólne uwagi o strukturze kryształów. Polimorfizm. Morfotropizm. Izomorfizm. A. Podobieństwo ustroju krystalicznego ciał analogicznych chemicznie. B. Związki między kryształami a roztworami ciał izomorfowych. C. Mieszaniny izomorfowe; polimorficzne przemiany ciał izomorfowych. Optyczne własności ciał izomorfowych. Związki molekularne. Ciała racemiczne i optycznie skręcające.

Podręcznik ten jest zarazem wstępem do niżej przytoczonego wielkiego dzieła:

* **P. Groth.** *Chemische Krystallographie.* W 5-ciu częściach. 8^o.

W wydawnictwie tem zebrane są dane krystalograficzne i omówione związki chemiczno-krystalograficzne ciał wymienionych w tytule każdego z pięciu tomów. Ciała powstałe w przy-

rodzie są tu na równi traktowane z ciałami wytworzonymi w pracowni. Jest to niezwykle cenny, olbrzymi materiał porównawczy, uporządkowany krytycznie i systematycznie.

Cz. I. Pierwiastki. Związki nieorganiczne i t. d. Z 389 fig. w tekście. Lipsk, 1906, str. 626.

Cz. II. Związki nieorganiczne oksy- i siarkosoli. Z 522 fig. w tekście. Lipsk, 1908, str. 914.

Cz. III. Związki węgla alifatyczne i hydroaromatyczne. Z 648 fig. w tekście. Lipsk, 1910, str. 804.

Cz. IV. Związki węgla aromatyczne z jednym pierścieniem benzołowym. Z 828 fig. w tekście. Lipsk, 1917, str. 801.

Cz. V. Związki węgla aromatyczne o większej ilości pierścieni benzołowych. Związki heterocykliczne. Z 955 fig. w tekście. Lipsk, 1919, str. 1063.

Zwracamy uwagę, że nie jest to podręcznik przeznaczony dla uczących się, lecz dzieło informacyjne i materiał dla naukowych prac specjalnych. Omawiamy to dzieło tutaj ze względu na wstępy ogólne, poprzedzające każdy rozdział, zawierający wykazy własności pewnej grupy związków; wstępy te są napisane oryginalnie i z wielką znajomością rzeczy.

Uzupełnienia historyczne i pouczające wykazy przykładów znajdzie czytelnik w następujących dwu dziełach:

* **Andréas Arzruni.** *Physikalische Chemie der Krystalle.* Brunświk, 1893, str. 365. Osobna odbitka z Graham i Otto: *Ausführliches Lehrbuch der Chemie.*

W książce tej autor omawia związki między formą kryształu a składem chemicznym (polimorfizm, izomorfizm, morfotropizm). Część historyczna została szeroko uwzględniona.

A. Fock. *Einleitung in die chemische Krystallographie.* Lipsk, 1888. Wydanie angielskie rozszerzone (przez W. J. Pope'a). Oxford, 1895.

O specjalnych zagadnieniach krystalografii chemicznej informują książki następujące:

* **Gustav Tamann.** *Krystallisieren und Schmelzen. Ein Beitrag zur Lehre der Änderungen des Aggregatzustandes.* Z 80 fig. Lipsk, 1903, str. 348.

Autor badał wraz z szeregiem współpracowników zachowywanie się ciał stałych w różnych temperaturach pod możliwie wielkim ciśnieniem. W książce niniejszej Tamann daje porównanie wyników tej działalności. Przebieg krzywych topliwości zdołano badać nawet przy użyciu ciśnienia do 10,000 kg. na 1 cm². Szczegółowo są omówione badania nad „linijną szybkością krystalizacji“ i nad „samorzutną krystalizacją“.

* **G. Tamann.** Lehrbuch der Metallographie. Lipsk, L. Voss. 1921, str. 219.

Dzieło to roztrząsa własności fizyczno-chemiczne kryształów ciał metalicznych oraz agregatów ziarn krystalicznych.

Giuseppe Bruni. Feste Lösungen und Isomorphismus. Lipsk, 1908, str. 127.

Książka ta powstała z odczytu, wygłoszonego przez autora w Towarzystwie Chemicznem we Wrocławiu, i informuje o zagadnieniach, wyrażonych w tytule.

O. Lehmann. Molekularphysik mit besonderer Berücksichtigung mikroskopischer Untersuchungen und Anleitung zu solchen. Tom I-szy z 375 ryc. w tekście i 5 tablicami chromolitografowanymi. Lipsk, 1888, str. 852. Tom II-gi z 249 ryc. w tekście i 1 tabl. Lipsk, 1889, str. 697.

Obszerne to dzieło jest cenne jako zbiór bardzo wielu spostrzeżeń, dotyczących tworzenia się kryształów, dokonanych przeważnie przy użyciu mikroskopu. Autor zebrał w nim wiele wiadomości z dawniejszej literatury. Szczegółowo omawia zmiany stanu ciał stałych a następnie niektóre własności cieczy i gazów. Dzieło to jest pod wielu względami przestarzałe, ale użyteczne przy specjalnych studjach jako zbiór wiadomości i oryginalnych spostrzeżeń.

2. Niektóre tematy krystalografii chemicznej zostały ujęte w sposób nadający się do teoretycznych rozważań. Zajmuje się niemi W. Gibbs w przytoczonej już pracy; podajemy tu następujące jeszcze dzieła teoretyczne:

P. Duhem. Traité élémentaire de mécanique chimique fondée sur la thermodynamique t. I—IV.

Paryż, 1897—1899. Stopy i odmiany alotropiczne. Mieszaniny podwójne. Ogólna statyka chemiczna układów różnorodnych.

Przypominamy tutaj:

J. H. Van't Hoff. Vorlesungen über theoretische und physikalische Chemie. 2-gie wyd. Vieweg, Brunświk 1903, str. 155.

Tenże: Zur Bildung der ozeanischen Salzablagerungen. Cz. I, Brunświk, 1905, str. 85. Cz. II, Brunświk, 1909, str. 90.

H. W. Bakhuis Roozeboom. Die heterogenen Gleichgewichte vom Standpunkte der Phasenlehre, zeszyt I-szy. Vieweg, Brunświk, 1901, str. 221. Zeszyt 2-gi, tamże, 1904, str. 467.

Tematy powyższe omawia w sposób elementarny książka:

R. Marc. Vorlesungen über die chemische Gleichgewichtslehre (z zastosowaniem do problematów mineralogji, petrografji i geologji). Fischer, Jena, 1911, str. 212. Jest to rodzaj podręcznika, przydatnego dla mineralogów.

§ 14. ANALIZA KRYSTALOGRAFICZNO - MIKROCHEMICZNA.

Jakościowa analiza mikrochemiczna polega głównie na poznawaniu różnych związków chemicznych z typowych dla nich postaci krystalicznych, które można łatwo poznać pod mikroskopem najczęściej już z pokroju. Odrobinę badanego ciała rozpuszczamy i śledzimy pod mikroskopem wydzielające się, za dodaniem pewnych odczynników, charakterystyczne kryształy.

W języku polskim ukazał się w r. b. podręcznik:

Dr. A. Bolland. Mikrochemja, wyd. II-gie. Czernecki, Warszawa—Kraków 1923, str. 274.

Dzieło to ujmuje cały opracowany dotychczas materiał z zakresu mikrochemji jakościowej i ilościowej w sposób systematyczny. W pierwszych rozdziałach omówione są potrzebne przybory i metody badań mikrochemicznych, dalej następują rozdziały: mikroanaliza nieorganiczna i organiczna, mikrochemiczne reakcje związków organicznych, mikroanaliza wagowa, miareczkowa, zastosowanie mikroanalizy do badań technicznych i t. d.

Oprócz postaci ciał krystalicznych autor uwzględnia do celów diagnostycznych też w pewnym zakresie ich własności optyczne i inne fizyczne (jak twardość, łupliwość i t. d.).

Oprócz wykrywania pierwiastków wchodzących w skład badanych próbek zna mikrochemja jeszcze inną drogę oznaczania ciał krystalicznych, mianowicie drogę barwienia substancyj krystalicznych, które reagują na różne odczynniki w rozmaity sposób. Droga ta, której wskazanie nauka zawdzięcza dorpackiemu uczonemu J. Lembergowi posiada tę zaletę, że pozwala na odróżnianie od siebie ciał wielopostaciowych, czego prosta analiza oczywiście nie daje. Metodę tę stosuje się na razie przede wszystkim w mineralogji i na tem polu pracuje w Polsce od szeregu lat prof. St. J. Thugutt, którego liczne i cenne prace z tego zakresu znajdzie czytelnik przede wszystkim w Sprawozdaniach z posiedzeń Towarzystwa Naukowego Warszawskiego, a częściowo w lwowskim „Kosmosie“.

Porównaj: **St. J. Thugutt**: Stan obecny metod badania mikrochemicznego w mineralogji i petrografji. Sprawozd. Tow. Nauk. Warsz. 1913.

Z dzieł w obcych językach wymienimy następujące:

P. D. C. Kley (prof. politechniki w Delft): Behrens — Kley mikrochemische Analyse. Voss, Lipsk, 1921.

Cz. I-sza (tekst); str. XII i 368.

Cz. II-ga (tablice do oznaczania minerałów); str. IV i 136.

Książka ta jest zarazem czwartem wydaniem klasycznego dzieła H. Behrensa:

H. Behrens. Anleitung zur mikrochemischen Analyse. 2 Aufl. Lipsk, 1900, str. 224.

P. D. C. Kley. Behrens — Kley organische mikrochemische Analyse (z 197 ryc. w tekście). Voss, Lipsk, 1922, str. 455.

Dr. A. Mayerhofer. Mikrochemie der Arzneimittel und Gifte. Urban i Schwarzenberg, Berlin i Wiedeń, 1923, str. 284.

* **Schroeder van der Kolk.** Kurze Anleitung zur mikroskopischen Krystallbestimmung. Wiesbaden, 1898, str. 58.

L. Bourgois. Analyse microchimique. Paryż, 1892. (Z Dictionnaire de Chimie de M. Wurtz).

O. Lehmann. Molekularphysik. Lipsk, 1888—89.

* **E. Bořický.** Elemente einer neuen chemisch-mikroskopischen Mineral- und Gesteinsanalyse. Praga, 1877.

* Patrz też: **E. A. Wülfing.** Mikroskopische Physiographie der petrographisch wichtigen Mineralien. Stuttgart, 1904.

Dr. Louis Duparc et Francis Pearce. Traité de technique minéralogique et pétrographique. Część II-ga. Lipsk, 1913.

Omówienie zastosowania metod krystalograficznych do mineralogii i petrografii oraz dotyczącej tego zagadnienia literatury znajdzie czytelnik w odpowiednich działach tomu Poradnika, poświęconego mineralogii.

§ 15. MONOGRAFJE SPECJALNE.

1. Pojęcie o rozwoju krystalografii wytworzyć sobie można nie tylko studiując ogólne dzieła o historii krystalografii, lecz także, w węższym zakresie, ale zato dokładniej — przez studjowanie rozpraw, odnoszących się do kryształów jednego związku czy minerału. Studjowanie takie ułatwiają „monografie“. W najbliższym czasie ukaże się w języku polskim monografia ciała tak rozpowszechnionego, jak lód, opracowana przez niepospolitego znawcę tego przedmiotu i podróżnika Antoniego Dobrowolskiego.¹⁾

A. Dobrowolski. Historia naturalna lodu. Z 350 fig. w tekście, z bibliografią i dodatkiem w języku francuskim.

¹⁾ Wyszła z druku.

Nakładem Kasy im. Mianowskiego, Warszawa, 1923, Drukarnia Koziąńskich.

Odpowiednio do znaczenia lodu w przyrodzie dzieło to posiada przeszło 900 str. druku. Załączone fotografie przeważnie dotychczas nie były publikowane. Jak to można wnosić z przytoczonej poniżej treści poszczególnych rozdziałów, dzieło to będzie wydawnictwem pierwszorzędного znaczenia, jakim się niewiele literatur obcych pochlubić może.

Treść: I. Warunki krzepnięcia wody. Jako dodatek: stałe fizyczne związane z krzepnięciem wody — z topnieniem lodu. II. Warunki krzepnięcia pary wodnej. III. Ogólne warunki wzrostu lodu atmosferycznego. IV. Ogólna krystalografia lodu (symetria, dostrzegane formy krystalograficzne, pokrój kryształów, bliźniaki). Polimorfizm lodu. Formy skupień kryształów lodu. V. Krzepnięcie pary wodnej w wolnej przestrzeni (atmosferycznej). VI. Krzepnięcie pary wodnej na powierzchni ciał stałych (zamróz, szron). VII. Krzepnięcie kropel (krupy, grad, deszcz lodowy, lód naciekowy, stalaktyty, sople lodu). Rozdziały VIII do XIV omawiają zbiorowiska lodu, podpadające pod kategorię skał, tworzą zatem „petrografię” lodu. VIII. Krzepnięcie wody spokojnej (pokrywa lodowa). IX. Krzepnięcie wód niespokojnych (lód denny, sryż). X. O krzepnięciu wilgoci gruntowej (gruntu przemarzłe, lód kopalny). XI — XII. Szata śnieżna ziemi. XIII — XIV. Lodowce. XV. Lód jako przyczyna zjawisk optycznych w atmosferze.

Przy końcu każdego z wymienionych rozdziałów podana jest cała literatura światowa, odnosząca się do zjawisk opisywanych, tak, że całość tworzy kompletną bibliografię lodu.

2. W językach obcych szeregu monografij dostarczyły rozprawy doktorskie, zwłaszcza uniwersytetów niemieckich. Wydawane przez Niemieckie Towarzystwo Mineralogiczne roczniki: *Fortschritte der Mineralogie, Krystallographie und Petrographie*, G. Fischer, Jena, zawierają prawie wyłącznie monograficzne opracowania zagadnień z zakresu krystalografii geometrycznej i fizycznej oraz nauk mineralogicznych.

IV.

§ 16. WYKAZ STAŁYCH KRYSTALOGRAFICZNYCH.

1. * **V. M. Goldschmidt.** *Krystallographische Winkeltabellen.* Berlin, Springer, 1897, str. 432.

Dzieło to zawiera stałe krystalograficzne dla alfabetycznie ułożonych minerałów, spis postaci na nich poznanych oraz ich współrzędne biegunowe.

* **V. M. Goldschmidt.** *Index der Krystallformen der Mineralien.* Trzy tomy. Berlin, t. I, 1886, t. II, 1890, t. III, 1891, str. 420.

Dzieło to może uchodzić za tekst objaśniający do przytoczonych powyżej tablic; zawiera ono wykaz i rozważanie postaci ówczesnie znanych.

* **Landolt-Boernstein.** *Physikalisch-chemische Tabellen.* IV. Auflage. Berlin, 1912.

* **P. Groth.** *Chemische Krystallographie.* 5 tomów. Lipsk, 1906—10.

E. S. Fiodorow opracował cały poznany do danej chwili materiał krystalograficzny, odnoszący się do minerałów i sztucznie otrzymanych ciał, i ułożył tablice do systematycznego oznaczania i poznawania substancji na podstawie oznaczenia jej formy krystalicznej. Głównym, nasuwającym się tu postulatem jest jednoznaczne ustawienie kryształów, symetria kryształów dopuszcza tu bowiem w większości przypadków jeszcze wiele dowolności. Fiodorow osiąga jednoznaczne ustawienie kryształów przez uwzględnienie postulatu, by najważniejsze ściany kryształu zlewały się z płaszczyznami najgęściej obsianymi w danej sieci przestrzennej, które przyjmujemy za płaszczyzny współrzędne, oraz faktu, że większość ciał krystalicznych jest zbliżona postacią do układu tetragonalnego (kubicznego) lub heksagonalnego. Tak np. z 455 badanych pod tym względem minerałów krystalizuje się 125 w układzie kubicznym, 166 jest pseudo-kubicznych, a 164 pseudo-heksagonalnych lub heksagonalnych.

* **E. S. Fiodorow.** *Kritический пересмотр форм кристаллов минеральной царства* (Przegląd krytyczny

postaci kryształów państwa mineralnego). Materiały do statyki molekularnej ciał stałych jednorodnych. *Mém. de l'Acad. des Sc. Petersburg. Cl. mat. phys.*, 1903, 14, № 2, 1—148 (po rosyjsku).

E. Fiodorow. Die Praxis in der krystallochemischen Analyse und die Abfassung der Tabellen für dieselben. *Zeitschr. f. Krystall.* 50, str. 512.

Autor daje praktyczne wskazówki, w jaki sposób należy wykonywać analizę „krystallochemiczną“, na której podstawie można rozpoznawać związki o bardzo skomplikowanym składzie chemicznym. Fiodorow używa w tym celu tablic, obejmujących około 10,000 substancyj i 5,000 diagramów.

Według referatu w *Centralblatt für Mineralogie* 1923, 30 ukazała się w r. 1920, już po śmierci Fiodorowa, w języku niemieckim praca p. t.:

E. Fiodorow. Das Krystallreich. Tabellen zur krystallochemischen Analyse. Unter Mitwirkung von D. Artemiew, Th. Barker, B. Orelkin und W. Sokolow—2 tomy (tekst, str. LXXIV + 1050, oraz atlas: tablic 21+64+128), 4°. — *Mém. d. l'Académie d. Sc. d. Russie, Cl. Phys.-math.* 1920.

W pracy tej są zebrane w tablicach krystalograficzne dane, służące do rozpoznawania 7,400 substancyj.

H. Dufet. Recueil de données numériques, publié par la Société française de Physique.—Optique. Deuxième fascicule—propriétés optiques des solides. Paryż, 1900.

Jest to zbiór stałych optycznych kryształów.

Tables annuelles de constantes et données numériques de chimie, de physique et de technologie; publiées sous le patronage de l'Association Internationale des Académies par le Comité international, nommé par le VII Congrès de Chimie appliquée. Paryż, Gauthier-Villars, t. I, 1912, str. 39, 730; t. II, 1913, str. 40, 358 oraz dalsze tomy odnoszące się do publikacyj z lat następnych.

W dziele tem znajduje się wykaz nowych danych krystalograficznych przez **L. J. Spencer'a**.

L. J. Spencer, with preface by Sir Henry A. Miers: Données numériques de cristallographie et de minéralogie. Paryż 1923, str. 1025—1093.

Jest to wyciąg z 4-go tomu: *Tables annuelles de constantes et données numériques* (za lata 1913 — 16) Cena: 15 fr., oprawne: 25 fr.

§ 17. ATLASY FORM KRYSTALOGRAFICZNYCH.

Wierne rysunki (rzuty) kryształów mają wielkie znaczenie, nie tylko ze względów praktycznych (diagnostycznych), ale dlatego, że stanowią ważny czynnik w badaniu zależności pokroju kształtów od środowiska, w którym się kryształ znajduje.

Victor Goldschmidt. *Atlas der Krystallformen.* Carl Winter, Heidelberg, od r. 1913.

V. Goldschmidt podjął się zebrania i wydania wszystkich dotychczas ogłoszonych rysunków kryształów ciał, występujących w przyrodzie. Dotychczas wyszło 5 tomów wydawnictwa, które miało się składać przypuszczalnie z sześciu tomów, obejmujących około 250 tablic i około 28,000 rycin.

Tekst objaśniający, zawierający prócz elementów kryształu porównanie form oraz dokładną literaturę przedmiotu, ma tworzyć oddzielne tomy.

Z dawniejszych wydawnictw tego rodzaju przytoczymy nieukończone dzieła:

Albr. Schrauf. *Atlas der Krystallformen des Mineralreiches.* Tabl. 50, 4°. Braumüller, Wiedeń, 1877.

A. Lévy. *Description d'une collection de minéraux formée par Mr. Heuland et appartenant à Mr. Hampden Turner.* 3 vol. Londyn, 1837.

Do Zasad Mineralogji prof. **Aloizego Altha**, wydanych w Krakowie w r. 1868, dołączony jest atlas, złożony z 12-tu tablic, z 280 rysunkami kryształów.

Rysunki kryształów sztucznie otrzymanych ciał znajdują się w przytoczonym już dziele **P. Groth'a**: *Chemische Krystallographie*.

§ 18. WYDAWNICTWA PERJODYCZNE.

Rozprawy z zakresu krystalografji znajdują się w różnych naukowych pismach perjodycznych: fizycznych, chemicznych i mi-

neralogicznych, oraz w wydawnictwach różnych akademij i towarzystw naukowych.

Największa liczba rozpraw krystalograficznych grupuje się w następujących wydawnictwach:

Bulletin de la Société Minéralogique de France (od r. 1878—1885). Od r. 1886 wychodzi Bulletin de la Société Française de Minéralogie. Paryż.

Annales des Mines. Paryż (od r. 1816). Journal des Mines (od r. 1795—1815).

Zeitschrift für Krystallographie und Mineralogie, wydawane przez P. Groth'a (a od r. 1913 przez P. Grotha i E. Kaisera). Tom 1, 1877 do tomu 55, 1920, łącznie. Od t. 56, 1921, wychodzi to pismo pod nieco zmienionym tytułem: Zeitschrift für Krystallographie (Kristallgeometrie, Kristallphysik, Kristallchemie), wydawane przez prof. P. Niggli'ego. Nakładem W. Engelmanna w Lipsku.

W piśmie tem, oprócz rozpraw oryginalnych, umieszczane są także streszczenia prac krystalograficznych lub będących w związku z krystalografją, wydawanych w różnych językach.

Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geologie und Palaeontologie, pismo wydawane obecnie przez R. Braunsa, ukazujące się od r. 1833. Schweizerbart. Stutgart. Zawiera prace oryginalne i wyciągi.

Centralblatt für Mineralogie, wychodzi od r. 1900. Stutgart. Zeszyty tego pisma zawierają oprócz prac oryginalnych referaty z większych dzieł, podręczników i t. d.

Tschermak's Mineralogische und Petrographische Mitteilungen, wydawane przez F. Beckego. Wiedeń. Pismo to wychodziło od r. 1878. Od r. 1872 do r. 1878 pismo to miało tytuł: Mineralogische Mitteilungen, wydawane przez G. Tschermaka. Wiedeń.

Mineralogical Magazin and Journal of the Mineralogical Society, edited by L. J. Spencer. Londyn (od r. 1877).

American Mineralogist (od r. 1916). Od r. 1920:

The American Mineralogist: Journal of the Mineralogical Society of America.

Rivista di Mineralogia e Cristallographia e Petrographia, dir. di Dr. F. Sansoni. Medjolan.

The American Journal of Science and Art. (Silimans) od r. 1818. New Haven, Conn.

Zapiski Ces. Petersburskiego Towarzystwa Mineralogicznego (po rosyjsku). 2-ga serja. Eggers, Co. Petersburg.

Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des Sciences. Gauthier-Villars. Paryż.

Proceedings oraz Transactions of the Royal Society of London. Ser. A. Londyn.

Rozprawy i wydawnictwa Akademij Umiejętności w Wiedniu, Petersburgu, Berlinie, Sztokholmie, Pradze, Budapeszcie, Monachjum, Lipsku i t. d.

Atti della Reale Acad. delle Scienze — Napoli.

Atti dell' Academia reale dei nuovi Lincei — Roma.

Földtani Közlöni — Budapest.

Geolog. Föroningens i Stockholm Förhandlingar, Sztokholm od r. 1872.

Polskie prace z zakresu krystalografii znajdują się przede wszystkim w Biuletynie i w Rozprawach Wydziału mat.-przyrodniczego Polskiej Akademii Umiejętności w Krakowie (dział A), w Sprawozdaniach Towarzystwa Naukowego Warszawskiego, w „Kosmosie“, czasopiśmie Polskiego Towarzystwa Przyrodników im. Kopernika, wydawanem we Lwowie.

§ 19. OPISY PRZYRZĄDÓW KRYSTALOGRAFICZNYCH.

C. Zeiss. Die optischen Instrumente der Firma R. Fuess, deren Beschreibung, Justierung und Anwendung. Lipsk, 1899.

Pulfrich. Das Totalreflectometer. Lipsk, 1890.

Ernst Abbe. Die Lehre von der Bildentstehung im Mikroskop, bearb. und herausg. von Ot. Limmer u. F. Reiche. Brunświk, 1910.

Tenze: Gesammelte Abhandlungen von E. Abbe, I Bd. Abhandlungen über die Theorie des Mikroskops. Jena. 1904.

C. Zeiss. (Jena). Kataloge; Mikroskope und deren Hilfsapparate. Jena, 1906.

(Patrz też: Das Zeisswerk und die Carl Zeiss-Stiftung in Jena. Ihre wissenschaftliche, technische und soziale Entwicklung und Bedeutung für weitere Kreise, dargestellt von Felix Querbach, 6-ste Aufl. 1907).

Dr. M. Rohr (Wissenschaftl. Mitarbeiter an der optischen Werkstätte Carl Zeiss): Die optischen Instrumente. 8^o Lipsk, 1906.

O przyrządach służących do pomiarów krystalograficznych traktuje szereg rozpraw specjalnych E. I. Fiodorowa, Nikitina, H. Smitha, A. Hutchinsona, Duparca, F. Beckego, E. Wülfiga, F. E. Wrighta, Th. Liebischa, F. Kleina, E. Walleranta, W. P. White'a i wielu innych.

Opisy instrumentów znajdują się w większych wydawnictwach fizycznych, dalej w specjalnych katalogach szeregu firm fabrycznych.

ZAKOŃCZENIE.

Oddziaływanie doświadczenia na teorię w krytalografji i wpływ teorii na badania doświadczalne. — Zagadnienia jeszcze nierozwiązane.

1. Rozważając historję rozwoju krytalografji, dostrzegamy wybitny wpływ teorii, uwzględniającej początkowo niewiele spostrzeżeń, na rozwój doświadczalnej strony nauki i odwrotnie, wpływ doświadczeń i spostrzeżeń na teorię, która pod ich wpływem przeobrażała się stopniowo i porzucała pewne dodatkowe, a niepotrzebne założenia.

Spostrzeżenie jednolitości kryształów, otoczonych płaskimi ścianami i ich łupliwości, dało J. R. Haüy'emu podstawę do stworzenia teorii. Drogą dedukcji z teoretycznych założeń przewidział on zasadnicze prawo o wymiernych prostych wskaźnikach, którego zgodność z wynikami doświadczeń później stwierdzono z dostatecznem przybliżeniem. Z rozwojem teorii atomistycznej porzucono następnie pewne wyobrażenia J. R. Haüy'ego, odnoszące się do kształtu cząsteczek i sformułowano hipotezę o ustroju kryształów w formie teorii molekularnej, gdy tymczasem Haüy przyjmował ciągłość substancji. Luźnie w przestrzeni zawieszone cząsteczki, tworzące sieć przestrzenną, zastępują w przerobionej teorii równoległościany Haüy'ego, szczelnie do siebie przylegające. Milczące założenie o równoległości tych cząsteczek zachwiało się później wobec badań nad wielokrotnymi bliźniakami i własnościami optycznymi kryształów. Uwzględniając te spostrzeżenia, sformułowano wtedy „ogólną” teorię ustroju.

W czasie, gdy na teorię atomistyczną zaczęto zapatrywać się krytycznie, zaczęto zastanawiać się, czy teoria ustroju jest nieodzownie związana z wyobrażeniami molekularnymi, czy też i o ile jest od nich niezależna. Rozwiązano wtedy problemat „równomiernego podziału przestrzeni”, a teorię wypowiedziano w formie matematycznej, możliwie niezależnej od wyobrażeń fizycznych. Gdy zaś obecnie, dzięki nowym spostrzeżeniom, teoria atomistyczna zapanowała w nowej postaci, odbiło się to i w krytalografji.

Doświadczenia, kierowane teorią struktury, dały w najnowszych czasach wyniki, które nabrały podstawowego znaczenia, nie tylko dla poglądów na ustrój kryształów i dla krystalografii, lecz i dla rozwoju fizyki wogóle, atomizmu zaś w szczególności. Krystalografia związała się tu z chemią w sposób nierozłączny i stała przed mnóstwem nowych zadań i zagadnień fizyko-chemicznych.

Zauważyć należy, że dotychczas tylko geometryczna część teorii ustroju jest opracowana. Badania nad warunkami równowagi trwałej cząsteczek (czy atomów), grupujących się według prawideł teorii ustroju, są rzeczą przyszłości. W zaczątkach również znajdują się próby ilościowego ujęcia zależności własności fizycznych od kierunku, wywoływanej przynajmniej częściowo przez ustrój sieci przestrzennej kryształu. Taką próbę przypadku własności optycznych podał P. T. Ewald (Inaug. Diss., Göttinga, 1912) dla pewnej oznaczonej sieci rombowej, której węzły zastąpione są przez zdolne do drgań elektrony; oczywiście, autor wprowadza przytem szereg specjalnych założeń.

Na zastosowaniu teorii elektronów do kryształów opiera swe rozważania J. J. Thomson (w rozprawie: *Application of the electron theory of chemistry to solids*, Phil. Mag. ser. 6. 43, 1922, str. 721—757).

Przyjmując pewne założenia o strukturze atomów i mechanizmie ich wiązania się z sobą wnioskuje on teoretycznie o dopuszczalnej dla pewnych pierwiastków postaci krystalograficznej, o ich stałych dielektrycznych i t. d.

2. W krystalografii geometrycznej wysuwa się obecnie zagadnienie, jaka jest zależność postaci kryształu od środowiska, w którym się kryształ wytwarza i od czego zależy większa lub mniejsza częstość występowania ścian należących do różnych postaci prostych. Z zagadnieniem tem wiąże się sprawa zrostów bliźniaczych dwu osobników i zrostów wielokrotnych, prowadzących często do pozornie, a w pewnych warunkach, do istotnie wyższej symetrii.

Wyjaśnienia wymaga dalej występowanie ścian, zwanych wycynalnemi. Dla rozwiązania tych zagadnień potrzebne są celowo prowadzone badania doświadczalne.

Ilościowych oznaczeń własności fizycznych kryształu (poza optyką) jest wogóle jeszcze mało, zwłaszcza gdy idzie o własności wektorjalne, co się tłumaczy piętrzącymi się tu trudnościami. Interesujące są zjawiska odkształcania się sprężystego kryształów piezoelektrycznych w polu elektrycznym. Przewidywane przez termodynamikę zjawisko wytwarzania się zmian temperatury w kryształach pewnej kategorii, umieszczonych w polu elektrycznym, nie zostało jeszcze stwierdzone doświadczeniem. Mało jest również ilościowych badań kalorycznych zjawisk, towarzyszących tworzeniu się, zmianom stanu i wreszcie przeobrażaniom się kryształów; dane z tego zakresu otrzymane mają duże znaczenie teoretyczne a także i praktyczne dla zrozumienia zjawisk w przyrodzie, zwłaszcza geologicznych, oraz zjawisk, mających zastosowanie w technice.

Ważnem i pilnem zagadnieniem jest ustalenie diagramów stanu jak największej liczby związków chemicznych w szerokim zakresie temperatur i ciśnień. Stany krystaliczne muszą być przytem badane nietylko ze względu na zwykle rozważane własności geometryczne i fizyczne, ale także roentgenometrycznie.

Muszą też być dokładnie zbadane związki, zachodzące między własnościami izomorfowych kryształów mieszanych a własnościami kryształów związków czystych, wchodzących w mieszanie; dalej domagają się wyjaśnienia analogie między kryształami pewnych soli podwójnych i kryształami substancji składowych, tworzących rozważane związki. Wskazane przez Pasteura związki między formą kryształu a własnością skręcania płaszczyzn polaryzacji światła w roztworze i budową cząsteczki chemicznej danej substancji wymagają dalszych badań. W szczególności interesujący wydaje się stosunek własności krystalograficzno-fizycznych racematów i ich soli składowych. Szerokie pole do badań przedstawiają związki optycznie czynne nie zawierające węgla oraz związki, skręcające płaszczyznę polaryzacji tylko w kryształach.

DZIAŁ INFORMACYJNY.

Treść: 1. Towarzystwa naukowe. — 2. Kongresy. — 3. Pracownie naukowe. Uniwersytety. — 4. Zbiory kryształów, wystawy. — 5. Przyrządy krystalograficzne. — 6. Wykaz firm, wyrabiających przyrządy krystalograficzne oraz dostarczających zbiorów kryształów.

1. Ogólne towarzystwa naukowe, popierające rozwój krystalografji, są w zasadzie te same, co w przypadku fizyki i chemji. Możemy zatem odesłać czytelnika do artykułu prof. Smoluchowskiego (Poradnik, t. II, str. 354). Oprócz powyższych wymienić tu trzeba towarzystwa mineralogiczne, które zajmują się także krystalografją. W Anglii istniało oddzielne: Crystallogical Society, które w r. 1883 złąło się z Brytyjskiem Towarzystwem Mineralogicznym. Oto ważniejsze z tych obecnie działających towarzystw:

Mineralogical Society of Great Britain and Ireland (od r. 1876) w Londynie.

Société Française de Minéralogie (założone w r. 1878) w Paryżu.

Wiener Mineralogische Gesellschaft (założone w r. 1901) w Wiedniu.

Deutsche Mineralogische Gesellschaft (od roku 1911).

Mineralogical Society of America (zał. w r. 1919).

Towarzystwa te mają za cel popieranie rozwoju mineralogji i krystalografji przez wykłady i zebrania, wydawnictwa, organizację zbiorów, wystaw i t. d.

2. Na kongresach światowych i zjazdach naukowych fizyków oraz zjazdach chemików tematy krystalograficzne bywają omawiane nieraz obszernie; osobnego zjazdu krystalografów dotychczas — o ile piszącemu te słowa wiadomo — nie było. Dużą uwagę poświęcają krystalografji: Meetings of the British Association for the Advancement of Science, które w swych sprawozdaniach poświęciły sporo miejsca krystalografji i ustrojowi kryształów. To samo odnosi się do corocznych

zjazdów: *Versammlungen deutscher Naturforscher und Aerzte*.

3. Wobec znaczenia teoretycznego krystalografii i jej roli w tłumaczeniu najrozmaitszych zjawisk przyrody a nadto jej ważności dla techniki (metalurgji, technologii metali i innych materiałów, chemji technicznej), nasuwa się pytanie: gdzie odbywa się intensywniej praca naukowa w tej dziedzinie i jakie organizacje istnieją dla jej ułatwienia. Odpowiedź na to jest następująca. Prace naukowe, wchodzące w zakres krystalografji, wykonywane są dziś w pracowniach fizycznych, mineralogicznych, chemicznych, związanych najczęściej z wyższemi zakładami naukowemi, i dziś, niewątpliwie, nie można już mówić o wystarczającym urządzeniu pracowni wymienionego typu, jeśli nie posiada ona urządzeń niezbędnych do badania kryształów — albo też nie pozostaje w bezpośredniej łączności z zasobniejszą pracownią krystalograficzną. — Samoistnych pracowni krystalograficznych było jednak stosunkowo niewiele; powstają one w latach najnowszych.

Przed wojną do najlepiej zaopatrzonych pracowni krystalograficznych należała prywatna pracownia wytrawnego i bardzo sumiennego badacza angielskiego A. E. H. Tuttona w Londynie, subwencjonowana przez londyńskie Royal Society. Naukowe to towarzystwo, korzystając ze sposobności, że znalazł się krystalograf zamiłowany w precyzyjnych pomiarach,łożyło systematycznie znaczne sumy na tę pracownię z poleceniem budowania przyrządów jak najdokładniejszych do pomiarów krystalograficzno-geometrycznych i krystalograficzno-fizycznych. Istotnie, przyrządy dla tej pracowni specjalnie zbudowane mają wysokie zalety, są jednakowoż przeważnie zbyt drogie, by mogły być ogólnie naśladowane i rozpowszechnione.

I jakkolwiek w pracowni tej pracuje tylko jeden człowiek (bez uczniów), wywarła ona jeszcze przed najnowszemi odkryciami, dokonanemi dzięki zastosowaniu promieni Roentgena, znaczny wpływ na rozwój krystalografji, zwracając uwagę na stale powtarzające się charakterystyczne zmiany własności geometrycznych i fizycznych kryształów, wywoływane w niektórych ciałach przez analogiczną zmianę składu chemicznego.

Badania krystalograficzne doświadczalne wykonywano też w potężnej instytucji Carnegiego w Waszyngtonie do badań geofizycznych: *Geophysical Laboratory of the Carnegie Institution of Washington*. W instytucji tej, której jednym z głównych zadań jest badanie własności składników skorupy ziemskiej oraz studja doświadczalne nad warunkami powstawania i przeobrażania się minerałów, wykonano długi szereg badań, dotyczących fizycznych własności różnych ciał krystalicznych, badania nad krystalizacją ze stopów dwu i trójskładnikowych i liczne syntezy krystalicznych krzemianów i siarczków. Szczególnie dokładnie badano tutaj warunki trwałości pewnych układów oraz temperatury przechodzenia jednej odmiany krystalicznej w drugą w szerokim zakresie temperatur i ciśnień.

Zwróćmy tu uwagę na systematyczność w opracowywaniu tematów w tej instytucji. Naprzód współpracownicy zaznajamiają się w innych pracowniach z metodami badań, które dla danego przedmiotu mogą być użyteczne. Na podstawie doświadczeń, zebranych zapomocą instrumentów znanych i używanych, budują przyrządy doskonalsze, — tą drogą powstał szereg prac odnoszących się do metod badania i opisów nowych przyrządów. Pracę nad zamierzonym tematem rozdziela się zwykle między kilku pracowników specjalistów, zaś wyniki otrzymane — zwykle wzorowe — instytucja waszyngtońska ogłasza w postaci pracy zbiorowej. Jako przykład przytaczamy tytuł jednej z nich:

Arthur L. Day, E. T. Allen, J. P. Iddings, G. F. Becker, *The isomorphism and thermal properties of feldspars: Part I. Thermal study; by A. L. Day and E. T. Allen. Part II. Optical Study; by J. P. Iddings, with an introduction by G. F. Becker.* Tablic 26, fig. w tekście 25, 8^o, 1911, str. 95.

Praca, którą w Europie zwykle podejmuje jeden uczony, idzie tu dzięki tej organizacji niezwykle szybko — i wyniki są nieraz zadziwiające. Dużą rolę odgrywają tu wielkie środki zakładu.

Największe znaczenie dla rozwoju nauki mają jednak t. zw. „szkoły“, wytwarzające się dookoła wybitniejszych lub obdarzonych szczególniejszym talentem pedagogicznym profesorów wszechnic. Oto w Niemczech przez długi szereg lat była taka szkoła w Monachjum u wiekowego już dziś, ale jeszcze czynnego prof.

P. Groth a, w jego pracowni uniwersyteckiej. Uczono się tam mierzyć kryształy, podawać wynik pomiarów w formie odpowiedniej; zwracano przedewszystkiem uwagę na krystalografię chemiczną. Setki uczniów tej szkoły, którzy przybywali do Monachjum nie tylko z Niemiec, lecz z Anglii, Ameryki, Włoch, Rosji i innych krajów całego świata, wykonało olbrzymią pracę oznaczenia stałych krystalograficznych mnóstwa ciał nieorganicznych i organicznych, przygotowując materiały do dalszych wniosków.

Inną taką szkołę stworzył był w Heidelbergu prof. V. Goldschmidt, który skierował swe siły również w kierunku krystalografii geometrycznej, lecz używał innej metody badania, innych instrumentów (goniometr dwukołowy) i do innych też zmierzał celów. Zarówno on, jak i jego liczni uczniowie, pochodzący przeważnie z krajów nie niemieckich, szukają praw, odnoszących się do tworzenia się płaszczyzn na kryształach danej substancji, i prawidłowości tu dostrzeżone wypowiadają w formie wykazującej podobieństwa z innymi zjawiskami, należącymi pozornie do zupełnie innego zakresu. Wyłącznie przyrodniczo-chemicznej szkole Groth a przeciwstawia się tu punkt widzenia filozoficzny.

W tych dwóch środowiskach: w Monachjum i Heidelbergu skupiała się w ostatnim okresie przedwojennym największa liczba uczniów krystalografów, przybywających z całego świata; oprócz nich, każdy prawie z bardziej znanych uniwersytetów światowych gromadził uczniów i uczonych, którzy wykonywali i wykonywają prace z różnych zakresów krystalografji. W Anglii odgrywał tę rolę Oksford (gdzie pracował H. A. Miers, który w r. 1908 przeniósł się do Londynu, po nim zaś objął katedrę H. L. Bowman), mniejszą — Cambridge (prof. W. I. Lewis, A. Hutchinson).

We Francji istnieje szereg laboratoriów w Paryżu w związku ze wszystkimi prawie wyższymi zakładami naukowymi (krystalografią zajmuje się obecnie prof. Fr. Wallerant, Ch. Mauguin, prof. P. Gaubert i inni). Ogromny zapas, starszych co prawda, przyrządów posiada laboratorium mineralogiczne Szkoły Górniczej, w której działał z końcem XIX wieku słynny krystalograf E. Mallard, twórca podręcznika krystalografji i niezmiernie płodny autor, dający, prócz cennych obserwacyj, np. nad poli-

syntetycznymi zrostami drobniotkich osobników krystalicznych, także płodne hipotezy.

Poza Paryżem wyróżniła się pracami Szkoła Górnicza w St. Étienne (G. Friedel, obecnie w Strasburgu).

Z niemieckich szkół, gdzie w myśl ich organizacji każdy, chcąc uzyskać dyplom doktorski, musi napisać pracę, nabrały rozgłosu, prócz wymienionych już, pracownie: lipska (prof. Fr. Rinne), berlińska (niedawno zmarły prof. Th. Liebisch), heidelberska (prof. E. A. Wülfing), jenańska (prof. G. Linck). W Wiedniu odznaczył się jako dobry nauczyciel i uczony prof. F. Becke, z którego pracowni wyszedł szereg prac krystalograficznych.

Z krystalografów rosyjskich wymienić należy przedewszystkiem prof. E. S. Fiodorowa (zmarłego niedawno członka Akademii Nauk, prof. Akad. Górniczej w Petersburgu), uczonego niepospolitej miary, traktującego krystalografię w sposób oryginalny. Uczony ten ujmował zagadnienia ogólnie i podał cały szereg metod, z których niejedna znalazła szersze zastosowanie. Umysł jego wysoce oryginalny wywarł silny wpływ na szereg młodszych krystalografów. Z uczonych wymienimy tu dalej W. Wernadskiego (dawniej przebywającego w Moskwie) i J. Wulffa (tamże, niegdyś w Warszawie).

W czasie wojny wyżej naszkicowane stosunki uległy zmianie¹⁾. Niezwykłe odkrycia, dokonane w roku 1912 przez Laue'go

¹⁾ Obraz stosunków, tu przedstawiony, jest bardzo niezupełny. O ile autorowi niniejszego artykułu było dane zapoznać się stosunkowo dość dobrze z pracowniami i organizacją nauki w zakresie krystalografii w społeczeństwach zachodnich w czasie poprzedzającym bezpośrednio wybuch wojny, to od r. 1914 wiadomości jego o stosunkach zagranicą są zaledwo dorywcze, oparte na podstawie nadzwyczaj skąpo dopływającej literatury. Wszelka, tak niezbędna zwłaszcza w przełomowych chwilach pewnej nauki, styczność osobista z pracownikami zagranicznymi ustała zupełnie, poprzednio z powodu kordonów żołnierzy, dziś z powodu stosunków walutowych. Dodać należy, że z literatury zagranicznej przesiąka do nas tylko to, co jest zawarte w publikacjach ogólniejszych, lub też zostaje przez autorów nadesłane, a systematyczne uzupełnienie naszych bibliotek dziełami i wydawnictwami krystalograficznymi nie zostało dotychczas wykonane. Przed wojną można było zapoznać się z potrzebną literaturą oraz uzupełniać pomiary podczas krótkich chociażby wycie-

i jego współpracowników oraz dalsze przez W. H. Bragg'a (ojca) i W. L. Bragg'a (syna), odnoszące się do działania kryształów jak siatek dyfrakcyjnych na promienie roentgenowskie, wykazały zasadnicze znaczenie krystalografii dla fizyki i chemji, a badania krystalograficzne stały się potężnym narzędziem poznawania budowy ciał w ogólności.

Epokowe te odkrycia (o których pokrótce mówimy w „Krystalografji fizycznej“, § 13, str. 69 i w „Biblijografji“ I. § 2. b, str. 107) sprawiły, że już w czasie wojny europejskiej nastąpiło nagłe zainteresowanie się krystalografją przez uczonych wszelkich kategorii, i dziś w każdym z krajów kulturalnych wychodzą rocznie dziesiątki prac z zakresu roentgenologii kryształów. Prace te wychodzą zarówno z zakładów fizycznych, jak i mineralogicznych i chemicznych i wciąż coraz to nowe otwierają horyzonty. Kilka z takich ośrodków tego rodzaju badań wymienimy: Manchester, Paryż, Monachjum, Lipsk, Groningen, Sztokholm, szereg pracowni amerykańskich, np. „Gates Chemical Laboratory of the California Institute of Technology“ i t. d. Na polu badań roentgenograficznych ciał o ustroju krystalicznym rozwinął w Niemczech działalność „Kaiser Wilhelm Forschungsinstitut für Elektrochemie und physikalische Chemie“ w Dahlem pod Berlinem. Wspomnieliśmy tu tylko o środowiskach, w których pracujący nad ustrojem kryształów grupują się szczególnie licznie, lecz zaznaczyć trzeba, że metody tych badań stały się już dziś własnością ogólną-swiatową.

Wyżej zamieszczone uwagi mają na celu wskazanie ważniejszych środowisk, w których istnieją pracownie naukowe krystalograficzne o celu bardziej praktycznym; nie byłoby więc rzeczą słuszną przypisywać całkowitą, albo nawet główną zasługę przyczynienia się do rozwoju krystalografji wymienionym pracownikom i uczonym pracującym eksperymentalnie, przy pełnem dla

czek do któregośkolwiek z lepiej zaopatrzonych zakładów zagranicznych i w ten też sposób musieliśmy sobie radzić.

Nie są też znane autorowi niniejszego artykułu sprawozdania z corocznych zebrań towarzystw i kongresów naukowych, na których bywają omawiane zagadnienia organizacji prac naukowych i najnowsze ich wyniki.

nich zresztą uznaniu. Trzeba pamiętać także o pracach teoretycznych, które się wiążą ściśle — jak rzadko w której nauce — z doświadczeniem, chociaż wykonywane w różnych czasach i przez różnych autorów. Bez teoretycznych prac A. Bravais'a, odnoszących się do t. zw. sieci przestrzennej, nie byłoby odkryć Laue'go, dotyczących zjawisk dyfrakcji promieni roentgenowskich w kryształach. I gdy dziś najwięcej i to najważniejszych doświadczeń z zakresu krystalografii zebrano w Niemczech i w Anglii (choć i kraje romańskie usiłują już nie dać się prześcignąć), to jednak stworzenie krystalografii przypisać należy francuskim uczonym J. R. Haüy'emu i A. Bravais'owi.

W Polsce krystalografia posiada dotychczas jedną tylko katedrę i zakład krystalograficzny w Uniwersytecie Lwowskim. W innych uniwersytetach i politechnikach krystalografia wchodzi w zakres katedry mineralogji. Jest to wielka szkoda, nie tylko z powodu zbytńego absorbowania wykładającego sprawami różnych działów nauki, ale przede wszystkim wskutek braku środków na sprawianie przyrządów naukowych i literatury oraz odpowiedniego pomieszczenia dla badań krystalograficznych. Ze sprawą tą wiąże się jeszcze zagadnienie wychowywania przyszłych krystalografów; wobec braku katedr niema bowiem miejsca dla asystentów i młodszych sił pomocniczych, a jest rzeczą stwierdzoną, że z pomiędzy nich właśnie rekrutują się przyszli pracownicy naukowci.

O pracowniach krystalograficznych w Polsce niewiele jeszcze można powiedzieć. Krystalografia była u nas szczególnie zaniedbana i przed wojną. Stosunkowo dobrze zaopatrzone były zakłady mineralogiczne Uniwersytetu i Politechniki w Warszawie; część przyrządów uległa jednak podczas wojny zdemontowaniu. We Lwowie powstał w ostatnich czasach nowy już wyżej wspomniany instytut krystalograficzny — niezależnie od dawnego zakładu mineralogicznego; oba zakłady w Uniwersytecie. Fakt ten powitać należy z uznaniem. Osobny zakład mineralogiczny ma Politechnika Lwowska. Zakład mineralogiczny Uniwersytetu Jagiellońskiego posiada przyrządy w większej części przestarzałe i w tak szczupłej liczbie, że trudno niemi zaspokoić nawet potrzeby ćwiczeń elementarnych. Nowszych przyrządów i urządzeń, pozwalających na wykonywanie różnych precyzyjnych po-

miarów na kryształach oraz przyrządów do stosowania promieni roentgenowskich do badań kryształów niema, niestety, w zakładzie uniwersyteckim, chociaż posiada on szereg przyrządów, sięgających początku ubiegłego stulecia, świadczących, że zakład ten ma swą w tym kierunku tradycję. Bardziej nowoczesnie wyposażony w przyrządy jest tworzący się dopiero zakład mineralogiczny Akademii Górniczej, chociaż ma on przeważnie tylko przyrządy służące do celów pedagogicznych i to w zakresie potrzeb przyszłych inżynierów górniczych. Krótko mówiąc, żadna z obecnych pracowników akademickich w Polsce nie wydaje się piszącemu te słowa wyposażoną dostatecznie, a najlepiej mu znana pracownia Uniwersytetu Jagiellońskiego musi być gruntownie odnowiona i zaopatrzona w przyrządy i środki, jeśli ma pełnić nadal usługi jako placówka naukowa. Niezależnie od tego powinny być tworzone, zdaniem piszącego, w większych uniwersytetach osobne katedry i zakłady krystalograficzne w miarę zjawiania się odpowiednich sił naukowych.

4. Zbiory kryształów znajdują się zwykle w muzeach mineralogicznych, gdzie często tworzą odrębne jednostki. Do najbogatszych należą: Muzeum Brytańskie, dział przyrodniczy (sekcja mineralogiczna) — Natural History Museum, Mineralogical Department w Londynie (South Kensington, Londyn S. W.). Oprócz pierwszorzędnych zbiorów muzeum to zawiera wiele bardzo cennych przyrządów krystalograficznych.

Geological Survey Museum w Londynie.

Collection de Minéralogie du Muséum d'Histoire naturelle w Paryżu.

Muzeum to zawiera oprócz wspaniałych okazów (np. przywieziony w r. 1797 przez Bonapartego z Valais kryształ kwarcu, ważący 400 kg.) także cenne rzeczy pamiątkowe: zbiór modeli, wykonywanych pod kierunkiem Romé de L'Isle'a (1772), zbiory Haüy'ego, kryształy opracowywane przez uczonego Des Cloizeaux i t. p.

W Paryżu zasługuje na specjalną uwagę kolekcja krystalograficzno-mineralogiczna w École des Mines.

Starsze przyrządy, używane do badań krystalograficzno-fizycznych, znajdują się w Collections du Conservatoire

national des Arts et Métiers. Zwłaszcza bogaty tu jest dział przyrządów do optycznych badań kryształów.

Wyjątkowo piękne zbiory kryształów, systematycznie utworzone, znajdują się w mineralogicznym oddziale wiedeńskiego przyrodniczego muzeum państwowego, dawniejszego „Naturhistorisches Hofmuseum“, w United States National Museum, w państwowym muzeum historii naturalnej w Sztokholmie, dalej w zbiorach uniwersytetu w Monachjum, w Berlinie, w zbiorach petersburskich i t. d. Cenne zbiory znajdują się niekiedy nawet w miastach mniejszych, np. w Fryburgu szwajcarskim. Większe lub mniejsze zbiory kryształów znajdują się naogół w każdej szkole wyższej, uniwersytecie, politechnice czy akademii górniczej w związku ze zbiorami mineralogicznymi a często w związku z pracownią chemiczną.

W zbiorach Zakładu Mineralogicznego Uniwersytetu Jagiellońskiego znajduje się osobny mały zbiorek kryształów, założony i opisany szczegółowo, w r. 1860, przez ówczesnego profesora V. Zefarowicha, znanego krytalografa.

Przygodne wystawy kryształów bywają urządzone w związku z wystawami preparatów chemicznych. Specjalnie bogaty dział krytalograficzny miała „Franco-British Exhibition“ w Londynie w r. 1908 (grupa II, sekcja nauki). W osobnym oddziale zebrane tu były przyrządy krytalograficzne — od oryginalnych gonjometrów Haüy'ego i Wollastona aż do modeli najnowszych,—przyrządy do badań optycznych, modele strukturalne, krystały, fotografie i diagramy, odnoszące się do badań krytalograficznych. W zbiorze preparatów chemicznych—osobno—znajdowało się mnóstwo dobrze skrytalizowanych związków, niektóre z nich wielce interesujące, jak np. optycznie czynne organiczne pochodne krzemu.

5. Wyposażenie pracowni krytalograficznej w urządzenia i w przyrządy zależy, z powodu różnorodności tematów, w znacznym stopniu od kierunku badań pracowników. Najsłabsza pracownia posiada gonjometr do pomiaru kątów krystału; prócz t. zw. jednokołowego optycznego gonjometru, który służy zarazem za spektrometr, używamy dwukołowych (teodolitowych) instrumentów (np. w konstrukcji V. Goldschmidta).

Do najczęstszych oznaczeń potrzebne są dalej urządzenia do otrzymywania płytek o określonym naprzd położeniu i preparatów z kryształu, mikroskop z aparatem polaryzacyjnym i całym szeregiem dodatkowych przyrządów, służących do pomiarów optycznych, jak kompensatory, stolik Fiodorowa, przyrząd do oznaczania absorbcji światła i t. d., dalej aparat do mierzenia położenia osi optycznych w kryształach, reflektometry do oznaczania współczynników załamania, mikroskop z urządzeniem do badania zachowania się ciał w wyższych i w niskich temperaturach i t. d. Potrzebna jest wreszcie ciemnia i urządzenie do otrzymywania silnego światła jednorodnego.

Oprócz tego używamy całego szeregu podręcznych aparatów do badania innych własności fizycznych, jak piroelektryczności i t. d. Obecnie w pracowniach krystalograficznych coraz częściej napotykamy precyzyjne instrumenty do mierzenia współczynników rozszerzalności cieplnej i współczynników sprężystości.

Innych specjalnych urządzeń wymagają wspomniane już badania fizyko-chemiczne, jak badania przemian stanu, temperatur topliwości i t. d.

Dodać należy, że jakość i liczba przyrządów, które, pomijając specjalne badania, uważamy za niezbędne w inwentarzu pracowni krystalograficznej, wciąż powiększa się. Tak np. przyrządy do wytwarzania promieni roentgenowskich i badania kryształów przy ich pomocy stały się teraz równie nieodzowne, jak najprostsze przyrządy optyczne, mikroskop polaryzacyjny i t. d.

Do sztucznego otrzymywania kryształów z roztworów, nadających się do badań, potrzeba odpowiedniego pomieszczenia, stałej temperatury (termostatów) i dobranych naczyń. Celem wyrównania działania prądów dyfuzyjnych, przeprowadza się niekiedy krystalizację w naczyniach znajdujących się w jednostajnym ruchu obrotowym (naczynia do krystalizacji J. Wulffa).

Istnieje również specjalny przyrząd do krystalizacji, skonstruowany przez Kruegera i Finkego.

Jeśli idzie o otrzymywanie kryształów ze stopów w wyższych temperaturach, to odpowiednie wiadomości znajdzie czytelnik w rozdziale o syntezie minerałów podane przez prof. Morozewicza (p. tom Poradnika, poświęcony mineralogji).

Wreszcie zwrócić należy uwagę, że pracownia krystalograficzna powinna pozostawać w związku z pracownią chemiczną. Dokładna znajomość chemicznego składu materiału badanego jest rzeczą niezbędną, zwłaszcza gdy idzie o związek między fizycznymi stałymi a składem chemicznym. Dobra waga analityczna jest także niezbędna ze względu na konieczność dokładnego oznaczania ciężaru właściwego kryształów.

6. Wykaz firm, wyrabiających przyrządy krystalograficzne:

Specjalnych środków technicznych do konstrukcji graficznych, używanych w krystalografii, dostarczają:

Sieć stereograficzną według G. Wulffa, starannie wykonane, wydała firma: Atlas, Spółka kartograficzna i wydawnicza we Lwowie (Lwów, Łyczakowska 5).

Sieci do projekcji gnomonicznej według V. Goldschmidta dostarcza P. Stoë, Heidelberg.

Transporter stereograficzny Penfielda można otrzymać za pośrednictwem Zakładu mineralogicznego Yale-University, New Haven, U. S. A. (prof. W. E. Ford).

„Protraktor“ A. Hutchinsona: Harling, 17 Finsbury Pavement, Londyn.

Przyrząd do wykreślenia krzywizn o wielkim promieniu, według Fiodorowa (i G. Wulffa) — R. Fuess, Steglitz pod Berlinem.

Przyrządów, używanych w pracowni krystalograficznej, dostarczają fabryki i warsztaty przyrządów fizycznych, w wielu odmianach zastosowanych do różnych specjalnych potrzeb. W szczególności przyrządów krystalograficznych dostarczają firmy:

Adam Hilger. Ltd. Optical and scientific instrument makers, 75 Camden Road, London, N. W.

J. H. Steward. 406 Strand; 457 West Strand, London, W. C.

Okolicznościowo można dostać przyrządy fizyczno-krystalograficzne z drugiej ręki, po cenie niższej, od firmy:

C. Backer. Scientific instrument manufacturer, 244 High Holborn, London W. C. (Second hand Dept.).

Inne firmy angielskie: Troughton and Simms, James Swift and Son (mikroskopy) etc.

Emil Deyrolle. 46 rue du Bac, Paryż 7arr.

Znane są mikroskopy Nacheta z Paryża, teodolity firmy Société Genevoise w Genewie i t. d.

Spis firm niemieckich, wyrabiających przyrządy krystalograficzne w największej ilości i najbardziej rozpowszechnione, znajduje czytelnik, wraz z adresami, w przytoczonym dziele P. Grotha: *Physikalische Krystallographie*, 1905.

Do najbardziej znanych należą:

Carl Zeiss w Jenie. Wyroby precyzyjne, szkła bardzo dobre.

R. Fuess, Steglitz pod Berlinem, Düntherstr. 8.

E. Leitz, Wetzlar (Niemcy).

C. Leiss, Berlin — Steglitz, Stubenrauchplatz 1.

Voigt i Hochgesang w Getyndze.

R. Winkel. Optische und mechanische Werkstätte, Getynga.

Aparaty do zdjęć roentgenowskich można nabyć w fabryce firmy: Reiniger, Gebbert & Schall — Erlangen. Cena — fr. szwajc. 6150. Do tego lampa roentgenowska Coolidge'a do celów diagnostycznych — fr. szw. 305, urządzenia dodatkowe — fr. szw. 640, statyw — fr. szw. 810.

Szereg przyrządów krystalograficznych można nabyć w firmie: Optische Werke C. Reichert, Wiedeń VIII/2, Ben-nogasse 24—26.

Modeli krystalograficznych oraz kryształów dostarczają firmy:

Dr. F. Krantz, w Bonn nad Renem.

Steeg i Reuter, Homburg v. d. Höhe.

Zbiory kryształów można nabyć dalej u firm następujących:

Foote Mineral Co, 107 North 19th Street, Philadelphia, Pa, U. S. A.

Geo L. English & Co., Chestnut Street, Philadelphia.

Alexandre Stuer, Comptoir Géologique et Minéralogique 40, rue de Mathuriés, Paris.

Firma ta dostarcza kryształów i wydała specjalny katalog krystalograficzny. Oddzielne kryształy mogą być poszukiwane nie tylko do zbiorów, ale i do doświadczeń fizycznych, na co zwracamy uwagę.

Comptoir Minéralogique et Géologique Suisse Genève, Cours des Bastions 3 (près de l'Université). (Zbiory oddzielnych kryształów).

C. Goldbach, Kork bei Kehl, Chem. Laboratorium. (Kryształy otrzymywane w laboratorium).

E. Merck, Chemische Fabrik, Darmstadt.

Firma ta dostarczała (przed wojną) zbiorów kryształów sztucznych, t. j. wyhodowanych w laboratorium, ilustrujących różne rodzaje symetrii (klasy symetrii), strukturę bliźniaczą, dalej zjawiska izomorfizmu, prawidłowego zrostu i inne. Cena zbiorku z 105 kryształów o przeciętnej wielkości 25—30 mm. wynosiła 160 marek.

Mineralien-Niederlage der Sächs. Bergakademie, Freiberg in Sachsen.

Ward's Natural Science Establishment, Dept. of Mineralogy (A. C. Hawkins, Ph. D., Manager) 84 College Avenue, Rochester, New York.

Firma ta ogłasza w ostatnich tygodniach w pismach naukowych amerykańskich, że posiada na składzie systematycznie ułożone zbiorki kryształów i modeli krystalograficznych. Ze względu na podane w tych ogłoszeniach ceny, wymienimy kilka z takich zbiorków, odsyłając po szczegóły do katalogów tej firmy.

Zbiorek 150 kryształów, ilustrujący część krystalograficzną popularnego w Ameryce dzieła: Dana's Text Book of Mineralogy (2-gie wyd.), kosztuje 200 dolarów (bez skrzynki i pudełek o 6 dol. mniej). Zbiorek 50 kryształów kosztuje 50 dol., a zbiorek 25 maleńkich kryształków — 8 dol. Cena zbiorku 36 oddzielnych kryształów bliźniaczych — 35 dol.; zbiorku ilustrującego różne rodzaje wykształcenia kryształów, złożonego z 40 sztuk — 50 dol. Przeciętnie cena jednego kryształu wynosi jeden dolar. Trzeba zwrócić uwagę, że firmy niemieckie w czasach przedwojennych były tańsze od amerykańskich.

II.

ROLA PRZEKSZTAŁCEŃ PUNKTOWYCH PRZESTRZENI W KRYSTALOGRAFJI

opracował

STANISŁAW ZAREMBA.

II.

ROLA PRZEKSZTAŁCEŃ PUNKTOWYCH PRZESTRZENI W KRYSTALOGRAFII.

Treść: § 1. Cel artykułu.—§ 2. Przekształcenia punktowe, występujące w kryształografii; elementy symetrii.—§ 3. Przekształcenia izometryczne wielościanów w siebie samych.—§ 4. Grupy wielościenne.—§ 5. Grupy wielościenne w kryształografii.—§ 6. Ugrupowania klas krytalograficznych w systemy.—§ 7. Geometryczne własności substancyj krystalicznych, grupy Schoenfliesa i Jordana.

§ 1. CEL ARTYKUŁU.

W artykule niniejszym podajemy ogólny szkic budowy tej części krytalografii geometrycznej, w której występują przekształcenia punktowe, a to przede wszystkim w tym celu, żeby ułatwić czytelnikowi porządkowanie i powiązanie ze sobą uzyskiwanych stopniowo wiadomości w zakresie rzeczowej gałęzi nauki. Prócz tego mieliśmy jeszcze na względzie dostarczenie czytelnikowi środka do upewnienia się, czy posiada to wyrobienie umysłu i te wiadomości w zakresie matematyki, które są konieczne do opanowania krytalografii geometrycznej; czytelnik, który posiada takie wykształcenie i zaznajomi się uprzednio z artykułem prof. Kreutza, łatwo niniejszy artykuł zrozumie, jeśli oczywiście nie poprzestanie na prostem przeczytaniu go, lecz przestudjuje go z należytą uwagą. Zaznaczamy przytem, że całkiem inną jest rzeczą opanowanie wspomnianej gałęzi nauki, inną zaś proste zapamiętanie jej wyników, bez pełnej świadomości odnośnych związków matematyczno-logicznych.

Ten drugi rodzaj zaznajomienia się z krystalografią geometryczną może wystarczyć do rozpoznawania minerałów a nawet do ich badania pod pewnemi względami, więc np. co do własności chemicznych,—ale do wykładania krystalografii ten tylko może być rzeczywiście uzdolniony, kto ją opanował i pod względem matematyczno-logicznym.

Należy stwierdzić z ubolewaniem, że ze stanowiska matematyczno-logicznego żaden z podręczników krystalografii nie jest (o ile mi wiadomo) zadowalający, a większość ich szpecą ciężkie błędy geometryczne. Chęć przyczynienia się do poprawy tych stosunków naukowych była powodem napisania niniejszego artykułu.

§ 2. PRZEKSZTAŁCENIA PUNKTOWE, WYSTĘPUJĄCE W KRYSTALOGRAFII; ELEMENTY SYMETRII.

Artykuł prof. Kreutza dobitnie uwydatnia fakt, że przekształcenia punktowe mają pierwszorzędne znaczenie w krystalografii. Żeby należycie uświadomić sobie rolę przekształceń punktowych w krystalografii, należy przedewszystkiem stwierdzić, że jedyne przekształcenia, występujące w krystalografii, są te, którym, w braku utartej nazwy, nadaliśmy miano przekształceń izometrycznych a których definicja opiewa, jak następuje:

Orzeczenie, że jakieś przekształcenie P jest przekształceniem izometrycznem, wyraża, że odległość $\overline{AB}$ każdej pary dowolnie wybranych punktów A i B przestrzeni równa się zawsze odległości $\overline{A'B'}$ punktów A' i B' , w które przekształcenie P przekształca odpowiednio punkty A i B .

Jeżeli odniesiemy przestrzeń do jakiegoś układu współrzędnych prostokątnych Kartezjusza x, y, z i weźmiemy pod uwagę dowolnie dane przekształcenie izometryczne P , to związki pomiędzy współrzędnymi x, y, z dowolnego punktu A przestrzeni a współrzędnymi x', y', z' punktu A' , w jaki przekształcenie P przekształca punkt A , można zawsze przedstawić przez wzory następujące:

$$(1) \quad \begin{cases} x' = \alpha x + \beta y + \gamma z + a \\ y' = \alpha' x + \beta' y + \gamma' z + b \\ z' = \alpha'' x + \beta'' y + \gamma'' z + c, \end{cases}$$

gdzie $a, b, c, \alpha, \beta, \gamma, \alpha', \beta', \gamma', \alpha'', \beta'', \gamma''$ oznaczają liczby stałe, określające przekształcenie P ; mamy przytem w każdym razie

$$(2) \quad \begin{cases} \alpha^2 + \beta^2 + \gamma^2 = 1 \\ \alpha'^2 + \beta'^2 + \gamma'^2 = 1 \\ \alpha''^2 + \beta''^2 + \gamma''^2 = 1 \\ \alpha' \alpha'' + \beta' \beta'' + \gamma' \gamma'' = 0 \\ \alpha'' \alpha + \beta'' \beta + \gamma'' \gamma = 0 \\ \alpha \alpha' + \beta \beta' + \gamma \gamma' = 0 \end{cases}$$

Zaznaczamy, że odwrotnie, jeżeli liczby a, b, c obierzemy sobie całkiem dowolnie, a liczby $\alpha, \beta, \gamma, \alpha', \beta', \gamma', \alpha'', \beta'', \gamma''$ z tem tylko zastrzeżeniem, żeby liczby te spełniały równania (2), to wzory (1) przedstawiać będą pewne przekształcenie izometryczne P , a mianowicie przekształcenie, przy którym spólrzędne x', y', z' punktu A' , w jaki to przekształcenie przekształca dowolnie dany punkt A o spólrzędnych x, y, z , mają wartości (1).

Można udowodnić, że wskutek istnienia równości (2) zachodzi jedno z dwojga: albo mamy

$$(3) \quad \begin{vmatrix} \alpha, & \beta, & \gamma \\ \alpha', & \beta', & \gamma' \\ \alpha'', & \beta'', & \gamma'' \end{vmatrix} = +1$$

albo

$$(4) \quad \begin{vmatrix} \alpha, & \beta, & \gamma \\ \alpha', & \beta', & \gamma' \\ \alpha'', & \beta'', & \gamma'' \end{vmatrix} = -1.$$

Z powyższego twierdzenia wynika najpierw, że każde przekształcenie izometryczne jest jednoznacznie odwracalne (p. „Kryształografia“ str. 43), a dalej, że istnieją dwa rodzaje przekształceń izometrycznych, z których jeden odpowiada istnieniu równości (3), a drugi istnieniu równości (4).

Rzeczono dwa rodzaje przekształceń głęboko różnią się pomiędzy sobą: jeżeli bowiem zachodzi równość (3), to przekształ-

cenie (1) przekształca dowolnie daną figurę (F) w drugą, (F'), która tylko swoim położeniem w przestrzeni może się różnić od figury (F); mówimy tedy, że rozważane przekształcenie jest prostem przemieszczeniem; jeżeli zaś zachodzi równość (4), a jakaś figura (F) nie jest figurą płaską, to przekształcenie (1) przekształca figurę (F) w taką figurę (F'), że żadna przemiana położenia figury (F) w przestrzeni nie może tego dokonać, ażeby każdy punkt figury (F) padł na ten punkt figury (F'), w który punkt ten został przez rozważane przekształcenie przekształcony; jednym słowem, stosunek wzajemny figur (F) i (F') będzie taki, jak ten, który zachodzi pomiędzy rękawiczką prawej ręki a rękawiczką lewej.

Rozróżniamy więc dwa rodzaje przekształceń izometrycznych a mianowicie proste przemieszczenia i przekształcenie izometryczne nie będące przemieszczeniem.

Orzeczenie, że jakiś punkt O jest punktem niezmiennym względem jakiegoś przekształcenia P , wyraża, że przekształcenie P przekształca ten punkt w siebie samego. Istnieje klasa przekształceń izometrycznych, którą można określić przez to, że każdemu przekształceniu tej klasy odpowiada przynajmniej jeden punkt niezmienny względem tego przekształcenia; jeżeli np. we wzorach (1) przyjmiemy

$$a = b = c = 0,$$

to początek współrzędnych będzie z pewnością punktem niezmiennym względem przekształcenia, określonego w takim razie przez wzory (1). Przekształcenia izometryczne powyższej klasy zowią się elementami symetrii. Ze stanowiska krystalografii najważniejszymi przekształceniami izometrycznymi są właśnie elementy symetrii. Każdy element symetrii zlewa się z jednym przynajmniej z przekształceń, których wykaz następuje:

1-o. Przekształcenie identyczne. Względem przekształcenia identycznego, każdy punkt przestrzeni jest punktem niezmiennym, a układ równań (1) przybiera wówczas postać

$$x' = x$$

$$y' = y$$

$$z' = z.$$

2-o. Obrót. Jest to przekształcenie, któremu można przyporządkować pewną oś (Ω), zwaną osią obrotu, i pewien kąt φ , zwany amplitudą obrotu, w taki sposób, ażeby, przyjąwszy oś (Ω) za oś z -ów w układzie współrzędnych prostokątnych o oznaczonej z góry orientacji¹⁾, można było wyrazić współrzędne x', y', z' wyniku przekształcenia jakiegoś punktu A przez rozważane przekształcenie w zależności od współrzędnych x, y, z tego punktu przez wzory następujące:

$$\begin{aligned}x' &= x \cos \varphi - y \sin \varphi \\y' &= x \sin \varphi + y \cos \varphi \\z' &= z.\end{aligned}$$

Naturę obrotu można sobie uświadomić poglądowo, jak następuje: żeby wyznaczyć wynik przekształcenia dowolnie danego punktu A przez obrót o osi (Δ) i o amplitudzie φ , prowadzimy przez punkt A i oś (Δ) płaszczyznę ω , materializujemy sobie płaszczyznę ω tak, żeby stanowiła ciało sztywne i obracamy płaszczyznę wokół osi (Δ) w stosownym kierunku o kąt φ ; końcowe położenie A' punktu A stanowić będzie wynik przekształcenia położenia początkowego tego punktu przez rozważany obrót. Wszystkie punkty osi obrotu są zawsze punktami niezmiennymi względem odnośnego przekształcenia.

3-o. Symetria względem punktu. Jest to przekształcenie, któremu odpowiada pewien punkt O , zwany środkiem symetrii, zapomocą którego określamy rozważane przekształcenie przez to, że wynikiem przekształcenia dowolnie danego punktu A jest taki punkt A' , że środek odcinka AA' zlewa się z punktem O . Środek symetrii jest jedynym punktem niezmiennym symetrii względem punktu.

¹⁾ Jeżeli ustawimy obserwatora w początku współrzędnych prostokątnych x, y, z , pionowo do płaszczyzny (x, y), tak, aby głowa znajdowała się po stronie z -ów dodatnich i aby patrzył w stronę x -ów dodatnich, to znajdzie jedno z dwojga: albo dodatnia część osi y -ów będzie po jego prawej stronie albo po lewej. W pierwszym przypadku układ współrzędnych zowie się prawoskrętnym, a w drugim — lewoskrętnym. Oznaczyć orientację układu współrzędnych, znaczy zastrzedz, ażeby był albo prawoskrętnym, albo lewoskrętnym.

4-o. Symetria względem płaszczyzny. Jest to przekształcenie, któremu odpowiada pewna płaszczyzna ω , zwana płaszczyzną symetrii, zapomocą której rozważane przekształcenie określone być może przez to, że jeśli A jest to dowolnie dany punkt, a A_0 —podnóże prostopadłej (p) przeprowadzonej przez punkt A do płaszczyzny ω , to wynikiem przekształcenia punktu A jest taki punkt A' , położony na prostej (p), że środek odcinka AA' zlewa się z punktem A_0 . Jeżeli F' oznacza wynik przekształcenia jakiejś figury F przez symetrię względem jakiejś płaszczyzny ω , to F' jest w takim związku geometrycznym z figurą F , jak jej odbicie w lustrze, zlewajacem się z płaszczyzną ω . Z tego powodu płaszczyzna symetrii zowie się niekiedy płaszczyzną odbicia, a odnośna symetria zowie się odbiciem. Miejscem geometrycznem punktów niezmiennych symetrii względem płaszczyzny jest odnośna płaszczyzna symetrii.

5-o. Obrót przemienny. Jest to iloczyn jakiegoś obrotu Ω przez symetrię względem jakiejś płaszczyzny ω , prostopadłej do osi (Ω) obrotu Ω . Oś i amplituda obrotu Ω oraz płaszczyzna ω zowią się odpowiednio osią, amplitudą i płaszczyzną obrotu przemiennego. Względem obrotu przemiennego istnieje w każdym razie jeden punkt niezmienny a jest nim punkt przecięcia się osi obrotu przemiennego z płaszczyzną tegoż obrotu. Każdy punkt M płaszczyzny obrotu przemiennego przekształca się w jakiś punkt M' tejże płaszczyzny, możemy więc przewidzieć, że obrót przemienny przekształca swoją płaszczyznę w siebie samą.

Dwie pierwsze z powyższych pięciu klas przekształceń są przemieszczeniami, ale żadna z trzech pozostałych nie jest przemieszczeniem. Z tego powodu żadne przekształcenie nie może jednocześnie należeć do którejś z dwóch pierwszych klas i do którejś z trzech ostatnich. Żeby obrót nie zlewał się z przekształceniem identycznym, potrzeba i wystarcza, żeby amplituda obrotu nie była wielokrotnością 2π .

Przekształcenia 3-ej i 4-ej klasy są zawsze różne, ale przekształcenie 5-ej klasy może wyjątkowo zlewać się z przekształceniem 3-ej klasy albo 4-ej. Żeby jedna z tych możliwości nastąpiła, potrzeba i wystarcza, żeby amplituda obrotu przemiennego

była wielokrotnością liczby π . Jeśli ta wielokrotność jest nieparzysta, to obrót przemienny jest identyczny z symetrią względem punktu przecięcia się osi i płaszczyzny rozważanego obrotu przemiennego, jeżeli zaś rzeczona wielokrotność jest parzysta, to obrót przemienny zlewa się z symetrią względem płaszczyzny rozważanego obrotu przemiennego. Jeśli więc nazwiemy właściwym elementem symetrii element symetrii, nie będący przekształceniem identycznym, a przez wyrażenia obrót właściwy i obrót przemienny właściwy oznaczać będziemy odpowiednio obrót o amplitudzie nierównej wielokrotności 2π i obrót przemienny o amplitudzie nie będącej wielokrotnością π , to będziemy mogli powiedzieć, że istnieją cztery rodzaje właściwych elementów symetrii, a mianowicie: obroty właściwe, symetrie względem punktu, symetrie względem płaszczyzny i obroty przemiennie właściwe.

Orzeczenie, że jakaś figura posiada lub dopuszcza element symetrii, wyraża, że ów element symetrii przekształca ją w samą siebie.

§ 3. PRZEKSZTAŁCENIA IZOMETRYCZNE WIELOŚCIANÓW W SIEBIE SAMYCH.

Ze stanowiska kryształografii podstawowe znaczenie ma zbadanie istoty takich układów przekształceń izometrycznych, z których każdy jest sam pełnym układem takich przekształceń izometrycznych, że każde z nich przekształca jakiś wielościan w ten sam wielościan. O tym właśnie przedmiocie zamierzamy poinformować czytelnika w ogólnych zarysach.

Za punkt wyjścia przyjmiemy twierdzenie łatwe do uzasadnienia, a opiewające, jak następuje.

(A.) Jeżeli oznaczymy przez W jakiś wielościan, a przez $A_1, A_2 \dots A_n$ układ wierzchołków tego wielościanu, to warunek konieczny i wystarczający, ażeby jakieś przekształcenie izometryczne przekształciło wielościan W w ten sam wielościan, na tem polega, aby to przekształcenie przekształciło układ punktów $A_1, A_2 \dots A_n$ w ten sam układ, czyli było takim, żeby przekształciło każdy punkt układu $A_1 \dots A_n$ w jakiś punkt także do tego układu należący.

Żeby posunąć się dalej, potrzeba ustanowić pewne pojęcie, do którego definicji właśnie przystępujemy.

Oznaczmy przez

$$(1) \quad A_1, A_2 \dots A_n$$

dowolnie obrany układ n punktów oraz ogólnie przez x_i, y_i, z_i współrzędne punktu A_i w odniesieniu do jakiegoś oznaczonego układu współrzędnych Kartezjusza (K). Można udowodnić, że punkt A_0 , którego współrzędne x_0, y_0, z_0 określone są przez wzory:

$$x_0 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad y_0 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i, \quad z_0 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n z_i$$

ma całkiem oznaczone położenie względem układu punktów (1), a więc niezależne od wyboru układu współrzędnych (K). Punkt ten zowie się środkiem średnich odległości punktów (1). Ten sam punkt bywa niekiedy zwany środkiem ciężkości punktów, stanowiących układ (1), jeżeli bowiem przypisać punktom (1) równe pomiędzy sobą ciężary, to punkt ciężkości rozważanego układu punktów zleje się ze środkiem średnich odległości tych punktów. Zaznaczamy teraz, że można uzasadnić twierdzenie następujące:

(B.) Jeżeli oznaczmy przez (F) figurę, składającą się ze skończonej liczby punktów, nie leżących na jednej prostej, a przez O środek średnich odległości punktów, stanowiących figurę (F), to podówczas zachodzą okoliczności następujące:

1-o. Jeżeli jakieś przekształcenie izometryczne przekształca figurę (F) w siebie samą, to to przekształcenie jest elementem symetrii, względem którego punkt O jest zawsze punktem niezmiennym¹⁾; mówimy tedy, że figura (F) posiada rzeczony element symetrii.

2-o. Figura (F) może posiadać tylko skończoną liczbę różnych pomiędzy sobą elementów symetrii.

¹⁾ Ta pierwsza część twierdzenia, a także i trzecia, zachodziłyby i w takim razie, gdybyśmy nie zakładali, że figura F nie jest prostolinjowa.

3-o. Zbiór wszystkich elementów symetrii figury (F) stanowi grupę (p. „Krytalografja“ str. 49), a punkt O jest punktem niezmiennym względem każdego przekształcenia tej grupy.

Jeżeli symetria względem jakiegoś punktu O albo względem jakiejś płaszczyzny ω przekształca jakąś figurę (F) w siebie samą, to mówimy, że figura ta jest symetryczna względem rzeczowego punktu, albo względem rzeczowej płaszczyzny; w pierwszym przypadku punkt O zowie się środkiem symetrii figury (F), a o tej figurze mówimy, że jest symetryczna względem punktu O ; w drugim przypadku płaszczyzna ω zowie się płaszczyzną symetrii figury (F), a o figurze mówimy, że jest symetryczna względem płaszczyzny ω .

Z łatwością dostrzegamy, że pośród figur, z których każda jest układem skończonej liczby punktów, istnieją zarówno takie, które posiadają środki symetrii, jako też i takie, które posiadają płaszczyzny symetrii. Ale jaki obrót zwykły i jaki obrót przemienny zdolne są do przekształcania skończonego układu punktów, nie leżących na jednej prostej, w ten sam układ?

Zajmijmy się najpierw obrotem zwykłym i załóżmy, że jakiś obrót Ω około jakiejś osi $z'z$, obrót, którego amplitudę oznaczymy przez $\frac{2\pi}{p}$, przekształca w siebie samą jakąś figurę (F), będącą układem skończonej liczby punktów, nie leżących na jednej prostej. Ze względu na 3-cią część twierdzenia (B) każde przekształcenie grupy Γ , wytworzonej przez obrót Ω , przekształci figurę (F) w siebie samą. Zatem, z uwagi na część 2-gą tw. (B), grupa Γ składać się musi ze skończonej liczby różnych pomiędzy sobą przekształceń.

Z tego wynika najpierw, że liczba p musi być jakąś liczbą wymierną, a następnie okazuje się, że, jeśli jakaś figura (F), będąca układem skończonej liczby punktów, nie leżących na jednej prostej, przekształcona być może w siebie samą przez jakiś obrót właściwy wokoło pewnej osi $z'z$, to osi tej odpowiada pewna liczba całkowita n , większa od jedności, tę własność mająca, że zbiór wszystkich tych obrotów wokoło osi $z'z$, z których każdy

przekształca figurę (F) w siebie samą, zlewa się z grupą, wytworzoną przez obrót o amplitudzie

$$\frac{2\pi}{n}$$

wokoło osi $z'z$.

Wogóle, ażeby wyrazić, iż zbiór wszystkich tych obrotów wokoło pewnej osi $z'z$, z których każdy przekształca jakąś figurę (ψ) w siebie samą, stanowi grupę, wytworzoną przez obrót wokoło osi $z'z$ o amplitudzie

$$\frac{2\pi}{n},$$

gdzie n jest liczbą całkowitą większą od jedności, mówimy, że oś $z'z$ jest dla figury (ψ) osią symetrii n -krotną czyli rzędu n .

Jeżeli więc zwrócimy się jeszcze raz do 2 ej części twierdzenia (B), łatwo stwierdzimy istnienie twierdzenia następującego.

(C.) Jeżeli istnieje jakiś obrót właściwy, przekształcający w siebie samą jakąś figurę (F), będącą układem skończonej liczby punktów, nie leżących na jednej prostej, to figura (F) posiada skończoną liczbę osi symetrii o oznaczonych rzędach, a do zupełnego oznaczenia wszystkich obrotów, z których każdy przekształca figurę (F) w samą siebie, wystarczy oznaczyć rzeczzone osie i rząd każdej z nich.

Niech w dalszym ciągu (F) oznacza figurę, będącą zbiorem skończonej liczby punktów, nie leżących na jednej prostej, i założmy, że pewien obrót przemienny właściwy o pewnej osi $z'z$ i płaszczyźnie ω przekształca figurę (F) w samą siebie.

W takim razie istnieć będzie taka liczba całkowita p , większa od liczby 2, że grupa G , wytworzona przez obrót przemienny o osi $z'z$, o płaszczyźnie ω i o amplitudzie

$$\frac{2\pi}{p}$$

obejmować będzie wszystkie takie obroty zwykłe i obroty przemiennie o osi $z'z$, z których każdy przekształca figurę (F) w siebie samą; przy powyższych warunkach może zajść jeden z trzech przypadków następujących:

1-o. Liczba p jest nieparzysta. W takim razie grupa G zlewa się z grupą, wytworzoną przez symetrię względem płaszczyzny ω i zwykły obrót o amplitudzie $\frac{2\pi}{p}$ i o osi $z'z$; w tym więc przypadku figura (F) jest symetryczna względem płaszczyzny ω , a oś $z'z$ jest osią symetrii p -krotną dla figury (F).

2 o. Liczba p jest parzysta, ale iloraz k tej liczby przez liczbę 2 jest liczbą nieparzystą. W takim razie grupa G zlewa się z grupą wytworzoną przez symetrię względem punktu przecięcia się O płaszczyzny ω z osią $z'z$ i przez obrót zwykły o osi $z'z$ i o amplitudzie $\frac{2\pi}{k}$; w tym więc przypadku figura (F) jest symetryczna względem punktu O , a oś $z'z$ jest osią symetrii k -krotną tej figury.

3-o. Liczba p jest podzielna przez liczbę 4. W tym przypadku grupa G nie zawiera ani symetrii względem jakiegoś punktu, ani symetrii względem jakiejś płaszczyzny.

Wogóle, jeżeli w odniesieniu do jakiejś osi $z'z$ i do jakiejś płaszczyzny ω , prostopadłej do osi $z'z$, jakaś figura (ψ) ma tę własność, że wszystkie obroty zwykłe wokół osi $z'z$ i wszystkie obroty przemienne o osi $z'z$ i o płaszczyźnie ω , z których każdy przekształca figurę (ψ) w siebie samą, tworzą razem grupę, którą wytwarza obrót przemienno o osi $z'z$, płaszczyźnie ω i amplitudzie

$$\frac{2\pi}{p},$$

gdzie p oznacza liczbę całkowitą podzielną przez 4, to ten stan wyrażamy, mówiąc, że oś $z'z$ i płaszczyzna ω są odpowiednio istotną osią przemienną i istotną płaszczyzną przemienną p -krotną czyli rzędu p . Jeżeli więc zwrócimy się do twierdzeń (A), (B) i (C), to łatwo dostrzeżemy, że można wypowiedzieć twierdzenie następujące:

(D.) Każde przekształcenie izometryczne, przekształcające jakiś wielościan w ten sam wielościan, jest jakimś elementem symetrii rozważanego wielościanu, a zbiór wszystkich elementów symetrii dowolnie obranego wielościanu ma własności następujące:

1-o. Rzeczony zbiór, uzupełniony przez dołączenie do niego przekształcenia identycznego, stanowi grupę (p). „Kryształ-

grafja" str. 49), składającą się ze skończonej liczby przekształceń; grupa ta (zawierająca niekiedy tylko przekształcenie identyczne) zowie się grupą symetrii odnośnego wielościanu.

2-o. Środek średnich odległości wierzchołków dowolnie obranego wielościanu jest punktem niezmiennym każdego przekształcenia grupy symetrii rozważanego wielościanu; punkt ten zowiemy punktem niezmiennym rozważanej grupy.

3-o. Jeżeli zgodnie ze zwykłą terminologią uważać będziemy orzeczenia, iż jakaś grupa elementów symetrii posiada jakiś środek symetrii O , jakąś płaszczyznę symetrii P , jakąś oś symetrii n -krotną $z'z$, albo jakąś istotną oś symetrii przemianową $\zeta'\zeta$ rzędu p , za wyrażające odpowiednio, że figura, której grupą symetrii byłaby grupa Γ , posiadałaby środek symetrii O , płaszczyznę symetrii P , oś symetrii n -krotną $z'z$, albo istotną oś symetrii przemiennej $\zeta'\zeta$ rzędu p , to w takim razie dla wyczerpującego scharakteryzowania grupy symetrii G jakiegoś wielościanu wystarczy podać odpowiedzi na zapytania następujące:

α) Czy grupa G posiada środek symetrii?¹⁾

β) Czy grupa G posiada jakąś płaszczyznę symetrii? A w razie istnienia dwóch albo kilku płaszczyzn symetrii określić dokładnie względne ich położenie²⁾.

γ) Stwierdzić, czy grupa G posiada osie symetrii, a w razie ich istnienia, oznaczyć rząd każdej osi oraz względne położenia tych osi pomiędzy sobą i w odniesieniu do ewentualnych płaszczyzn symetrii.

δ) Stwierdzić, czy grupa G posiada istotne osie symetrii przemienne, a w razie ich istnienia (co może nastąpić tylko w przypadku, w którym grupa G nie posiada środka symetrii), oznaczyć rząd każdej z tych osi i dokładnie określić względne położenia wzajemne rzeczonych osi przemianowych oraz względne

¹⁾ Zaznaczamy, że grupa G może posiadać, jak to wynika z części 2-ej niniejszego twierdzenia, najwyżej jeden tylko środek symetrii.

²⁾ Zbędną jest rzeczą mówić o względnym położeniu przypuszczalnego środka symetrii O grupy G w stosunku do płaszczyzn symetrii, bo wiemy z góry, że środek symetrii, jeżeli istnieje, jest wspólnym punktem wszystkich płaszczyzn symetrii.

ich położenie w odniesieniu do ewentualnych zwykłych osi symetrii i do ewentualnych płaszczyzn symetrii.

§ 4. GRUPY WIEŁOŚCIENNE.

Wyrażenie: grupa wielościennea oznaczać będzie taką grupę elementów symetrii G , której można w ten sposób przyporządkować jakiś wielościan, ażeby grupa G była [str. 187, (D.)] grupą symetrii rzeczonego wielościanu. Na podstawie tw. (D.), str. 187, scharakteryzować możemy istotę jakiegokolwiek grupy wielościennej G przez podanie odpowiedzi na zapytania, wyszczególnione pod α), β), γ) i δ) w trzeciej części wspomnianego twierdzenia; odpowiedziom tym nadamy nazwę cech odnośnej grupy wielościennej. Dwie grupy wielościenne G i G' o tych samych cechach niekoniecznie są identyczne, ale, jeżeli jedna z nich jest grupą symetrii jakiegoś wielościanu (W), to przez proste przemieszczenie tego wielościanu w stosowne nowe położenie można zawsze tego dopiąć, aby druga grupa stała się grupą symetrii rozważanego wielościanu. Z tego powodu uważamy orzeczenie, iż dwie grupy wielościenne należą do tej samej klasy, za wyrażające, że, w znaczeniu określonym wyżej, rzeczone grupy posiadają te same cechy.

Zagadnienie, polegające na wyznaczeniu wszystkich klas grup wielościennych, rozwiązujemy przez kolejne rozwiązanie dwóch następujących zagadnień:

I. Wyznaczyć wszystkie klasy rotacyjnych grup wielościennych, t. j. takich grup, że każde przekształcenie każdej z nich jest albo przekształceniem identycznym albo prostym obrotem.

II. Wyznaczyć wszystkie nierotacyjne grupy wielościanu.

Pierwsze z powyższych zagadnień zostało rozwiązane w sposób ścisły i ogólny przez Jordana. Rozwiązanie Jordana, którego szczegółowy wykład znajduje się w pracy Kreutza i Zaremby¹⁾, jest jedynym rozwiązaniem omawianego zagadnienia,

¹⁾ S. Kreutz i S. Zaremba. Sur les fondements de la Cristallographie géométrique p. 367 i dalsze. Bulletin de l'Académie des Sciences de Cracovie 1919, numéro supplémentaire.

wolnem od błędów i nieściśłości; późniejsze rozwiązania rzeczowego zagadnienia, rzekomo prostsze, są albo całkiem błędne, albo bardzo nieściśle. Co się zaś tyczy zagadnienia II, to śmiemy myśleć, że najprostsze ściśle jego rozwiązanie znajduje się w zacytowanej rozprawie Kreutza i Zaremby. Względna prostota wspomnianego rozwiązania zagadnienia II pochodzi stąd, że autorowie przyjęli nową zasadę podziału grup wielościennych nierotacyjnych; według tej zasady kategoria, do której ma być zaliczona jakaś grupa wielościenna nierotacyjna G , jest określona przez klasę tej grupy wielościennej Γ , którą wytwarzają przekształcenia grupy G i symetria s względem punktu niezmiennego tej grupy (jeżeli symetria s należy do przekształceń grupy G , to grupa Γ zlewa się oczywiście z grupą G).

§ 5. GRUPY WIEŁOŚCIENNE W KRYSTALOGRAFII.

Przedewszystkiem należy podać pewną definicję. Oznaczmy przez (W) jakiś wielościan wypukły, przez O środek ciężkości (albo, wyrażając się lepiej, środek średnich odległości) wierzchołków wielościanu (W) a przez (K) kulę o środku O i o promieniu dowolnie obranym. Jeżeli z punktu O spuścimy promienie prostopadłe na poszczególne ściany wielościanu (W) , to każdy z nich przebieje powierzchnię kuli (K) dokładnie w jednym punkcie. Zbiór tych wszystkich punktów zowie się obrazem sferycznym wielościanu (W) .

Co do pojęcia obrazu sferycznego (Ω) jakiegoś wielościanu wypukłego (W) należy uczynić następujące uwagi geometrycznej natury:

(E.) Zespół wszystkich przekształceń izometrycznych w sobie samego obrazu sferycznego (Ω) wielościanu (W) stanowi pewną grupę wielościenną Γ , którą zwiemy grupą symetrii figury (Ω) .

(F.) Przy powyższych oznaczeniach, każde przekształcenie grupy symetrii G wielościanu (W) jest przekształceniem grupy Γ , ale grupa Γ może zawierać przekształcenia nie należące do grupy G .

Do powyższych uwag geometrycznych dołączyć jeszcze należy fakt doświadczalny następujący:

(G.) Każdy kryształ jest wielościaniem wypukłym i posiada zatem oznaczony obraz sferyczny.

Po tych przygotowaniach, możemy sformułować jak następuje podstawowy fakt doświadczalny, z którego wypływa znaczenie grup wielościennych w nauce o substancjach krystalicznych i o kryształach.

(H.) Każdej substancji krystalicznej s odpowiada pewna klasa K grup wielościennych, spełniająca warunki następujące:

1-o. Grupa symetrii obrazu sferycznego dowolnie danego kryształu normalnego substancji s jest albo jakąś podgrupą pewnej grupy klasy K , albo jakąś grupą tej właśnie klasy.

2-o. Pośród normalnych kryształów substancji s zawsze się znajdzie taki kryształ, że grupa symetrii obrazu sferycznego tego kryształu będzie grupą wielościenną klasy K .

(Ha.) Przy powyższych oznaczeniach nadamy klasie K grup wielościennych nazwę klasy symetrii geometrycznej substancji s . Fakt, wypowiedziany pod (H), sam przez się bardzo już zajmujący, ma jeszcze wielkie naukowe znaczenie i ze względu na tezę następującą, również wysnutą z doświadczeń:

(I.) Jeżeli oznaczymy przez s dowolnie obraną substancję krystaliczną, to substancji tej odpowiadać będzie zupełnie oznaczona klasa K_f grup wielościennych, o własnościach następujących:

1-o. Jeżeli oznaczymy przez O dowolnie przyjęty punkt we wnętrzu jakiejś bryły b substancji s , to zbiór wszystkich tych elementów symetrii o wspólnym punkcie niezmiennym O , z których każdy przekształca każdą oś $u'u$, przechodzącą przez punkt O , w drugą oś $u'_1 u_1$, w której kierunku wszystkie własności bryły b są takie same jak w kierunku osi $u'u$, stanowić będzie grupę wielościenną klasy K_f .

2-o. Klasa K_f , o ile nie zlewa się z klasą K geometrycznej symetrii substancji s , określoną pod (Ha), zlewa się z pewną klasą podgrup grup klasy K .

(L.) Klasa, oznaczona w powyższym wypowiedzeniu przez K_f , zowie się krystalograficzną klasą substancji s , albo klasą grupy symetrii fizycznej tej klasy, albo krótko — klasą rozważanej substancji.

Zaznaczamy teraz, że, z jednej strony, w myśl powszechnie przyjętych zasad, kryształ każdej substancji krystalicznej sprawdzą prawo pasowe (p. „Krystalografia“ str. 25), a z drugiej — mamy już ściśle geometryczne twierdzenie, które głosi, że jeżeli jakaś grupa wielościenna G jest grupą symetrii jakiegoś normalnego wielościanu pasowego, to grupa ta ma własności następujące:

1-o. Rząd każdej osi symetrii grupy G (o ile ta grupa wogóle takie osie posiada) równa się zawsze jednej z liczb: 2, 3, 4 albo 6.

2-o. Rząd każdej istotnej osi symetrii przemiennej grupy G (o ile ta grupa wogóle taką oś posiada) zawsze równa się liczbie 4.

Otóż geometria poucza, że istnieją dokładnie 32 klasy grup wielościennych, spełniających powyższe dwa warunki, czyli, jak mówić będziemy, grup Bravais'a. Z powyższego wynika, że istnieją 32 klasy substancji krystalicznych w znaczeniu definicji (L.). Krystalografowie przyjmują, że liczba klas substancji krystalicznych wynosi dokładnie 32, należy jednak zaznaczyć, że okoliczność ta może nie jest jeszcze całkiem pewnie przez doświadczenie stwierdzona.

Czytelnik znajdzie szczegółowy wykaz wszystkich klas grup Bravais'a w artykule prof. Kreutza, str. 52.

§ 6. UGRUPOWANIE KLAS KRYSTALOGRAFICZNYCH W SYSTEMY.

Ponieważ, jak zaznaczyliśmy wyżej, powszechnie przyjmuje się, że każdej z trzydziestu dwóch klas grup Bravais'a odpowiadają substancje krystaliczne, których klasą krystalograficzną w znaczeniu definicji (L.), str. 191, jest właśnie rozważana klasa grup Bravais'a, przeto w praktyce, od której i my nie odstąpimy, wyrażenie klasa krystalograficzna i klasa grup Bravais'a oznaczają jedno i to samo.

Ugrupowanie klas krystalograficznych w układy zwane systemami, ugrupowanie, mające oddawna wielkie znaczenie ze stanowiska badań laboratoryjnych, nie posiadało do ostatnich lat zadowalającego teoretycznego uzasadnienia i, ze stanowiska teoretycznej krystalografii, miało charakter dowolnie przyjętego po-

działu ogółu klas krystalograficznych na kategorie. Ten właśnie stan rzeczy tłumaczy, dlaczego niektórzy autorowie rozróżniają 6 systemów klas krystalograficznych, a inni 7. Dopiero S. Kreutz i S. Zaremba¹⁾ sformułowali dokładnie zasadę, doprowadzającą do tego właśnie podziału ogółu klas krystalograficznych na systemy, który wyrobił się empirycznie przez praktykę laboratoryjną, i wyjaśnili, dlaczego takie właśnie ugrupowanie klas krystalograficznych w systemy najlepiej odpowiada potrzebom badań laboratoryjnych.

W celu uproszczenia mowy przyjmijmy definicję następującą:

(M.) Klasą normalnego wielościanu pasowego wypukłego nazywać będziemy klasę grupy symetrii obrazu sferycznego (str. 190) rzeczonego wielościanu.

Zwróciwszy się do uwag poczynionych na str. 190 i 191, natychmiast upewnimy się o istnieniu twierdzenia następującego:

(N.) Klasa jakiegoś normalnego wielościanu wypukłego pasowego [definicja (M)] jest znowu jakąś klasą grup Bravais'a, a do każdej klasy grup Bravais'a można zawsze dobrać takie normalne wielościany wypukłe pasowe, żeby klasą każdego z nich była właśnie rozważana klasa grup Bravais'a.

Musimy teraz sformułować, jak następuje, tę zasadę klasyfikacji klas grup Bravais'a, która, jak sądzimy, niemal sama się nastrocza:

(P.) Orzeczenie, iż dwie klasy, K i K' , grup Bravais'a, należą do tego samego systemu, wyraża, iż każde pole pasowe, do którego należy jakiś normalny wypukły wielościan jednej z klas K albo K' [definicja (M)], zawiera i wielościan normalny wypukły, należący do drugiej z tych klas.

Okazuje się jednak, że powyższa zasada doprowadziłaby do rozróżnienia 8-miu systemów i dałaby zatem wynik nie odpowiadający wymaganiom praktyki laboratoryjnej. Żeby uzyskać wynik zadowalający, należy uwzględnić pewien fakt, ustalony przez doświadczenie, którego jeszcze nie przytaczaliśmy. Fakt ten często bywa wypowiedzany (dość nieściśle i niejasno) w postaci tezy

¹⁾ Str. 254 i dalsze pracy Kreutza i Zaremby, zacytowanej wyżej na str. 189.

następującej: „jeżeli jakaś prosta jest osią symetrii jakiegoś kryształu, to ta prosta należy do możliwych krawędzi kryształów odnośnej substancji“. Dokładne sformułowanie powyższego faktu jest następujące:

(Q.) Jeżeli jakaś prosta jest osią symetrii obrazu sferycznego jakiegoś normalnego kryształu, to ta oś jest jedną z krawędzi pola pasowego, w którym rozważany kryształ znajduje się.

Z drugiej strony geometryczna teoria pól pasowych poucza, że można wyodrębnić taką klasę pól pasowych, iż wszelka prosta, będąca osią symetrii obrazu sferycznego normalnego wielościanu wypukłego, położonego w rozważanym polu pasowym, będzie zawsze jedną krawędzią tego pola pasowego; pola pasowe rzeczonoego rodzaju zowiemy polami pasowymi regularnymi, a pola pasowe pozostałe — polami pasowymi osobliwymi. Ze względu na fakt, podany pod (Q), przyjmujemy hipotezę następującą: jeżeli jakieś pole pasowe jest polem krystalograficznym jakiejś substancji krystalicznej, to to pole pasowe jest regularnym polem pasowym. Hipoteza powyższa następcza zastąpienie zasady klasyfikacji, podanej pod (P), przez następującą:

(Pa.) Orzeczenie, że dwie klasy, K i K' , grup Bravais'a należą do tego samego systemu, wyraża, iż każde pole pasowe regularne, do którego należy jakiś wielościan normalny, wypukły, należący do jednej z klas K albo K' [definicja (M)], zawiera i wielościan normalny, wypukły, należący do drugiej z tych klas.¹⁾

Powyższa zasada doprowadza do rozróżnienia tych właśnie 6-ciu systemów, którymi eksperymentatorowie oddawna stale się posługują.

Bardzo łatwo zrozumieć można doniosłość praktyczną powyższych systemów klas Bravais'a: rozporządzając bowiem jednym tylko normalnym kryształem jakiejś substancji s , można już, przez proste pomiary gonjometryczne, określić w zupełności pole

¹⁾ Nie jest rzeczą oczywistą a priori, że zasada powyższa może być podstawą do klasyfikacji klas grup Bravais'a, ale okazuje się a posteriori, że okoliczność ta faktycznie zachodzi.

pasowe, w którym leży badany kryształ, to zaś wystarczy do zupełnego oznaczenia systemu klas grup Bravais'a, do którego należy klasa rzeczonoego kryształu, czyli, krótko, do oznaczenia systemu, w którym krystalizuje się substancja s ; natomiast oznaczenie samej klasy, w której krystalizuje się substancja s , jest rzeczą bardzo kłopotliwą: dokonanie tego wymaga badania większej liczby kryształów i to nie tylko zapomocą pomiarów gonjometrycznych, lecz jeszcze zapomocą różnych innych środków. Jeżeli przytem uwzględnimy fakt, że już rozpoznanie systemu w którym się jakaś substancja krystalizuje, stanowi cenną wskazówkę do oznaczenia natury badanej substancji, to łatwo zdamy sobie sprawę z doniosłości praktycznej podziału ogółu klas grup Bravais'a na systemy według zasady (Pa).

§ 7. GEOMETRYCZNE WŁASNOŚCI SUBSTANCYJ KRYSTALICZNYCH I GRUPY SCHOENFLIESA I JORDANA.

Przedewszystkiem winniśmy wyjaśnić, w jakim znaczeniu może być mowa o własnościach geometrycznych substancji krystalicznych. W tym celu zważmy co następuje: jeżeli weźmiemy pod uwagę zbiór (Z) wszystkich osi, przechodzących przez jakiś punkt O dowolnie danej bryły b jakiejś oznaczonej substancji krystalicznej s , to, ze względu na nieizotropowość substancji krystalicznych, własności fizyczne substancji s wzdłuż poszczególnych osi zbioru (Z) (własności, ujawniające się w reagowaniu bryły na napięcia mechaniczne o oznaczonym kierunku, na promienie świetlne o oznaczonym kierunku i t. d.) nie będą identyczne; jeżeli więc jakieś przekształcenie punktowe przestrzeni przekształca każdą oś $x'x$ zbioru (Z) w taką drugą oś x'_1x_1 , że własności bryły b wzdłuż osi x'_1x_1 , nie różnią się od jej własności wzdłuż osi $x'x$, to ta okoliczność, jako niezależna od kształtu bryły b , a zależąca jedynie od natury substancji s , stanowić będzie oczywiście pewną własność geometryczną tej substancji.

Fakt, podany pod (I.) na str. 191, oczywiście jest przykładem na własności geometryczne, mogące przysługiwać substancjom krystalicznym. Obecnie jednak idzie nam o to, żeby wytworzyć sobie pojęcie o własnościach geometrycznych substan-

cyj krystalicznych w postaci możliwie ogólnej a zarazem precyzyjnej. W tym celu weźmy pod uwagę z jednej strony jakąś oznaczoną substancję krystaliczną s , z drugiej zaś jakieś przekształcenie punktowe P przestrzeni, oznaczmy następnie przez b dowolnie wybraną bryłę substancji s , byle jednak taką, żeby bryła ta miała część wspólną b'_0 z tą bryłą b' , w którą przekształcenie P przekształca bryłę b . Bryła b'_0 , stanowiąca wspólną część brył b i b' będzie wynikiem przekształcenia przez przekształcenie P pewnej części b_0 bryły b .

Oznaczmy teraz przez A i B jakieś dwa punkty części b_0 bryły b , a przez A' i B' wyniki przekształcenia odpowiednio punktu A i punktu B przez przekształcenie P . Przy tych warunkach punkty A' i B' należąc będą do bryły b'_0 , a więc i do samej bryły b , gdyż bryła b'_0 jest z założenia częścią bryły b . Załóżmy, że przekształcenie P spełnia warunek następujący:

(R.) Jeżeli cały odcinek prostoliniowy AB leży w obrębie bryły b , a odcinek $A'B'$ leży także w obrębie tej bryły, to ze stanowiska własności fizycznych bryły b stosunki wzajemne punktów wektora AB i stosunki wzajemne punktów wektora $A'B'$ niczem się nie różnią.

Istnienie jakiegoś przekształcenia punktowego P , spełniającego powyższy warunek, oczywiście stanowi oznaczoną własność geometryczną substancji s . Ponieważ zaś, gdyby bryła b wypełniła całą przestrzeń, istnienie rzeczonyj własności substancji s możnaby stosownie i krótko wypowiedzieć przez orzeczenie, iż przekształcenie P przekształca substancję s w siebie samą, przeto, aby krótko wyrazić, że przekształcenie P spełnia warunek (R), mówimy, że to przekształcenie przekształca substancję s w siebie samą. Ostatecznie więc geometryczne własności oznaczonej substancji ujawniają się w istnieniu przekształceń punktowych, przekształcających tę substancję w siebie samą.

Zważywszy, iż zespół wszystkiego, co wiemy o substancjach krystalicznych, zniewala nas do przyjęcia, że warunek, podany pod (R), spełniony być może tylko wówczas, gdy przekształcenie P jest izometrycznym przekształceniem punktowym przestrzeni, dochodzimy ostatecznie do przyjęcia założenia następującego:

(S.) Geometryczne własności substancji krystalicznej objawiają się przez to, że ją pewne izometryczne przekształcenia punktowe przestrzeni przekształcają w siebie samą.

W tem właśnie założeniu dostrzegamy powód, dla którego jedyne przekształcenia, występujące w krystalografii, są to wyłącznie izometryczne przekształcenia punktowe przestrzeni.

Sama już geometria poucza, że jeżeli jakieś przekształcenia punktowe przestrzeni, jednoznacznie odwracalne, przekształcają jakąś substancję krystaliczną w siebie samą, to wszystkie przekształcenia grupy, wytworzonej przez te przekształcenia, przekształcają rozważaną substancję w siebie samą. Zatem, na podstawie założenia (S), mamy twierdzenie następujące:

(T.) Każdej substancji krystalicznej (wyobrażanej jako wypełniającą całą przestrzeń) odpowiada pewna grupa G przekształceń punktowych izometrycznych przestrzeni, grupa będąca zespołem wszystkich przekształceń punktowych izometrycznych, z których każde przekształca rozważaną substancję w siebie samą; grupa ta zowie się krótko grupą odnośnej substancji.

Jest oczywiste, że grupa jakiejś substancji, w znaczeniu powyższej definicji, ulegnie zmianie, jeżeli całą tę substancję przenieścimy w jakieś nowe położenie; okoliczność ta jest całkiem analogiczna z tą, która zachodzi w odniesieniu do grupy symetrii jakiegoś wielościanu wobec przemieszczenia tego wielościanu w przestrzeni.

Z tego powodu następcza się sama przez się umowa następująca: jeżeli każdej z dwóch grup G i G' można przyporządkować takie wypełnienie całej przestrzeni substancją krystaliczną oznaczonego rodzaju, żeby rozważana grupa była grupą tej substancji w myśl definicji włączonej do tw. (T), to ten stan rzeczy wypowiadać będziemy przez orzeczenie, że grupy G i G' należą do tej samej klasy.

Z natury rzeczy nasuwa się obecnie zagadnienie następujące:

(U.) Zbadać zespół klas grup poszczególnych substancji krystalicznych.

Hipoteza atomowa już oddawna następczyła przypuszczenie, że substancja krystaliczna wydaje się nam jednorodna tylko dzięki ograniczonej czułości środków, którymi posługujemy się

przy doświadczeniach, że w rzeczywistości substancja krystaliczna nie jest jednorodna, każdej zaś substancji krystalicznej odpowiada pewna grupa translacji, wytworzona przez trzy translacje, nie leżące na jednej płaszczyźnie,—grupa tę własność mająca, że zespół wszystkich przekształceń, należących do niej, zlewa się ze zbiorom wszystkich translacji, z których każda przekształca rozważaną substancję w siebie samą. Najnowsze doświadczenia potwierdziły to przypuszczenie tak dalece, że obecnie rzeczzone przypuszczenie stało się hipotezą powszechnie przyjętą.

Po uwzględnieniu twierdzenia (T) wyprowadzamy z poprzedniej hipotezy twierdzenie następujące:

(Ta.) Jeżeli, jak to rzeczywiście uczynimy, nadamy nazwę grup Schoenfliesa i Jordana grupom izometrycznych przekształceń punktowych przestrzeni, scharakteryzowanych przez to, że każda z nich obejmuje translacje, których zespół stanowi grupę, wytworzoną przez trzy translacje, nie leżące na jednej płaszczyźnie, to grupa jakiegokolwiek substancji krystalicznej będzie grupą Schoenfliesa i Jordana.

Pojęcie klasy grup przekształceń punktowych, wprowadzone już poprzednio przy grupach Bravais'a, zaś obecnie przy grupach substancji krystalicznych, łatwo można ustawić całkiem ogólnie: odniósłszy przestrzeń do jakiegoś układu (U) spółrzędnych Kartezjusza, oznaczmy przez G jakąkolwiek grupę przekształceń punktowych przestrzeni; przekształcenia grupy G można będzie przedstawić przez pewien zespół (R) takich układów równań, żeby każdy układ wyrażał spółrzędne wyniku przekształcenia punktu przestrzeni przez jakieś przekształcenie grupy G w postaci funkcji spółrzędnych tego punktu; przy tych warunkach orzeczenie, iż jakaś grupa G' jest tej samej klasy, co grupa G , wyraża, że wystarczy przemieścić stosownie układ spółrzędnych (U), aby zespół układów równań (R) przedstawił zespół przekształceń grupy G' . Łatwo teraz dostrzegamy, że z zagadnienia (Z) i twierdzenia (Ta) wyłania się zagadnienie następujące:

(Za.) Zbadać zespół wszystkich klas grup Schoenfliesa i Jordana.

Okazuje się, że istnieje 230 typów klas grup Schoenfliesa i Jordana. Wobec tego jest możliwe że, ze względu na własności geometryczne, możnaby rozróżniać do 230 różnych rodzajów substancyj krystalicznych.

O ileby jednak chodziło o klasyfikację substancyj krystalicznych tylko ze względu na ich grupy symetrii, to i koncepcja substancji krystalicznej rozważana w paragrafie niniejszym doprowadziłaby, na podstawie teorii grup Schoenfliesa i Jordana, do rozróżnienia tych właśnie 32 klas substancyj krystalicznych, do których doprowadzają rozważania, omówione w paragrafach poprzednich; należy jednak zaznaczyć, że symetria jakiejś substancji krystalicznej inną przybiera postać, kiedy przyjmujemy, że jest ściśle jednorodna, a inną, kiedy przyjmujemy założenie, doprowadzające do twierdzenia (Ta), a więc założenie, wyłączające zupełną jednorodność substancyj krystalicznych: jeśli bowiem wyobrazimy sobie, że jakaś substancja krystaliczna s wypełnia całą przestrzeń i oznaczmy przez Kf klasę jej grupy symetrii, to w pierwszym przypadku ¹⁾ każdemu punktowi O przestrzeni odpowiada pewna grupa G klasy K o punkcie niezmiennym O , będąca grupą symetrii substancji s , w drugim zaś przypadku zespół wszystkich tych punktów przestrzeni, z których każdy byłby punktem niezmiennym grupy symetrii rozważanej substancji, zlewa się z węzłami pewnej sieci przestrzennej s (p. „Krystalografia“ str. 33), sieci, której grupa translacji τ zlewałaby się z grupą, jaką stanowi zbiór wszystkich translacji, należących do grupy Schoenfliesa i Jordana, będącej grupą substancji s ; jednakowoż konieczne należy dodać, że ze względu na to, iż na translacje twórcze grupy, oznaczonej przed chwilą przez τ , zniewoleni jesteśmy przyjąć wartości nadzwyczaj małe, gdyż w przeciwnym razie wpadlibyśmy w sprzeczność z doświadczeniem, powyższa różnica obu koncepcyj substancji krystalicznej jest tak nikła, że tylko przy wyjątkowych warunkach staje się dostrzegalna.

¹⁾ Do którego się odnosi w szczególności wypowiedzenie, podane pod (I.), str. 191.

Hipotezy omawiane w paragrafie niniejszym a doprowadzające do twierdzenia, podanego pod (Ta), oczywiście nie przesądzają jeszcze w niczem geometrycznego kształtu kryształów, dlatego też uzupełniamy je przez założenie, iż przy oznaczeniach, któremi posługiwaliśmy się trochę wyżej, zbiór płaszczyzn sieciowych sieci S jest polem krystalograficznem substancji s .

Na zakończenie winniśmy stwierdzić, że, przy obecnym stanie nauki, teoria grup Schoenfliesa i Jordana ma znaczenie tylko jako punkt wyjścia rozważań hipotetycznych o budowie substancyj krystalicznych, gdyż dotychczas nie udało się stwierdzić w doświadczeniu innej różnicy, albo innego podobieństwa we własnościach geometrycznych dwóch substancyj krystalicznych, jak tylko, że grupy symetrii tych substancyj należą albo do różnych klas, albo do tej samej klasy.

UZUPEŁNIENIA.

Do str. 16, wiersz 22 od góry:

Samoukowi, chcącemu zapoznać się z wyższą matematyką w zakresie potrzebnym dla przyrodnika, możemy obecnie polecić polską książkę:

Dr. Antoni Hoborski: Wyższa matematyka (z licznymi przykładami i rycinami) w dwu częściach. Część I sza. Kraków, 1923, str. 490. Część II-ga ukaże się w czasie najbliższym.

Do str. 16, wiersz 4 od dołu:

Z zakresu chemji fizycznej ukazał się niedawno podręcznik polski:

Dr. Wojciech Świątosławski: Chemja fizyczna. Tom I-szy. (I. Wstępne wiadomości z termodynamiki. II. Pierwiastki chemiczne. III. Układy jednoskładnikowe i jednofazowe). Warszawa, 1923, str. 278.

Do str. 54, wiersz 1 od dołu:

Przedstawiciela grupy A_2^4 wykrył Z. Weyberg w substancji: $SiO_2 \cdot Al_2O_3 \cdot 2CaO$ (Rozprawy Wydz. mat.-przyr. Akad. Umiej., Serja A, t. 46, 1906, 251).

Do str. 79, wiersz 11 od góry:

Prof. J. Wulff podaje (w Zeitschr. für Krystallographie 57, 1922, 190) następujące zasady, które mogą być

pomocne przy wyszukiwaniu odpowiedniej struktury dla pewnego, oznaczonego ciała krystalicznego:

1) Atomy (jony) łączą się w kryształach w grupy, tworzące w ustroju pewne wyodrębniające się kompleksy.

2) Każdemu centrum promieniowania w doświadczeniach roentgenograficznych można podporządkować pewne strukturalne jednostki objętościowe, którym można (w przybliżeniu) przypisać postać kulistą.

3) Ustrój ciał krystalicznych ma tę własność, że wspomniane wyżej kule układają się jak najgęściej.

4) Płaszczyzny łupliwości kryształów są to takie płaszczyzny oddzielające wspomniane strukturalne obszary jednostkowe, między którymi powinowactwo chemiczne jest najmniejsze.

Do str. 83, wiersz 1 od dołu:

Orzeczenie, że jakiś układ materjalny, znajdujący się w stanie równowagi chemiczno-fizycznej, stanowi jakąś jedną fazę, wyraża, że rzeczony układ jest albo jednorodny (p. „Wstęp ogólny“, § 1, 2, str. 2) albo składa się ze skończonej liczby takich części jednorodnych, że wystarczy stosownie zmienić względne położenie wzajemne tych części, aby uzyskać układ całkiem jednorodny. Z powyższej definicji wynika, że jeśli jakiś układ materjalny, znajdujący się w równowadze chemiczno-fizycznej, nie stanowi jednej fazy, może być jednak podzielony na skończoną liczbę części jednorodnych, to rozważany układ składa się z dwu lub większej liczby faz.

Oczywistą jest rzeczą, że każdy układ materjalny, składający się ze skończonej liczby faz, można podzielić na skończoną liczbę części jednorodnych.

Do str. 85, wiersz 1 od dołu:

Zwrócimy tu uwagę na wywody P. Niggli'ego w Zeitschr. f. Kryst. 56, 1921, 12 i 167, omawiające związki między ustrojem kryształów a strukturą atomów, wchodzących w skład kryształu, a w szczególności stosunki objętościowe atomów, zastępujących się w związkach chemicznych.

Do str. 92, wiersz 9 od dołu:

W nielicznych przypadkach, w których pewne wydawnictwa periodyczne wychodziły w kilku „serjach“, numer serji wskazany jest przez liczbę w nawiasie, przytoczoną przed rokiem wydania tomu.

Do str. 121, wiersz 8 od góry:

Szczegóły, odnoszące się do biografii dawniejszych uczonych krystalografów, a także liczne dane bibliograficzne znajdzie czytelnik w następujących wydawnictwach:

Nouvelle Biographie Générale depuis les temps les plus reculés jusqu'à nos jours avec renseignements bibliographiques et l'indication des sources à consulter publiée par MM. Firmin Didot Frères sous la direction de M. le Dr. Hoeffer. 8°. Didot Frères éd. Paris 1862—66.

Dictionary of National Biography edited by Leslie Stephen. Vol. 1—22. 8°. Smith, Elder et Comp., Londyn 1885.

Tomy 22—26 wydane przez Leslie Stephen i Sidney Lee.

Tomy 27—63 (r. 1900) wydane przez Sidney Lee.

Do tego: *Supplement*, wydany przez Sidney Lee, t. 1—3, oraz: *Index and epitome*, Londyn 1906.

The Encyclopaedia Britannica, a dictionary of arts, sciences etc., tomów 35 i indeks. Adam and Charles Black, Londyn.

Dr. Constant von Wurzbach. *Biographisches Lexicon des Kaiserthums Oesterreich* enthaltend die Lebensskizzen der denkwürdigen Personen etc., tomów 60. Zamirski, Wiedeń 1856—1891.

Do str. 134, wiersz 12 od góry:

Bardzo interesujące wywody o symetrii w świecie zwierzęcym oraz roślinnym, o symetrii w kryształach oraz o symetrii zjawisk zawiera wraz z licznymi przykładami popularna książeczka **G. Wulffa**: *Simetrja i jej projawlenia w prirodie* 1908, napisana na tle wykładów, które autor miał w moskiewskim Uniwersytecie ludowym.

Książeczka ta została obecnie przełożona na język polski przez Cz. Jakśę-Bykowskiego, a manuskrypt czeka na wydanie.

Do str. 145, wiersz 3 od dołu:

Dodatkowo wskażemy jeszcze podręczniki, podające metody oznaczania ciał o połysku metalicznym (kruszców) za pomocą badania mikroskopowego w świetle „odbitem“, zwyczajnem lub spolaryzowanym. Korzysta się tu z własności fizycznych kryształów, jak zachowanie się powierzchni kryształów trawionych różnemi odczynnikami, co pozwala często na rozpoznawanie ich struktury wewnętrznej, kryształów bliźniaczych i t. d.; dalej oznaczają się własności optyczne kryształów o połysku metalicznym przynajmniej ogólnikowo (izotropizm lub anizotropizm optyczny, stopień absorbcji).

Dr. Hans Schneiderhöhn (Giessen). *Anleitung zur mikroskopischen Bestimmung und Untersuchung von Erzen und Aufbereitungsprodukten besonders im auffallenden Licht.* (Z 154 ryc.). Nakładem Towarzystwa „Gesellschaft d. deutschen Metallhütten-und Bergleute“, Berlin, 1922, str. 292.

W. Myron Davy and C. Mason Farnham. *Microscopic examination of the ore minerals.* Mc Graw-Hill Book Comp., New-York, 1920, str. 154.

Do str. 146, wiersz 15 od góry:

H. Rosenbusch. *Mikroskopische Physiographie der Mineralien und Gesteine.* Wydanie 5-te, przerobione przez E. A. Wülfinga. Tom I-szy, część 1-sza. E. Schweizerbart (E. Nägele), Stuttgart 1921.

Do str. 146, wiersz 16 od góry:

Patrz też str. 133—135 (Teorja ustroju).

Do str. 147, wiersz 4 od dołu:

Niedawno wyszło nowe, pośmiertne wydanie doskonałej książki **H. E. Boekego**:

H. E. Boeke. *Grundlagen der physikalisch-chemischen Petrographie*, wyd. 2-gie, opracowane przez **W. Eitel'a**, wielka 8^o, Bornträger, Berlin, 1923, str. 589.

Książka ta podaje wyniki najnowszych badań z zakresu zagadnień, wspólnych chemji fizycznej i krystalografji (jak: poli-

morfizm, warunki układów o dwu i większej liczbie składników, własności kaloryczne kryształów), pomija natomiast celowo omawianie związków między własnościami geometrycznymi a chemicznymi kryształów. Jest to dzieło bardzo polecenia godne.

Do str. 153, wiersz 15 od góry:

Wyszło niedawno nowe wydanie:

Landolt-Boernstein. Physikalisch-chemische Tabellen. Wyd. 5-te, przerobione i rozszerzone, wydane przez Dr. W. Rotha i Dr. K. Scheela. 2 tomy. J. Springer, Berlin 1923. Tom 1-szy, str. 784, tom 2-gi, str. 785—1695. Cena we wrześniu 1923 r.: 13,795,482 Mkp.

Do str. 155, wiersz 17 od dołu:

Wydawnictwo to już ukończone, obejmuje 9 tomów. Cena za całość — 650 franków szwajcarskich.

Do str. 157, wiersz 16 od dołu:

Nouvelles Archives du Muséum d'Histoire Naturelle publiées par MM. les professeurs-administrateurs de cet établissement. (3-ème serie) Paris.

Annales de Chimie et de Physique. Ser. 1—8, od r. 1789. Paryż.

Annalen des K. K. naturh. Hofmuseums. Wiedeń.

Do str. 158, wiersz 4 od dołu:

Prace wymienionych autorów drukowane są w różnych czasopismach specjalnych; znajdzie je czytelnik w większości przyadków przytoczone w dziełach wymienionych na str. 145.

Do str. 174, wiersz 8 od góry:

Z wiedeńskich firm, dostarczających minerałów skrzystalizowanych, odznaczała się do niedawna ruchliwością firma:

Dr. L. Eger, Naturhistorisches Institut, Wiedeń VIII. Buchfeldgasse 4.

SKOROWIDZ NAZWISKOWY

opracował

WOJCIECH PRZYBYŁOWICZ.

Skorowidz niniejszy obejmuje: a) nazwiska autorów dzieł krystalograficznych lub będących w związku z krystalografią, poleconych lub omówionych w tekście; przy nazwisku podany jest tytuł dzieła pełny lub skrócony; b) nazwiska tych uczonych, których poglądy, zagadnienia, metody, twierdzenia i t. p. wspomniane są w tekście.

- ABBE ERNST.** (1) Die Lehre von der Bildentstehung im Mikroskop 157, (2) Gesammelte Abhandlungen von E. Abbe 158.
- ALLEN E. T., DAY ARTHUR L., IDINGS J. P., BECKER G. F.** The isomorphism and thermal properties of feldspars 164.
- ALTH ALOIZY.** Zasady mineralogji 126, 155.
- ARAGO F.** 111.
- ARTEMIEW D.** 154.
- ARZRUNI ANDRÉAS.** Physikalische Chemie der Krystalle 147.
- BARKER TH.** 154.
- BARKLI** 70.
- BARLOW W.** 90, (1) Prace w Zeitschr. f. Kryst. (2) Geometrische Untersuchung über eine mechanische Ursache der Homogenität der Struktur und der Symmetrie 104.
- BARLOW W. i MIERS H. A.** The structure of crystals 119.
- BARLOW W. i POPE W. J.** The relation between the crystalline form and the chemical constitution... 104.
- BARTHOLINUS E.** 111.
- BAUMHAUER H.** Die neuere Entwicklung der Krystallographie 120.
- BECKE F.** 158, 166. Ein Wort über Symmetriecentrum 96.
- BECKENKAMP D. J.** (1) Statische und kinetische Krystaltheorien 136, 143. (2) Ausgleichsmethoden der geometrischen Krystallographie 140.
- BECKER A.** Krystalloptik 143.

- BECKER G. F., ALLEN E. T., DAY A. L., IDINGS J. P. The isomorphism and thermal properties of feldspars 164.
- BEHRENS H. Anleitung zur mikrochemischen Analyse 150.
- BERGMAN TORBERN O. Variæ crystallorum formæ a spatortæ 97.
- BERTIN A. 112.
- BIOT J. B. 111.
- BOEKE H. E. (1) Die Anwendung der stereographischen Projektion bei krystallographischen Untersuchungen 137, (2) Die gnomonische Projektion in ihrer Anwendung auf krystallographische Aufgaben 137, (3) Grundlagen der physikalisch-chemischen Petrographie 204.
- BOLDYREW A. K. Osnowy geometrieskawo uzenja o simetriji 96.
- BOLLAND A. Mikrochemja 149.
- BOŹYCKI E. Elemente einer neuen chemisch-mikroskopischen Mineral- und Gesteinsanalyse 151.
- BOUASSE H. Cours de Physique 124, 135, 144.
- BOURGOIS L. Analyse microchimique 151.
- BOUSSINESQ 112.
- BOWMAN H. L. 165.
- BRAGG W. H. 71, 75, 167. (1) Relation of the crystal-structure... 75, (2) The structure of organic crystals 75.
- BRAGG W. L. 71, 167.
- BRAGG W. H. i BRAGG W. L. X-rays and crystal-structure 107.
- BRAVAIS A. 95, 96, 99, 100, 101, 108, 168, grupy Br. 67, 102, 192, sieć przestrzenna Br. 67, 193 — 195. (1) Études crystallographiques 95, 98, (2) Note sur les polyèdres symétriques de la géométrie 95.
- BREZINA ARISTIDES. Methodik der Krystallbestimmung 139.
- BROGLIE DE 72.
- BRUNI GIUSEPPE. Feste Lösungen und Isomorphismus 148.
- BURMESTER L. Geschichtliche Entwicklung des krystallographischen Zeichnens 120.
- BYKOWSKI JAKSA CZ. 203.
- CAPPELER A. M. A. Prodomus Crystallographiae... 93.
- CARANGEOT 93.
- CAUCHY A. 112.
- CÉSARO G. Éléments de cristallographie et de minéralogie 131.
- CURIE J. 111.
- CURIE P. 111, (1) Sur les questions d'ordre 96, (2) Sur la formation des cristaux et sur les constantes... 109.
- DAVY MYRON W. and FARNHAM MASON C. Microscopic examination of the ore minerals 204.
- DAY A. L., ALLEN E. T., IDINGS J. P., BECKER G. F. The isomorphism and thermal properties of feldspars 164.

- EBYE P. 73.
- DEBYE P. i SCHERRER P. Interferenzen an regellos orientierten Teilchen im Roentgenlicht 107.
- DELAFOSSÉ G. 98.
- DOBROWOLSKI A. B. Historia naturalna lodu 151.
- DRUDE P. 112. (1) Lehrbuch der Optik 144, (2) Physik des Aethers 144.
- DUFET H. (1) Sur le calcul cristallographique 139, (2) Recueil de données numériques 154.
- DUHEM P. Traité élémentaire de mécanique chimique 148.
- DUPARC 158.
- DUPARC LOUIS et PEARCE FRANCIS. Traité de technique minéralogique et pétrographique 145.
- EWALD P. P. 79, 160.
- FARNHAM MASON C. and DAVY MYRON W. Microscopic examination of the ore minerals 204.
- FINKE 171.
- FIODOROW E. S. 7, 36, 102, 104, 108, 110, 139, 158, 166, metoda F. 64, stolik F. 171, (1) Naczął uczenia o figurach 96, 103, (2) Symetria koniecznych figur 103, (3) Symetria prawilnych sistem figur 103, (4) Beiträge zur zonalen Krystallographie 109, (5) Zamiętkę o uspiechach teoreticzeskoj krystallografiji za posłednieje die-siatiletje 119, (6) Kurs kry-stalografiji (po ros.) 130, (7) Kriticzeskij pieresmotr form krystalłow mineralnawo earstwa 153, (8) Die Praxis in der krystallochemischen Analyse und die Abfassung der Tabellen 154. (9) Das Krystallreich 154.
- FLETCHER L. Address to the Geological Section of the British Association on recent progress in mineralogy and crystallography 119.
- FOCK A. Einleitung in die chemische Krystallographie 147.
- FRANKENHEIM M. L. 95. (1) Die Lehre von der Cohäsion 98, (2) System der Krystalle 98.
- FRESNEL A. 111.
- FRIEDEL G. 166. (1) Études sur les groupements cristallins 106. (2) Leçons de Cristallographie 123, 128.
- FRIEDRICH W. 69.
- FRIEDRICH W., KNIPPING P. und LAUE M. Interferenz-Erscheinungen bei Roentgenstrahlen 107.
- GADOLIN A. 95. Mémoires sur la deduction d'un seul principe de tous les systèmes cristallographiques avec leurs subdivisions 96.
- GAUBERT P. 117, 165.
- GAUSS K. F. 19, 95.
- GIBBS J. W. On the Equilibrium of heterogeneous substances 109, 148.

- GLOCKER E. F. Mineralogische Jahreshefte 119.
- GOLDSCHMIDT V. M. 108, 110, 170, metoda G. 64, szkoła G. 165, (1) Ueber Entwicklung der Krystallformen 108, (2) Ueber Harmonie und Complication 108, (3) Ueber Projektion und Krystallberechnung 138, (4) Krystallographische Projektionsbilder 138, (5) Krystallographische Winkeltabellen 153, (6) Index der Krystallformen der Mineralien 153, (7) Atlas der Krystallformen 155, 205.
- GOSSNER B. Krystallberechnung und Krystallzeichnung 138.
- GRANDJEAN F. 90, 117.
- GRASSMANN G. 95.
- GREEN G. 112.
- GROTH P. 115, szkoła G. 165, (1) Physikalische Krystallographie 123, 129, 130, 141, (2) Elemente der physikalischen und chemischen Krystallographie 123, 134, (3) Einleitung in die chemische Krystallographie 124, 146, (4) Chemische Krystallographie 146, 153, 155.
- GUGLIEMINI DOMENICO. (1) Riflessioni filosofiche dedotte dalle figure de'sali 96, (2) De salibus dissertatio epistolaris 96.
- GÜNTHER S. Geschichte der anorganischen Naturwissenschaften 119.
- HAMILTON W. 112.
- HAUSWALDT H. (1) Interferenzenerscheinungen an doppeltbrechenden Krystallplatten 143, (2) Interferenzenerscheinungen im polarisierten Licht 143.
- HAUSWALDT H. u. VORLÄNDER D. Achsenbilder flüssiger Krystallen 117.
- HAÛY RENÉ JUSTE 22, geom. H. 170, prawo H. 23, 25, 26, 28, 30, 32, 94, 98, 159, 168. (1) Extrait d'un Mémoire sur la structure des cristaux de grenat 93, 97, (2) Mémoire sur la structure des spathes calcaires 13, (3) Essai d'une théorie sur la structure des cristaux 93, 97, (4) Traité de Minéralogie 93, (5) Traité de Cristallographie 93, 97, (6) Sur une loi de cristallisation appelée loi de symétrie 94, (7) Essai de Cristallographie 97, (8) Cristallographie ou description des formes... 97.
- HECHT H. Anleitung zur Krystallberechnung 139.
- HEINRICH F. Lehrbuch der Krystallberechnung 140.
- HERSCHEL J. 112.
- HESSEL J. FR. CHR. (1) Krystall 95, (2) Krystallometrie oder Krystallonomie und Krystallographie 95.
- HILTON H. Mathematical crystallography 137.
- HOBORSKI A. Wyższa matematyka 201.
- HOOKE ROBERT. Micrographia 96.

- HULL A. W. 73.
 HUTCHINSON A. 158, 165.
 HUYGHENS CHR. 21, 111. (1) *Traité de la lumière* 97, (2) *Opera reliqua* 97.
 HIDDINGS J. P., DAY A. L., ALLEN E. T., BECKER G. F. The isomorphism and thermal properties of feldspars 164.
 JAEGER F. M. 107. Lectures on the principle of symmetry 133.
 JANISZEWSKI Z. 18.
 JORDAN C. 189, grupy J. i SCHÖENFLIESA 67, 101, 177, 195—200. *Mémoire sur les groupes de mouvements* 100.
 JUNGHANN G. 108.
 KELVIN LORD. (1) On homogeneous division of space 105, (2) On the division of space with minimum partitional area 105, (3) The molecular tactics of a crystal 105, (4) Vorlesungen über Molekulardynamik und die Theorie des Lichts 105, (5) Molekulare mechanika kryształu (po ang.) 105.
 KENNGOTT A. Synonymik der Krystallographie 121.
 KLEIN F. 158.
 KLEY P. D. C. (1) Behrens-Kley mikrochemische Analyse 150, (2) Behrens-Kley organische mikrochemische Analyse 150.
 KNIPPING P. 69.
 KNIPPING P., FRIEDRICH W. und LAUE M. Interferenz-Erscheinungen bei Röntgenstrahlen 107.
 KOBEL F. von. Geschichte der Mineralogie 118.
 KREUTZ ST. 52, 177, 178, 192. Elemente der Theorie der Krystalstruktur 137.
 KREUTZ ST. i ZAREMBA ST. Sur les fondements de la Cristallographie géométrique 52, 106, 189, 190, 193.
 KRUEGER 171.
 KUPFFER A. (1) Handbuch der rechnenden Krystallogonomie 95, (2) w Poggendorffs Annalen der Physik 95.
 LAMÉ G. 112.
 LANDOLT-BOERNSTEIN. Physikalisch-chemische Tabellen 153, 205.
 LAUE M. 69, 166.
 LAUE M., FRIEDRICH W. und KNIPPING P. Interferenz-Erscheinungen bei Röntgenstrahlen 107.
 LA VALLE G. Corso di cristallographia teoretica.. 131.
 LE BEL. 85, 114.
 LEHMANN O. 87, 115. (1) Art. w Zeitschr. f. phys. Chemie 116, (2) Flüssige Krystalle 116, (3) Die neue Welt der flüssigen Krystalle 116, (4) Das Krystallisationsmikroskop und die damit gemachten Entdeckungen... 116, (5) Flüssige Krystalle und ihr scheinbares Leben 117, (6) Molekularphysik 148, 151.
 LEMBERG J. 159.

- LEWINSON-LESSING F. J. Uczeń-
nik krystallografji 131.
- LEWIS W. I. 165. Treatise on
Crystallography 131.
- LÉVY A. 94. Description d'une
collection de minéraux
155.
- LIEBISCH TH. 111, 158, 166. (1)
Grundriss der physikali-
schen Krystallographie
123, 141. (2) Geometrische
Krystallographie 123, 131.
(3) Physikalische Krystal-
lographie 123, 141.
- LIEBISCH TH., SCHOENFLIES A.
i MUEGGE O. Art. zbiorowy
„Krystallographie“ w Enc.
nauk matematycznych 120.
- LIEBMANN. 110.
- LINCK GOTTLÖB. 166. Grundriss
der Krystallographie 131.
- LORENTZ H. A. 112.
- MAC CULLAGH. 112.
- MALLARD E. 106, 165. (1) Expli-
cation des phénomènes
optiques anomaux 112, (2)
Traité de Cristallogra-
phie 123, 132, 146.
- MALUS E. L. 111.
- MARC R. Vorlesungen über
die chemische Gleichge-
wichtslehre 149.
- MARX C. M. Geschichte der
Krystallkunde 118.
- MASCART E. Traité d'optique
144.
- MASKELYNE N. ST. 120. Crystal-
lography 131.
- MAXWELL J. C. A treatise on
electricity and magne-
tism 112.
- MAUGUIN CH. 165.
- MAYERHOFER A. Mikrochemie
der Arzneimittel und Gif-
te 150.
- MICHALSKI WL. Przyroda mar-
twa 127.
- MIERS H. A. 165.
- MIERS H. A. i BARLOW W. The
structure of Crystals 119.
- MILCH L. Tabellarische Ueber-
sicht der... Bezeichnungen
der Krystallformen 121.
- MILLER W. H. 25, 110. A treatise
on Crystallography 95.
- MINNIGERODE B. Untersuchun-
gen über die Symmetrie-
verhältnisse der Krystal-
le 96.
- MITSCHERLICH E. (1) O stosunku
składu chemicznego i po-
staci soli arsenowych i fo-
sforowych (po szwedzku) 113,
(2) Sur la relation qui exi-
ste entre la forme cristal-
line et les proportions
chimiques 113.
- MONTEIRO J. A. 94.
- MOROZEWICZ J. 125, 171.
- MUEGGE O., LIEBISCH TH. i SCHOEN-
FLIES A. Art. zbiorowy „Kry-
stallographie“ w Enc. nauk
matem. 120.
- NAUMANN C. F. (1) Lehrbuch der
reinen und angewandten
Krystallographie 140, (2)
Elemente der theoretischen
Krystallographie
140.
- NEUMANN F. E. 112. (1) Principio
evolutionis systematum
crystallinorum 94 (2) Prace
w Poggendorf Ann. 110, (3)
Vorlesungen über die Theo-
rie d. Magnetismus 110.

- (4) Vorlesungen über die Theorie d. Elasticität d. festen Körper und des Lichtäthers 110.
- NIECZAJEW A. W. Krystalografja geometryczna, fizyczna i fizyko-chemiczna (po ros.) 131.
- NISS A. Allgemeine Krystallbeschreibung 138.
- NIGGLI P. 107, 202. (1) Lehrbuch der Mineralogie 133, (2) Geometrische Symmetrie des Discontinuums 135.
- NIKITIN W. W. 158 La méthode universelle de Fedoroff 145.
- NOLD A. Grundlagen einer neuen Theorie der Krystallstruktur 106.
- ORELKIN B. 154.
- PASTEUR L. 20, 85, 113, 115, 161, prawo P. 21. Deux leçons sur la dissymétrie moléculaire 114.
- PEARCE FRANCIS et DUPARC LOUIS. Traité de technique minéralogique et pétrographique 145.
- PENFIELD SAMUEL L. (1) The stereographic projection and its possibilities 137. (2) On the solution of problems in crystallography 138.
- PLUECKER J. 112.
- POCKELS F. 111. Lehrbuch der Krystalloptik 124, 142.
- POCKLINGTON H. C. 113.
- POGGENDORFF J. C. Biographisch-literarisches Handwörterbuch zur Geschichte exacter Wissenschaften 121.
- POINCARÉ H. Théorie mathématique de la lumière 144.
- POPE W. J. 90.
- POPE W. J. i BARLOW W. The relation between the crystalline form.. 104.
- PROVOSTAYE DE LA 21.
- PULFRICH. Das Totalreflectometer 157.
- QUENSTEDT FR. A. 110. (1) Methode der Krystallographie 140 (2) Grundriss der bestimmenden und rechnenden Krystallographie 140.
- QUERBACH F. Das Zeisswerk u. die Carl Zeiss-Stiftung in Jena... 158.
- REINTZER F. 87. Art. w Monatshefte f Chemie 116.
- RETGERS J. W. 115.
- KEUSCH E. Die stereographische Projektion 140.
- RINNE F. 166. (1) Das feinbau-liche Wesen der Materie 77, 124, 134. (2) Einführung in die krystallographische Formenlehre 134.
- ROENTGEN, promienie R. (p. skor. rzezowy).
- ROHR M. Die optischen Instrumente 158.
- ROMÉ DE L'ISLE. (1) Essai de Cristallographie... 93, (2) Cristallographie ou description des formes... 93.

- ROOZEROOM BAKHUIS D. W. H. (1) Die heterogenen Gleichgewichte 115, 149. (2) Erstarungsprodukte der Mischkrystalle zweier Stoffe 115.
- ROSENBUSCH H. Mikroskopische Physiographie der Mineralien und Gesteine 204.
- ROTHER LUDWIK. Sieci krystaliczne 128.
- ROWLAND, siatka R. 71.
- SCHENCK R. Krystallinische Flüssigkeiten u. flüssige Krystalle 116, 117.
- SCHERRER P. 73.
- SCHERRER P. i DEBYE P. Interferenzen an regellos orientierten Teilchen im Roentgenlicht 107.
- SCHIEBOLD E. 72.
- SCHNEIDERHÖHN HANS Dr. Anleitung zur mikroskopischen Bestimmung und Untersuchung... 204.
- SCHOENFLIES A. 104, grupy Jordana i S. 67, 101, 102, 177, 195—200 Krystallsysteme und Krystallstruktur 101, 135, 137
- SCHOENFLIES A., LIEBISCH TH. i MUEGGE O. Art. zbiorowy „Krystallographie“ w Enc. nauk matem. 120.
- SCHRAUF ALB. Atlas der Krystallformen des Mineralreiches 153.
- SCHROEDER VAN DER KOLK. Kurze Anleitung zur mikroskopischen Krystallbestimmung 151.
- SEEBER L. A. 198.
- SELLA QUINTINO. Teoretica e pratica del regolo calcolatore 140.
- SIEGBAHN M. 108.
- SMITH H. 158.
- SMOLUCHOWSKI M. X, 18, 110, 162.
- SNELL, prawo S. 71.
- SOHNCKE L. 14, 137. (1) Die unbegrenzten regelmässigen Punktsysteme... 101. (2) Entwicklung einer Theorie der Krystallstruktur 101.
- SOKOŁOW W. 154.
- SOMMERFELD A. 69. Atombau u. Spektrallinien 136.
- SOMMERFELD E. (1) Geometrische Krystallographie 132, (2) Die Krystallgruppen nebst ihren Beziehungen zu den Raumgittern 136, (3) Physikalische Krystallographie 136.
- SORBY H. C. 112
- SORET CH. 111. Éléments de Cristallographie physique 121, 128, 130, 141.
- SPENCER L. J. Données numériques de cristallographie et de minéralogie 154.
- STENO N. De solido intrasolidum naturaliter contento dissertationis prodromus 92.
- STOEBER F., metoda S. 64. Sur une méthode de dessin des cristaux 139.
- STORES G. G. 112.
- ŚWIĘTOSŁAWSKI W. Chemja fizyczna 201.
- TAMMANN GUSTAV. 115. (1) Krystallisieren und Schmelzen 147, (2) Lehrbuch der Metallographie 148.

- THOMSON J. J. Application of the electron theory of chemistry to solids 160.
- THOMSON W. 110.
- THUGUTT ST. J. Stan obecny metod badania mikrochemicznego w mineralogji i petrografji 150.
- TSCHERMAK G. Podręcznik mineralogji 125.
- TUTTON A. E. H. 163. Crystallography and practical measurement 145.
- WALLERANT FRÉD. 117, 158, 165: (1) Théorie des anomalies optiques... 106, (2) Exposé élémentaire des lois de la cristallographie géométrique 131, (3) Cristallographie 146.
- WEBSKY M. Anwendung der Linearprojection zum Berechnen der Krystalle 140.
- WEISBACH J. 110, metoda W. 64. Anleitung zum axonometrischen Zeichnen 140.
- WEISS CHR. SAMUEL XII, 37. (1) De indagando formarum cristallarum... 94, (2) Mineralogja Häüyego (przekład niem.) 94, (3) Uebersichtliche Darstellung der verschiedenen natürlichen Abteilungen der Krystallisationssysteme 94.
- WERNADSKIJ W. 166. (1) O zastosowaniu reguły faz do krystalografji (po ros.) 110, (2) O fizycznej teorji kryształów bliźniaczych (po ros.) 110, Zarys krystalografji (po ros.) 130.
- WEYBERG Z. 201. (1) Podstawy krystalografji 122, 126, (2) Wiadomości początkowe z krystalografji 125, 129.
- WHEWELL W. 94, 95.
- WHITE W. P. 158.
- WIENER CHR. Die Grandzüge der Weltanordnung 100.
- WOLLASTON W. H. Description of a reflectiv goniometer 94. Goniometr W. 170.
- WOYNO T. J. Die Anwendung der Häufungsmethode auf zweikreisige Krystallmessung 140.
- WRIGHT FRED EUG. 158. The methods of petrographic-microscopic research. 145.
- WULFF GEORG (JERZY) 89, 110, 125, 139, 166, 171, 201. (1) Die Symmetrie-Ebene 96, (2) Rukowodstwo po krystalografji 126, 129, 130, 140, (3) Symetria i jej projawlenia w prirodie 203.
- WURZBACH CONSTANT V. Biographisches Lexicon 203.
- WÜLFING E. A. 158, 166, metoda W. 64. (1) Die Häufungsmethode 140, (2) Mikroskopische Physiographie der wichtigen Mineralien 145, 151.
- WYROUBOFF G. Manuel pratique de Cristallographie 139.
- WANT HOFF J. H. 84, 85. (1) Vorstel tot nithreiding der Struktuur-Formules in de Ruimte 114, (2) Ueber feste Lösungen und Molekulargewichtsbestimmung an

- festen Körpern 114, (3) Zur Bildung der ozeanischen Salzablagerungen 115, 149, (4) Untersuchungen über die Bildungsverhältnisse der ozeanischen Salzablagerungen 115, (5) Vorlesungen über theoretische und physikalische Chemie 149.
- VIOLA C. M. Grundzüge der Krystallographie 130.
- VOIGT W. 111, 112. (1) Flüssige Krystalle u. anisotrope Flüssigkeiten 116, (2) Lehrbuch der Krystallophysik 124, 142, (3) Die fundamentalen physikalischen Eigenschaften der Krystalle in elementarer Darstellung 141, (4) Kompendium der theoretischen Physik 144.
- VORLÄNDER D. 90. Krystallinisch-flüssige Substanzen 117.
- VORLÄNDER D. u. HAUSWALDT H. Achsenbilder flüssiger Krystallen 117.
- ZAREMBA ST. 17, 36, 52, 61, 65, 66.
- ZAREMBA ST. i KREUTZ ST. Sur les fondements de la Cristallographie géométrique 106, 189, 190, 193.
- ZEFAROWICH V. 170.
- ZEISS C. (1) Die optischen Instrumente der Firma R. Fuess 157. (2) Kataloge; Mikroskope und deren Hilfsapparate 158.

SKOROWIDZ RZECZOWY

opracował

WOJCIECH PRZYBYŁOWICZ.

Skorowidz niniejszy zawiera podane w tekście terminy i omówione pojęcia, teorie, metody oraz zagadnienia z zakresu krystalografii.

Liczby oznaczają stronicę; skróty: *l.* (literatura) — znaczy, że na odpowiednich stronicach podano literaturę przedmiotu, *d.* (definicja) — że na odpowiedniej stronie wyraz został zdefiniowany.

Analiza krystalograficzno-mikrochemiczna—7, *l.* 149—151.

Anizotropowość ciał krystalicznych—*l.* 3, 68, 80.

Atlasy form krystalograficznych — *l.* 155.

Atomy: budowa a. — 78, 84, symetria a.—78, 84, ugrupowanie przestrzenne a. w ciałach stałych—84, związki między miejscem a. w układzie perjodycznym pierwiastków a stałymi krystalograficznymi—85.

Badania: b ciśnienia osmotycznego—84, b. kryształów mieszanych—84, b. kryształów promieniami Roentgena—69—74, 84, *l.* 107—108, 134—136, b. stanu fizycznego ciała krystalicznego — 83, b. stężenia rozтворów—84, b. własności ośrodka—5, b. związku między własnościami fizycznymi a konstytucją chemiczną—85.

Biografie uczonych krystalografów—*l.* 121, 202.

Blizniaki—62, 63, 87.

Chemji stosunek do krystalografii—6. **Chemiczna krystalografia** (p. krystalografia chemiczna).

Chemiczne przygotowanie do studjowania krystalografii—16, 201.

Ciała anizotropowe, izotropowe, jednorodne i niejednorodne w krystalografii—2, 3.

Ciała krystaliczne (p. ciekłe kryształy, ciecze krystaliczne, kryształy): anizotropowość c. kr. — 3, 68, 80, badanie stanu fizycznego c. kr. — 83, geometryczne własności substancyj krystalicznych—195—200, izotropowość c. kr.—3, 4, podział ciał w krystalografii—5.

Ciecze krystaliczne—5, 86—90, *l.* 116—117.

Ciekle kryształy — 5, 86—90, *l.* 116—117.

Ciśnienia osmotycznego badanie—84.

Czworościan rzeczywisty — 23, *d.* 25, twórczy — *d.* 31.

Diagramy stanu fizycznego ciał krystalicznych—83.

Doświadczenia i spostrzeżenia stosunek do hipotez krystalografii geometrycznej — 36 — 42, doświadczenia wpływ na teorię w krystalografii—159—160.

Elementy symetrii—47, 180.

Fazy krystaliczne—6, 83, 84, 202.

Fizyczna krystalografia (p. krystalografia fizyczna).

Fizyczne przygotowanie do studjowania krystalografii—16.

Fizyki stosunek do krystalografii—5, 6, 13.

Form krystalograficznych atlasy — *l.* 155.

Forma kryształu—5, *f. kr.* a budowa chemiczna cząsteczek — 21, *f. kr.* a skład chemiczny—7.

Geologii stosunek do krystalografii—10.

Geometrii stosunek do krystalografii—6.

Geometryczna krystalografia (p. krystalografia geometryczna).

Gonjometr dwukolowy (teodolitowy)—140, 170, jednokolowy — 170, kontaktowy—93, refleksyjny 94.

Grupy krystalograficzne — 42, 51—61, (tablica) — 52, 55, *gr.* Bravaisa — 67, 193, 194, *gr.* holodryczne—56, klasy *gr. kr.* (tablica) — 52, klasy krystalograficzne—51, 52, 192—195, klasy postać prosta ogólna i szczegółowa—58, *gr.* meriedryczne—56,

gr. Schoenfliesa i Jordana — 67, 195—200, formy proste grupy—57, podgrupa grupy — *d.* 50, pojęcie grupy—XIII.

Grupy przekształceń w krystalografii — 49, *gr. p.* dopuszczanych przez pewną substancję — 67, *gr.* symetrii fizycznej—60, 82, *gr.* symetrii wielościanu—50, *d.* 188, *gr.* translacyj substancji—67, *gr.* wielościennne—189-192, sprzężone przekształcenia *gr.* — *d.* 50, twórcze przekształcenia *gr.*—*d.* 49.

Hipoteza kolineacyjna—22, 31, jej wyższość nad pozostałymi—39.

Hipoteza pasowa (p. Prawo pasowe).

Hipoteza sieci przestrzennej—22, 33—35, jej geometryczna treść—34, jej ważność z punktu widzenia fizycznego—41, jej wyższość nad h. pasową—40.

Hipoteza o związku budowy chemicznej cząsteczki z formą kryształu—21.

Hipotezy podstawowe krystalografii (p. prawa podstawowe krystalografii).

Historja krystalografii — *l.* 118 — 121, historja metod rysunku krystalograficznego — *l.* 120, historyczny rozwój krystalografii — 91.

Iloczyn przekształceń—*d.* 44, 45.

Izometryczne przekształcenia (p. przekształcenia).

Izotropowość ciał krystalicznych — 3, 4.

Katedry krystalografii w uniwersytetach—63.

Kategorje studjujących krystalografię—16—18.

Klasy krystalograficzne—*d.* 51, ogólna i szczegółowa postać prosta kla-

- sy—58, ugrupowanie kl. kr. w systemy—56, 192—195.
- Kongresy, omawiające krystalografię—162.
- Krystalizacja: linijna szybkość kr.—l. 148, samorzutna kr.—148.
- Krystalografia: doświadczalna kr., metoda zaznajamiania się z nią—20, historia kr. (p. Historia krystalografii), metody kr. (p. Metody krystalografii), miejsce kr. w „Poradniku” — IX, kr. jako nauka przyrodnicza — IX, odrębność kr.—13, 14, opisowej kr. rozwój — 110, pedagogiczna wartość kr.—XI, podział kr.—14, praktyczna kr.—63, przedmiot kr.—1, stosunek kr. do nauk innych—X, 5—13, do chemii—6, fizyki—5, 13, geologii—10, geometrii—6, metalurgii i metalografii—11, mineralogii—8, petrografii—9, stosunek kr. do życia codziennego — 12, studjowanie kr. (p. Studjowanie krystalografii).
- Krystalografia chemiczna—14, 83—85, 201, l. 124, 128—133, 145—149, analiza mikrochemiczna—7, l. 149—151, atomów miejsce w układzie periodycznym pierwiastków a stałe krystalograficzne — 85, chemiczne własności kryształów—l. 113—115, fizyczne własności w związku z konstytucją chemiczną—85, formy kryształu związek ze składem chemicznym—7, hipoteza związku budowy chemicznej cząsteczki z formą kryształu—21, sposób wiązania się pierwiastków—14, stałe krystalograficzne w chemii organicznej—7, stosunek krystalografii do chemii—6, znajomości krystalografii potrzeba dla chemików—teoretyków, praktyków, techników i farmaceutów—8.
- Krystalografia fizyczna—2, 14, 65—82, 201, 203, l. 123, 128—133, 140—146, chemiczna konstytucja w związku z własnościami fizycznymi—83, fizyczne własności kryształów—80—82, l. 110—113, fizycznego stanu ciał krystalicznych badanie—83, fizyki stosunek do krystalografii—5, 6, 13, geometrycznej krystalografii związek z fizyczną—65, hipotezy sieciowej ważność z punktu widzenia fizycznego—41, optyka kryształów—l. 124, 142, osmotycznego ciśnienia badanie—84, Roentgena promieni zastosowanie w krystalografii (p. Badania).
- Krystalografia geometryczna—2, 6, 14, 22—64, 177—200, l. 123—146, 202—203, doskonałość formy kr. g.—20, fizycznej krystalografii związek z geometryczną—65, fizyki stosunek do krystalografii geometrycznej—6, geometryczne własności materii—66,—kryształów—l. 92—96, 100,—substancji krystalicznych—195—200, hipotezy (p. Hipotezy), krystalografii stosunek do geometrii—6, prawa podstawowe krystalografii (p. Prawa i t. d.).
- Kryształy—d. 1 (p. Ciała krystaliczne i t. d.), anizotropowość kryształów—3, 68, 80, bliźniaki—62, 63, 87, forma kryształu—5, jej związek ze składem chemicznym—7, jednorodność kryształów—68, mechanika molekularna kr.—l. 110, mieszanych kr. badania—84, ich własności związków z własnościami kryształów związków czystych—161, narastanie kr.—1, normalny kr.—d. 23, obrazy sferyczne kr.—d. 40, optyka kr.—l. 124, 142, przesuwanie się warstw kr.—86, roz-

- wój ścian kr. (p. Rozwój ścian),
rozszerzalność cieplna w kr.—80,
rysowanie kr.—*l.* 137—140, kr. jako
termometry geologiczne—*l.* ustrój
kr.—65—80, własności kr.—40, wł.
chemiczne—*l.* 113—115, fizyczne—
80—82, *l.* 110—113, geometryczne—
l. 92—96, 110, wystawy kr.—170,
zbiory kr.—169, 173.
- Matematyczne przygotowanie do stu-**
djowania krystalografji — 15 — 16,
201.
- Mechanika molekularna kryształów—**
1. 110.
- Metalografji stosunek do krystalo-**
grafji—11.
- Metalurgji stosunek do krystalografji—**
11.
- Metoda i technika studjowania kry-**
stalografji—18—21.
- Metody krystalografji—13, m. deduk-**
cyjna — 19, m. doświadczalno-in-
dukcijna — 19, m. rachunku kry-
stalograficznego — 64, m. rysunku
krystalograficznego historia — 1
120, m. rzutowania kryształów na
płaszczyznę — 63, ścisłość metod
krystalograficznych — 14, m. sku-
pień—64, l. 140, m. trawienia—12.
- Mineralogji stosunek do krystalo-**
grafji—8.
- Modele krystalograficzne — XII, XIII,**
173.
- Narastanie kryształów—1.**
- Nauczanie krystalografji (p. Studjo-**
wanie krystalografji).
- Naukowa wartość hipotezy podstawo-**
wej krystalografji—37, 38.
- Normalny kryształ—d. 23.**
- Obrazy sferyczne kryształów — d. 40**
Obrót—d. 181, ob. przemienny—47, d.
182.
- Odształcanie sprężyste ścian kry-**
ształów—161.
- Opisowej krystalografji rozwój — 110.**
- Opisy przyrządów krystalograficz-**
nych—l. 157.
- Optyka kryształów—124, 142.**
- Osi „niewymierne”—39, o. powtórzeń**
47, o. symetrii drugiego rodzaju—
48, o. symetrii przemiennej—48.
- Osmotycznego ciśnienia badanie—84.**
- Pedagogiczna wartość krystalografji—**
XI.
- Petrografji stosunek do krystalografji**
9.
- Płaszczyzna sieciowa—d. 33, pł. prze-**
mienna—48.
- Pole krystalograficzne—d. 23, p. ko-**
lineacyjne—d. 31, p. pasowe—d. 29,
p. pas. osobliwe i regularne — 194,
p. pasowego i p. krystalograficz-
negó równanie—32, p. wielościanno-
we—d. 24.
- Polimorfizm (wielopostaciowość)—22,**
84.
- Pomiary krystalograficzne—20, 21, 61—**
64, l. 139, 140.
- Pracownie naukowe krystalograficzne**
163.
- Prawa podstawowe krystalografji (p.**
Hipotezy i Prawa)—22—36: anali-
tyczny sposób ich wyrażania—32,
doświadczenia i spostrzeżenia sto-
sunek do nich — 36—42, fizyczny
ich wyraz—35, naukowa wartość—
38, treść ogólna — 24, wzajemny
stosunek—32, 35, 36.
- Prawo bliźniacze—62.**
- Prawo komplikacji—108.**
- Prawo (hipoteza) pasowe — XII, 22,**
28 — 30: naukowa wartość — 37,
wyższość nad niem hipotezy sie-
ciowej—40, zgodność jego z fakta-
mi, stwierdzonemi w nauce—36.

- Prawo Pasteura—21.
 Prawo równowagi różnych faz kry-
 stalicznych pewnych substancji
 i ich roztworów—6.
 Prawo stałości kątów—28, l. 92.
 Prawo symetrii—39, 51.
 Prawo wymiernych stosunków anhar-
 monicznych—22, 30.
 Prawo wymiernych stosunków odcin-
 ków (pr. Haüyego, druga postać) 30.
 Prawo wymiernych wskaźników (p.
 Haüyego, pierwsza postać)—19, 22,
 25—28; analogja jego do prawa
 podstawowego chemji—26, zgod-
 ność z doświadczeniem—33.
 Program studjowania krytalografji—
 16.
 Projekcja krytalograficzna—64, l.
 137—140.
 Przekształcenia: iloczyn p.—d. 44, 45,
 izometryczne p. 44, 178, iz. p. nie
 będące przemieszczeniami—180, iz.
 p. włościanów w siebie samych—
 183, jednoznacznie odwracalne p.—
 d. 43, 44, obrót—d. 181, obrót przemi-
 enny—d. 182, odwrotne p. d. 44,
 pojęcie p. w krytalografji 42, po-
 tęgą p. 45, przemieszczenia—d. 46,
 przemieszczenia proste 180, pun-
 ktowe przekształcenia przestrzeni
 d. 42, 178—183 ich rola w krysta-
 lografji—177—200, sprzężonych p.
 grupy układ—d. 50, symetria (p.
 Symetrija), przekształcenie tożsa-
 mościowe (identyczność)—d. 45,
 180, translacja—d. 2, 43, twórcze
 p. grupy—d. 49.
 Przesuwanie się warstw kryształu
 względem siebie—86.
 Przygotowanie do studjowania krysta-
 lografji—15—16, 201.
 Przyrządy i urządzenia krytalogra-
 ficzne—170—173, opisy przyrzą-
 dów—l. 157.
 Punkt niezmienny—47, d. 180.
 Rachunek krytalograficzny—61—64,
 l. 137—140.
 Rachunek wyrównywania błędów—l.
 140.
 Reguła faz—83.
 Roentgenografia kryształów (p. Bada-
 nia).
 Rozszerzalność cieplna w kryształach
 80.
 Rozwój ścian kryształów—l. 108—110,
 r. „harmoniczny” ścian—108, szyb-
 kość wzrastania lub rozpuszczania
 się kryształów—81.
 Równoległoboki elementarne—d. 34,
 ich stałość powierzchni—34.
 Równoległościany elementarne—d. 33,
 ich stałość objętości—34.
 Rysowanie kryształów—l. 137—140.
 Sieć przestrzenna—d. 33, s. p. Bra-
 vaisa 67.
 Snopki krytalograficzne—d. 29, 56.
 Stałe geometryczne substancji—61.
 Stałe krytalograficzne: st. kr. w che-
 mji—7, obliczanie st. kr.—64, wy-
 kazy ich—l. 153—155, związek ich
 z miejscem atomów w układzie
 perjodycznym pierwiastków—85.
 Stan krytaliczny—1, d. 4, st. anizo-
 tropowy—4, st. izotropowy—4.
 Stolik mikroskopowy Fiodorowa—130.
 Studjowanie krytalografji: cel nau-
 czania kr. na Stopniu I—X. w szko-
 le średniej—XI, drogi studjowania
 kr.—91, kategorie studjujących—
 16—18, metoda i technika studjo-
 wania kr.—18—21, program st. kr.
 16, przygotowanie do st. kr.—15—
 16, wykładu elementarnego kr.
 trudności—X.
 Symetria—13, l. 103: atomów s. i bu-
 dowa—73, 84, elementy symetrii—

- 47, 180, grupy symetrii (p. Grupy), klasy symetrii, wyznaczanie drogą pomiarów geometrycznych—62, s. w kryształach—39, 40, 42—61, 51, 53, pojęcie s.—XIII, prawo s.—39, 51, s. jako przekształcenie: elementy s.—47, 178—183, oś s.—47, płaszczyzna s.—d. 48, przemienność s.—47, punkt niezmienny—47, d. 180, środek (centrum) s.—d. 48, 181, s. względem punktu—d. 43, 46, 181, względem płaszczyzny—d. 43, 46, 182.
- „Szkoly“ krystalografii—164, 165.
- Środek średnich odległości—d. 184, śr. ciężkości punktów—184.
- Technika studjów (p. Studjowanie kr.) Teoria ustroju—l. 96—108, 133—137, 202.
- Teorji wpływ na badania doświadczalne w krystalografii—159—160.
- Towarzystwa naukowe, popierające rozwój krystalografii—162.
- Translacja—d. 2, 43, grupa translacyj substancji 67.
- Trawienie ścian kryształów—12.
- Uczonych krystalografów biografje—l. 121, 202.
- Układ ścian normalny—d. 23.
- Układy krystalograficzne (tablica)—55.
- Uniwersytety—katedry krystalografii 163.
- Ustrój kryształów—65—80: badania ustroju kr. (p. Badania), sieciowy ustrój kr.—70, teoria ustroju—l. 96—108, 133—137, 202.
- Wycinalne ściany—39, 160.
- Wskaz iki ścian kryształów—26, 61.
- Wydawnictwa periodyczne—l. 155—157, 203.
- Wykazy stałych krystalograficznych l. 203.
- Wykładu krystalografii trudności—X.
- Wystawy kryształów—170.
- Zadania krystalografu—8.
- Zagadnienia krystalografii (nierozwiązane)—160—161.
- Zbiory kryształów—169, 173.
- Zbiór płaszczyzn krystalograficznie możliwych—24.

SPROSTOWANIA.

str.	wiersz	zamiast	powinno być
7	6 i 7 od góry	t. zw. wielkości promienia	wielkości t. zw. promienia
10	11 od dołu	niższej 1100 ^o	niższej od 1100 ^o
11	11 od góry	badań krystalicznych	badań ciał krystalicznych
23	12 od góry	normalnym rozważanego	normalnym płaszczyzn lub ścian rozważanego
27	4 od dołu	$x=0, y=0, z=0$	$x=0, y=0, z=0$
32	10 od dołu	formą	formę
40	1 od dołu	fizyczna	geometryczna
67	13 i 14 od góry	translacji	translacyj
68	3 od dołu	"	"
69	14 od góry	"	"
70	16 od góry	sześcienny	regularny
71	3 od dołu	badania	padania
72	6 od góry	sąsiedniej z nim płaszczyzny	sąsiedniej płaszczyzny
76	6 od góry	stwierdzenia	twierdzenia
79	4 od dołu	P. E. Ewald... 1914	P. P. Ewald... 1912
82	13 od góry	własność	własności
105	15 i 16 od góry	Tecties	Tactics
110	6 od dołu	Lichtäther	Lichtethers
111	19 od góry	Islandiei	Islandici
115	6 od dołu	J. Tamann	G. Tammann
115	15 od dołu	Mischkrystalle	Mischkrystalle
119	8 od dołu	Adress	Address
128	3 od góry	polskim	polskim broszurę
131	13 od dołu	Maskelyre	Maskelyne
134	16 i 5 od dołu	T. Rinne	F. Rinne
135	8 od góry	00	101
136	15 od góry	A. Sommerfeldt	A. Sommerfeld
137	10 od dołu	ihren	ihrer
147	3 od dołu	Tamann	Tammann
155	15 od dołu	działa	dzieło
158	7 od dołu	E. I. Fiodorow	E. S. Fiodorow
158	4 od dołu	E. Wallerant	F. Wallerant
160	15 od góry	P. T. Ewald	P. P. Ewald.
183	16 od góry	dopuszcza element	dopuszcza jakiś element
192	6 od góry	wielościannu pasowego	wielościannu pasowego albo jego obrazu sferycznego
192	16 od góry	istnieją 32 klasy	istnieją najwyżej 32 klasy

GUIDE DES AUTODIDACTES.

INDICATIONS MÉTHODIQUES SUR TOUTES LES BRANCHES DES CON-
NAISSANCES A L'USAGE DES AUTODIDACTES. PUBLIÉ PAR A. HEFLICH
ET ST. MICHALSKI, SUBVENTIONNÉ PAR LA „CAISSE J. MIANOWSKI”
INSTITUT D'ENCOURAGEMENT AUX TRAVAUX SCIENTIFIQUES.

BUT DE L'OUVRAGE, PLAN ET MÉTHODE D'EXÉCUTION.

Le Guide, publié à Varsovie depuis 1898, en polonais, avec le concours de savants polonais, sert la cause de l'autodidaxie dans l'acception la plus étendue du mot. Nous appelons autodidacte celui qui se laisse guider dans ses études par sa propre initiative. C'est pourquoi l'autodidaxie croît de plus en plus à mesure qu'on s'élève vers les grades supérieurs de la science.

Le but de l'ouvrage est de donner à ceux qui désirent s'instruire dans une branche quelconque des connaissances ou se consacrer à des études spéciales dans le domaine d'une science particulière des indications méthodiques aussi exactes que possible, en même temps que des conseils sur le choix d'ouvrages polonais ou étrangers (français, italiens, anglais, allemands etc.) et sur l'ordre à suivre dans la lecture, suivant le degré de difficulté des livres et leur valeur scientifique.

Le Guide est divisé en sections, dont chacune est consacrée à une science; les matières de chaque section sont disposées dans l'ordre suivant:

1. Introduction générale. L'introduction expose l'objet, les problèmes et les méthodes de la science donnée, ses rapports avec les autres sciences et ses subdivisions en disciplines spéciales.

2. I-er degré (cours élémentaire), II-e degré (cours systématique moyen); à chacun de ces degrés on trouve:

- a) Observations générales accompagnées d'indications méthodiques sur la manière d'étudier, d'exécuter des expériences sur le matériel scientifique (cartes, instruments etc.).
- b) Bibliographie:

- a) Liste d'ouvrages recommandés comme manuels; chaque titre est suivi d'une analyse critique.
- b) Liste d'ouvrages complémentaires, à consulter.
- c) Ouvrages traitant de l'histoire de la science donnée en général et de son histoire en Pologne en particulier.
- d) Observations sur les méthodes d'enseignement au degré élémentaire et moyen; littérature du sujet avec analyse critique de chaque titre.
- e) Enfin, si cela est possible, on présente aussi une liste d'ouvrages traitant de la Pologne du point de vue de la science donnée (par ex. la flore polonaise).

3. III-e degré (instruction supérieure). Ce degré, le plus important, s'étendant sur la plus grande partie de chaque volume, contient toutes les indications méthodiques et bibliographiques énumérées ci-dessus, développées conformément au niveau supérieur des études, plus une liste d'ouvrages traitant des méthodes et des moyens techniques d'investigation scientifique. A ce degré chaque science est divisée en ses disciplines spéciales; dans chacun des chapitres consacrés à ces disciplines le lecteur trouve:

- a) une introduction spéciale le renseignant sur les problèmes particuliers et les méthodes des recherches, sur les sources et le développement de cette branche des connaissances et sur ses relations avec les autres disciplines.
- b) une bibliographie critique;
- c) des renseignements sur les sources bibliographiques.

4. Conclusion. La conclusion résume les principaux problèmes de la science et les courants scientifiques de l'heure actuelle.

5. Renseignements sur l'organisation du travail scientifique et de l'enseignement supérieur.

6. Index des noms propres. Table des matières.

De cette manière, les indications et renseignements fournis sur chaque science forment, avec l'introduction générale au commencement et le résumé synthétique à la fin, un tableau

complet de l'état actuel des connaissances, permettant au lecteur de se reconnaître dans l'ensemble des matériaux et des moyens intellectuels et techniques qui constituent l'édifice de la science moderne.

**Contenu du tome I. Mathématiques. (Varsovie, 1915,
p. XXXIX + 618):**

Préface par S. Michalski. — De la science par J. Łukasiewicz. Mathématiques: Introduction générale par Z. Janiszewski. — I Degré (cours élémentaire), II Degré (cours systématique moyen), Méthode d'enseignement des mathématiques par S. Kwietniewski. — Introduction au III Degré par Z. Janiszewski. — Géométrie analytique, projective et descriptive par S. Kwietniewski. — Arithmétique. Théorie des nombres. Algèbre. Théorie des ensembles. Théorie des fonctions d'une variable réelle. Calcul différentiel et calcul intégral. Calcul des différences finies et calcul inverse par W. Sierpiński. — Théorie des fonctions analytiques par S. Zaremba. — Équations différentielles ordinaires. Équations fonctionnelles, Équations aux différences et Équations intégrales. Développement en séries par Z. Janiszewski. — Équations aux dérivées partielles. Groupes des transformations. Calcul des variations par S. Zaremba. — Géométrie infinitésimale par S. Kwietniewski. — Analysis situs. Fondements de la géométrie par Z. Janiszewski. — Calcul des probabilités par S. Mazurkiewicz. — Logistique. Philosophie des mathématiques par Z. Janiszewski. — Histoire des mathématiques par S. Kwietniewski. — Conclusion par Z. Janiszewski. Organisation du travail scientifique par Z. Janiszewski. — Suppléments. — Index par S. Mazurkiewicz.

Contenu du tome II. Physique, Géophysique, Météorologie. (Varsovie, 1917, p. 526):

Physique (Degré I, II et III) par M. Smoluchowski. — Géophysique (Degré III) par M. P. Rudzki. — Météorologie (Degré I, II et III) par R. Mercki. — Suppléments. Index par M. Smoluchowski.

Contenu du tome III. Mathématiques, tome supplémentaire. (Varsovie, 1923, p. VIII + 188).

Préface. — Introduction générale par S. Mazurkiewicz. — Suppléments par S. Kwietniewski, S. Zaremba, W. Sierpiński, S. Ma-

zurkiewicz. — L'Importance de la logique pour les mathématiques par J. Sleszyński. — Les premières étapes dans le développement des notions infinitésimales par J. Sleszyński. — Les applications de la théorie des ensembles par S. Mazurkiewicz. — Les applications de la théorie des groupes des transformations par K. Żorawski. — Les relations entre la physique et les mathématiques par S. Zaremba. — Suppléments. — Index par W. Przybyłowicz. — Errata. — Résumé en français.

Contenu du tome IV. Cristallographie. (Varsovie, 1923, str. XIII + 228).

Préface par St. Kreutz. — I. Cristallographie par St. Kreutz. Introduction générale. — III-me degré: Introduction. Cristallographie géométrique. Cristallographie physique. Cristallographie chimique. Cristaux liquides et liquides cristallins. — Bibliographie: Principaux mémoires et ouvrages classiques. Histoire de la cristallographie. Manuels et monographies. Liste des constantes cristallographiques. Atlas des cristaux. Périodiques. Description des instruments employés en Cristallographie. — Conclusion. — Renseignements. II. Aperçu général sur le rôle des transformations ponctuelles en Cristallographie, par S. Zaremba. Suppléments. Index par W. Przybyłowicz Rectifications. Résumé en français.

Tomes V, VI, VII et VIII en préparation.

PORADNIK DLA SAMOUKÓW

WSKAZÓWKI METODYCZNE DLA STUDYJĄCYCH.

WYDANIE NOWE.

Tom I: Matematyka. Warszawa, 1915. str. XXXIX + 618,
z 34 fig. w tekście i 1 tablicą.

TREŚĆ. S. Michalski: O zmianach w wydaniu nowem. — J. Łukasiewicz: O nauce. — Z. Janiszewski: Wstęp ogólny do matematyki. — S. Kwietniewski: Stopień I, II i Metodyka nauczania. — Z. Janiszewski: Wstęp do Stopnia III. — S. Kwietniewski: Geometria analityczna, syntetyczna i wykreślna. — W. Sierpiński: Arytmetyka. Teoria liczb. Algebra wyższa. Teoria mnogości. Teoria funkcji zmiennych rzeczywistych. Rach. różniczkowy i całkowy. Rach. różnicowy i sumacyjny. — S. Zaremba: Teoria funkcji analitycznych. — Z. Janiszewski: Równania różniczkowe zwyczajne. Równania funkcyjne, różnicowe i całkowe. Rozwinięcia na szeregi. — S. Zaremba: Równania różniczkowe o pochodnych cząstkowych. Teoria grup przekształceń. Rachunek warjacyjny. — S. Kwietniewski: Geometria różniczkowa. — Z. Janiszewski: Topologia. Podstawy geometrii. — S. Mazurkiewicz: Teoria prawdopodobieństwa. — Z. Janiszewski: Logistyka. Zagadnienia filozoficzne matematyki. — S. Kwietniewski: Historia matematyki powszechnej i polskiej. — Z. Janiszewski: Zakończenie. Dział informacyjny. — Dopelnienia w opr. zbiorowem. — S. Mazurkiewicz: Skorowidz nazwisk i rzeczy.

Tom II: Fizyka. Geofizyka. Meteorologia.
Warszawa, 1917, str. 526.

TREŚĆ. M. Smoluchowski: Fizyka. Wstęp ogólny. — Stopień I i II z metodyką nauczania. — Stopień III: Wstęp ogólny. Dzieła obejmujące całość lub większą część fizyki. Literatura poszczególnych gałęzi fizyki. Dzieła o podstawach fizyki. Podręczniki do zajęć laboratoryjnych. Historia fizyki. Historia fizyki w Polsce. Dzieła z zakresu dydaktyki Stopnia III. Czasopisma. Encyklopedje, tablice, dzieła bibliograficzne. Zakończenie. — Dział informacyjny (instytucje, uniwersytety, literatura informacyjna; wykaz firm, dostarczających przyrządy). — M. P. Rudzki: Geofizyka. Stopień III: Wstęp. Bibliografia działów geofizyki. — R. Merecki: Meteorologia. Wstęp. Stopień I, II i III. — M. Smoluchowski: Dopelnienia. Skorowidz autorów i rzeczy.

Tom III: Matematyka. Uzupełnienia do t. I. Warszawa, 1923,
str. 188.

TREŚĆ. Od Redakcji. — S. Mazurkiewicz: Wstęp ogólny. — S. Kwietniewski, W. Sierpiński, S. Zaremba i S. Mazurkiewicz: Uzupełnienia do Stopnia I, II i III. — J. Sleszyński: O znaczeniu logiki dla matematyki. — J. Sleszyński: O pierwszych stadiach w rozwoju pojęć nieskończonościowych. — S. Mazurkiewicz: Teoria mnogości w stosunku do innych działów matematyki. — K. Żorawski: O zastosowaniach teorii grup przekształceń. — S. Zaremba: O stosunku wzajemnym fizyki i matematyki. — Dodatek (zbiorowo). — W. Przybyłowicz: Skorowidze. — Sprostowania. — Informacje o Poradniku w jęz. francuskim. — Treść wydanych tomów Poradnika.

Tom IV: Krystalografia. Warszawa, 1924, str. XIII + 228.

TREŚĆ. St. Kreutz: Przedmowa. St. Kreutz: Krystalografia. — Wstęp ogólny. — Stopień III: Wstęp Krystalografia geometryczna. Krystalografia fizyczna. Krystalografia chemiczna. Płynne kryształy i ciecze krystaliczne. — Bibliografia: Ważniejsze rozprawy i dzieła klasyczne. Dzieła i prace omawiające historję krystalografji. Podręczniki i monografie. Wykaz stałych krystalograficznych. Atlasy kryształów. Wydawnictwa periodyczne. Opisy przyrządów krystalograficznych. — Zakończenie. — Dział informacyjny. — St. Zaremba: Rola przekształceń punktowych przestrzeni w krystalografji. — Uzupełnienia do artykułów. W. Przybyłowicz: Skorowidze. — Sprostowania. — Informacje o Poradniku w języku francuskim. — Treść wydanych tomów Poradnika i wydawnictwa Poradnika.

Tomy: V Mineralogja, VI Botanika, VII Geografja, VIII Zoologja, IX Chemja, X Astronomja, XI Językoznawstwo, XII Geologja, XIII Antropologja — w przygotowaniu.

Wydawnictwo „Poradnika dla Samouków“:

E. Godlewski (senior) „Myśli przewodnie fizjologii roślin“, tom. I. Warszawa, 1923 r. str. 366; tom. II (w druku).

OGŁOSZENIA.

NAUKA POLSKA JEJ POTRZEBY, ORGANIZACJA I ROZWÓJ.

ROCZNIK KASY IM. MIANOWSKIEGO.

Tom I, Warszawa 1918, str. XVI+558.

Treść. Wstęp. — Stanisław Zaremba: O najpilniejszych potrzebach nauki w Polsce, ze szczególnem uwzględnieniem matematyki. — Zygmunt Janiszewski: — O potrzebach matematyki w Polsce. — Marjan Smoluchowski: O potrzebach naukowych w zakresie fizyki. — Władysław Natanson: *.* — Władysław Dziewulski: O potrzebach astronomji polskiej. — Lucjan Grabowski: O potrzebach astronomji polskiej. — Władysław Gorczyński: O potrzebach naukowych polskich w dziedzinie meteorologii. — L. i A. Birkenmajerowie: Najważniejsze dezyderaty nauki polskiej w zakresie historii nauk matematycznych. — Jan Zawadzki: O stanie chemji na ziemiach polskich oraz o środkach, zmierzających do jego podniesienia. — Józef Morozewicz i Stefan Kreutz: O potrzebach nauk mineralogicznych. — Stanisław Thugutt: Uwagi o potrzebach nauk mineralogicznych. — Wawrzyniec Teisseyre: Uwagi o potrzebach geologii polskiej. — Antoni Sukowski: Potrzeby nauki polskiej w zakresie geografji. — Emil Godlewski st.: Potrzeby nauki polskiej w zakresie fizjologii roślin. — Michał Siedlecki: Potrzeby nauki polskiej w zakresie zoologii. — Emil Godlewski mł.: O potrzebach biologji i embriologii. — Jan Czekanowski: W sprawie potrzeb nauk antropologicznych w Polsce. — Kazimierz Kostanecki: *.* — Jan K. Kochanowski: O potrzebach nauki polskiej w zakresie historii. — Władysław Smoleński: Potrzeby historii polskiej. — Oswald Balzer: O potrzebach nauki w zakresie historii prawa polskiego. — Stanisław Kutrzeba: Postulaty wydawnicze z zakresu historii prawa polskiego. — Franciszek Bujak: Uwagi o potrzebie historii gospodarczej. — Władysław Semkowicz: Potrzeby w zakresie nauk pomocniczych historii. — Marjan Gumowski: Stan i potrzeby numizmatyki i medalografji polskiej. — Ksawery Fierich: Instytut do badania prawa żywego w Polsce. — Antoni Kostanecki: O potrzebach naukowych w zakresie ekonomji społecznej. — Franciszek Bujak: Uwagi o badaniach życia społecznego i gospo-

darczego.—Jan Rozwadowski: Uwagi o polskich potrzebach naukowych w zakresie językoznawstwa.—Kazimierz Nitsch: Organizacja i potrzeby nauki w dziale języka polskiego.—Tadeusz Sinko: O stanie i potrzebach filologii klasycznej w Polsce.—Ignacy Matuszewski: Potrzeby nauki polskiej w zakresie literatury powszechnej.—Artur Górski: Kilka potrzeb z dziedziny historii kultury polskiej.—Ignacy Chrzanowski: Potrzeby historii literatury polskiej.—Zygmunt Batowski: Niektóre ważniejsze potrzeby historii sztuki u nas.—Jarosław Wojciechowski: O potrzebie polskich pracowni inwentaryzacyjnych oraz o potrzebie wydawnictwa materiałów do inwentaryzacji zabytków sztuki w Polsce.—St. Tomkowicz: Uwagi o potrzebach nauki polskiej w zakresie historii sztuki.—Bronisław Gembarzewski: Pracownia ikonograficzna.—Tadeusz Kotarbiński: W sprawie potrzeb filozofii u nas.—Kazimierz Twardowski: O potrzebach filozofii polskiej.—Stefan Błachowski: W sprawie potrzeb naukowych psychologii.—Antoni B. Dobrowolski: O pilnej potrzebie wychowania umysłowego w Polsce.—Romuald Minkiewicz: O polską twórczość naukową.—Tow. Docentów Pryw. U. J.: W sprawie bytu materialnego docentów — Wiadomość o działalności Kasy im. Mianowskiego.—Skorowidz rzeczowy.

Tom II, Warszawa, 1919, str. IX+676.

Treść: Wstęp.—Stefan Mazurkiewicz: O potrzebach matematyki w Polsce.—Tadeusz Banachiewicz: O potrzebie założenia w Polsce narodowego instytutu astronomicznego.—Tadeusz Godlewski: W sprawie projektów użycia funduszy na popieranie rozwoju nauki polskiej.—Stefan Niementowski: Uwagi o potrzebach chemii.—Ignacy Mościcki i Kaz. Kling: W sprawie technicznego kształcenia chemików technologów.—Jerzy Smoleński: O potrzebach nauki polskiej w zakresie geografii fizycznej.—St. Pawłowski: O potrzebach geografii polskiej.—St. Małkowski: O potrzebie popularyzacji wiedzy i o polskim muzeum ziemi.—Antoni Sujkowski: W sprawie badania kultury polskiej.—Władysław Szafer: Potrzeby botaniki.—Edmund Malinowski: Potrzeby nauki polskiej w zakresie hodowli roślin.—Józef Rostafiński: Potrzeby historii botaniki w Polsce.—St. Maziański: Potrzeby histologii.—Henryk Hoyer: Potrzeby anatomii porównawczej.—Roman Nitsch: Uwagi o potrzebach higieny i bakterjologii.—Adam Wrzosek: O potrzebach nauki w zakresie historii zoologii w Polsce.—Józef Kostrzewski: Potrzeby prehistorii polskiej.—Kaz. Tymieniecki: O niektórych potrzebach historii w Polsce i o warunkach jej dalszego rozwoju.—Potrzeby naukowe w zakresie wydawnictw źródłowych do dziejów Polski: Wł. Semkowicz: I. Okres

piastowski. — Oskar Halecki: II. Okres Jagielloński. Eugenjusz Barwiński: III. Okres od 1512 do 1648. — Wł. Konopczyński: IV. Okres od 1648 do 1795. — Ks. Jan Fijałek i St. Zachorowski: O potrzebach wydawniczych w zakresie źródeł historii kościoła w Polsce. — Marjan Gumowski: Potrzeby numizmatyki polskiej. — Ant. Perejatkowicz: O potrzebach encyklopedji i filozofji prawa. — St. Wróblewski: Potrzeby nauki polskiej a prawo rzymskie. — Ernest Till: O potrzebach polskiej nauki prawa cywilnego. — Jan Rutkowski: O potrzebach naukowych w zakresie gospodarczych dziejów Polski. — Stefan Moszczeński: Co ma do spełnienia nauka polska w zarządzie gospodarstw wiejskich. — St. Szober: O potrzebach naukowych językoznawstwa w Polsce. — Aleks. Brückner: Czego od polonistyki najpilniej wymagamy. — Stanisław Witkowski: Potrzeby filologii klasycznej. — Tadeusz Kowalski: W sprawie orientalistyki w naszych uniwersytetach. — Wilhelm Bruchnalski: Potrzeby umiejętności literatury polskiej. — Wł. Podlacha: O przyszłość historii sztuki. — Piotr Bieńkowski: O potrzebach nauki polskiej w zakresie archeologii klasycznej. — Feliks Koper: W sprawie programu badań w zakresie historii sztuki. — Jan K. Korchanowski: Kilka słów w sprawie nauki narodowej. — Witold Rubczyński: O najpilniejszych potrzebach nauki polskiej w zakresie historii filologii. — Zygmunt Mysłakowski: O rozwoju pedagogiki w Polsce. — Antoni Karbowski: O wartości, naszym znawstwie i badaniu ojczystych dziejów nauczania i wychowania. — Kazimierz Morawski: * * — N. M.: W sprawie oddziaływania profesora na studenta. — Romuald Minkiewicz: O niezależność nauki polskiej. — Edward Kuntze: Potrzeby polskich bibliotek naukowych. — Marjan Gumowski: Muzealna polityka rządu. — Kronika (zbiorowo): Życie naukowe polskie na obczyźnie i na kresach. — Polskie instytucje i towarzystwa naukowe, powołane do życia w okresie wojennym. — Udział społeczeństwa w popieraniu nauki polskiej. — Udział rządu polskiego w popieraniu nauki. — Nagrody za prace naukowe. — Międzynarodowe organizacje naukowe. — Z życia nauki zagranicą. — Pomoc udzielane przez Kasę im. Mińskiego (1881/2—1918). — Stanisław Małkowski: Skorowidz nazwisk do tomów I i II Nauki polskiej. Skorowidz rzeczowy do tomu II. — Sprostowania do tomów I i II. — Treść tomu I.

Tom III: Pamiętnik I-go Zjazdu poświęconego zagadnieniom organizacji i rozwoju nauki polskiej w dn. 7—10 kwietnia 1920 r., Warszawa, 1920, str. 280.

Treść. Sprawozdanie ze Zjazdu: I-szy dzień Zjazdu. Zagajenie przez prezesa Komitetu Kasy F. Kucharzewskiego. Przemówienie prze-

wodniczącego Zjazdu J. Łosia. Przemówienie ministra oświaty T. Łopu-
szańskiego. Jan Rozwadowski: Nauka a życie (odezyt inaugura-
cyjny).—Romuald Minkiewicz: O niezależność nauki polskiej.—
Franciszek Bujak: O niezależnych badaniach naukowych.—Roz-
prawy.—Antoni B. Dobrowolski: Nauka a oświata.—Tadeusz
Kotarbiński: Czy wydziały filozof. uniwers. mają być wydziałami
nauczycielskimi.—Rozprawy.—Wład. Witwicki: O stosunku nauki do
sztuki.—Rozprawy.—2-gi dzień Zjazdu. Fr. Bujak: Nauka a społeczne-
stwo.—St. Kalinowski: Nauka a społeczeństwo.—Rozprawy.—St. Ku-
trzeba: Nauka a państwo.—Ant. Peretiatkowiec: Stosunek
państwa do nauki.—Rozprawy.—Wł. Semkowicz: Organizacja pracy
naukowej.—Konstanty Janicki: Organizacja pracy naukowej.—
Rozprawy.—Jan Rutkowski: Praca naukowa na prowincji.—Roz-
prawy.—Jan Czekanowski. Byt materialny nauki.—3-ci dzień Zjazdu.
Byt materialny nauki.—Rozprawy.—Badanie naukowe Polski: Wł. Szafer:
I. Zadania nauki naszej wobec fizjograficznych właściwości Polski.—
Józef Ujejski: II. Polska jako przedmiot nauk humanistycznych.—
Rozprawy.—Ignacy Mościcki: Nauka a życie gospodarcze.—Józef
Morozewicz: Stosunek nauki do życia gospodarczego.—Rozprawy.—
4-ty dzień Zjazdu: Michał Siedlecki: Nauka polska na terenie mię-
dzynarodowym.—Wład. Konopczyński: Nauka polska na terenie
międzynarodowym.—Rozprawy.—Jan Kochanowski: Wnioski ogólne.—
Dodatki do sprawozdania ze Zjazdu: Odezwa w sprawie zwołania Zjazdu.—
Regulamin—Depesze i listy.—Lista uczestników.—Kasa im. Mianow-
skiego: Sprawozdanie z działu naukowego. Z branie ogólne pomocy, udzie-
lonych w r. 1919. Streszczenie sprawozdań rocznych (1881/2 — 1919).
Książki wydane w r. 1919 — 1920. Nagrody. Ofiary na rzecz Kasy M.
Zmiana statutu. Posiedzenia Rady Naukowej. Skład Komitetu.—Skoro-
widze, opr. Wojciech Przybyłowicz.

Tom IV, Warszawa. 1923, str. X+558

Treść: Wstęp redakcyjny.—BADANIE NAUKI: J. Rozwadowski: Nauka, religja i sztuka.—St. Ossowski: Funkcja dziejowa nauki.
A. Gawroński: Nauka narodowa czy międzynarodowa—Przyczynki do
badania życia naukowego młodzieży akademickiej: S. T.: Działalność koła
filozof. stud. Uniw. Warsz.—Student: Kartka z życia.—J. Zawidzki:
O długowieczności chemików polskich — POTRZEBY NAUKI: F. Bujak,
T. Banachiewicz, S. Pawłowski, K. Szulc, J. Czarnocki,
B. Hryniewicz, J. Grochmalicki, A. Maciesza, J. By-
stroń, E. Frankowski, J. Kostrzewski, K. Nitsch, J. Rut-
kowski, F. Bujak, Wł. Podlacha, A. Chywiński, M. Treter
St. Małkowski: Praca naukowa na prowincji.—Zbiorowo: Materiały



do badania potrzeb nauki polskiej. — Z DZIEJÓW ORGANIZACJI NAUKI
POLSKIEJ: L. Birkenmajer: *O dziejach organizacji nauki polskiej
i ofiarności na jej rzecz w Polsce.* — Wł. Smoleński: *Warunki pracy
naukowej w b. Król. Polskiem w okresie odwytu rosyjskiego za powstanie
styczniowe.* — S. J.: *Przegląd materiałów do historii Kasy im. Manowskiego
z okresu 1881—1896.* — KRONIKA: I. Wiadomości o nowopowstałych lub
zreorganizowanych pospolicich towarzystwach i instytucjach naukowych. —
II. Udział społeczeństwa polskiego w popieraniu nauki. — III. Udział rządu. —
IV. Nagrody naukowe. — V. Organizacja nauki zagranicą (Francja, Stany
Zjedn. Ameryki Półn., Komisja współpracy umysłowej między Naro-
dów). — Uzupelnienia do artykułów. — Skorowidze. — Sprostowania. — Stresz-
czenie artykułów w języku francuskim. — Treść wydanych tomów „Nauki”.

Tom V (w przygotowaniu).