

# SBORNÍK NÁRODNÍHO MUSEA V PRAZE

ACTA MUSEI NATIONALIS PRAGAE

Vol. XI. B (1955) No. 7.

Mineralogia No. 1

---

REDAKTOR ALBERT PILÁT

JIŘÍ KOUŘIMSKÝ:

PŘÍSPĚVEK K URČOVÁNÍ PYROXENŮ

ЕЩЕ ОБ ОПРЕДЕЛЕНИИ ПИРОКСЕНОВ

CONTRIBUTION TO IDENTIFICATION OF PYROXENES

PRAHA 1955

NÁKLADEM NÁRODNÍHO MUSEA V PRAZE

V GENERÁLNÍ KOMISI MATICE ČESKÉ, PRAHA II - 1700, VÁCLAVSKÉ NÁM,

J I Ř Í K O U Ř I M S K Ý :

## Príspevek k určování pyroxenů

## Еще об определении пироксенов

(Předloženo 20. IX. 1955.)

Skupina pyroxenů je jednou z hlavních skupin horninotvorných nerostů. Byla proto předmětem velmi mnohých studií přes to, že isomorfní zastupování prvků v této řadě je poměrně značně komplikované. K určování pyroxenů vypracovali různí autoři řady method, zejména optických, kterých je možno ve skupinách s menším isomorfním mísením používat poměrně bezpečně, u skupin komplikovaných pak s určitými výhradami. Určování pomocí optických konstant je možno s úspěchem použít ve výbrusech i v práškových preparátech, zejména s pomocí universálního fedorovského stolku; máme-li ovšem k dispozici dostatečně velká individua pro mikroskopický výzkum.

Potřeby praxe (tavené horniny) si však v posledních létech vynutily u nás vyhledávání nových method při určování rekrystalovaných nerostů, mnohdy velmi malých až submikroskopických rozměrů. Jednou z těchto určovacích method se stal i roentgenografický výzkum nerostných skupin, u kterých se pro značnou isomorfní míšivost, a v důsledku toho komplikovanost a nepřehlednost práškových diagramů, roentgenografických method k určování obvykle nepoužívá. Proto ani v literatuře nenajdeme dostatek potřebných údajů, týkajících se roentgenografických dat těchto nerostů, s výjimkou práce R. W. G. Wyckoffa, H. E. Merwina a H. S. Washingtona (37), kteří již v roce 1925 zhotovili práškové diagramy četných pyroxenů a na základě porovnání jednotlivých roentgenogramů rozdělili tyto nerosty do čtyř strukturálních typů (struktura diopsidová, enstatitová, wollastonitová a rhodinitová). V této práci najdeme také řadu připomínek k závislosti mezi jednotlivými isomorfními příměsmi a mřížkovými konstantami, kterou můžeme sledovat na roentgenogramech těchto nerostů. Od té doby nebyla těmto otázkám věnována v literatuře dostatečná pozornost, nepřihlížíme-li k jednotlivým pracím, řešícím dílčí otázky, a týkajících se převážně syntetických pyroxenů.

Aby bylo možno určovat pomocí roentgenu rekrystalované pyro-

xeny tavených hornin. mnohdy submikroskopických rozměrů, nebo ve vývoji zcela jiném než jej známe z přírodních výskytů, bylo zhotoveno velké množství roentgenogramů nejrůznějších přírodních pyroxenů pro srovnání. K tomuto účelu bylo použito vzorků ze sbírek mineralogického oddělení Národního musea v Praze. Další roentgenogramy byly zhotoveny z pyroxenů, připravených synteticky. Souběžně s porovnáním roentgenogramů byly stanovovány též hlavní fyzikální konstanty, případně pořizovány chemické a termické analysy, aby nerosty, použité pro srovnání, byly určeny zcela jednoznačně. Tímto způsobem bylo možno stanovit na roentgenogramech určité linie, charakteristické pro pyroxeny určitých isomorfních řad a skupin. Na základě získaných výsledků bude sestaven klíč k určování pyroxenů pomocí roentgenu, optických konstant i termických analys. Na tomto klíči pracuje již autor této práce spolu s pracovníky Výzkumného ústavu sklářského v Hradci Králové.

Tato práce obsahuje pouze několik přehledných dat, týkajících se isomorfní řady kosočtverečných pyroxenů (enstenitů) a řady diopsid — hedenbergit. Další doplňující práce budou následovat.

### I. Kosočtverečné pyroxeny (enstenity).

Kosočtverečné pyroxeny tvoří plynulou isomorfní řadu enstatit ( $Mg_2Si_2O_6$ ) — ferrosilit ( $Fe_2Si_2O_6$ ), při čemž pouze její část, enstatit až hypersthen, jsou známe z přírodních výskytů. Ostatní pak byly připraveny synteticky. Jak je známo, mění se optické i jiné fyzikální konstanty členů této isomorfní řady zcela plynule. Indexy lomu a dvojlom stoupají s přibýváním ferrosilitové složky, stejně jako specifická váha. Úhel os optických (+2 V) stoupá s přibýváním železnaté komponenty přibližně do 55 mol. %  $Fe_2Si_2O_6$ , načež opět klesá.

Porovnáním řady roentgenogramů této isomorfní řady, při kterém byly pro kontrolu determinace určovány též hlavní fyzikální vlastnosti jednotlivých zkumovaných vzorků, bylo zjištěno, že stejně, jako se plynule mění jednotlivé fyzikální konstanty členů této řady, mění se více méně plynule též vzdálenosti některých strukturních rovin, případně i intensity jejich reflexí. Poslední okolnost by bylo ovšem možno konstatovat s definitivní platností teprve po fotometrickém proměření intenzit jednotlivých roentgenogramů. Do těchto plynulých změn mohou ovšem rušivě zasahovat větší isomorfní příměsi nenáležející k této řadě, což ovšem může stejným způsobem narušit i plynulost změny optických konstant, jak uvádějí A. N. a H. Winchellové (34, 35) pro příměsi  $Al_2Al_2O_6$  a  $HALSi_2O_6$ .

Pro demonstraci změn roentgenogramů uvádím v tab. 2. (anglický text) vyčíslení roentgenogramů enstatitu, bronzitu a hypersthenu, v tab. 1. pak přehled jejich fyzikálních konstant. Pro srovnání uvádím tyto typické zástupce všech tří nerostů:

1. enstatit — Bamle (Norsko),
2. bronzit — Bohouškovice (Čechy),
3. hypersthen — Isle St. Paul (Labrador).

Enstatit a hypersthen z uvedených lokalit byly jako příklad vybrány

proto, že enstatit z Bamle má velmi nízké indexy lomu, hypersthen z Isle St. Paul pak velmi vysoké. Mohou proto být pokládány za jedny z krajních členů této isomorfní řady, vyskytujících se v přírodě. V tab. 2. uvádím též hodnoty syntetického  $Mg_2Si_2O_6$  podle tabulek J. D. Hanawalta, H. W. Rinna a L. K. Frevela (9). Protože uvedená data syntetického enstatitu nejsou dostačující ani počtem uvedených reflexí ani svou přesností, neberu je v úvahu již v tab. 3.

1. Enstatit — Bamle. Enstatit se zde vyskytuje na dvou místech, při čemž oba výskyty se od sebe prakticky neliší:

- a) Bamle — Oedegården,
- b) Bamle — Vestre Kjørrestad.

Chemické analýsy enstatitů z obou nalezišť jsou uvedeny v anglickém textu. Konstanty stanovené autorem této práce (tab. 1.), byly naměřeny na těchto vzorcích: enstatit — Oedegården — velký šedý až šedozelený krystal omezený plochami (110), (100), (023), (223); enstatit — Kjørrestad — šedozelený, kusový, místy přecházející ve světlejší kusový serpentín.

2. Bronzit — Bohouškovice. Uváděné konstanty (tab. 1.—2.) byly stanoveny na šedém až zelenošedém hrubozrnném agregátu, dobře štěpném a zřetelně lamelovaném, s hedvábným leskem, místy se slabě kovovou měnou barev. Bronzitu je v menším množství přimísen jednoklonný pyroxen, patrně diallag, makroskopicky jej pak provázejí zelená zrnka chromdiopsidu. F. Ulrich (28) na základě zjištěného Ng bohouškovického bronzitu předpokládá isomorfní příměsi přibližně 10 mol. %  $Fe_2Si_2O_6$ . Nová měření, uvedená v tab. 1., tento názor potvrzují.

3. Hypersthen — Isle St. Paul. Konstanty, uvedené v tab. 1., stanovil autor na tmavohnědém až tmavě šedém kusovém hypersthenu („paulitu“) s velmi zřetelnou dělitelností podle lamel v rovině (010). Na těchto plochách je dobře zřetelná měna barev do kovově červenohnědé. Chemická analýsa je uvedena v anglickém textu.

Vzhledem k tomu, že roentgenogramy pyroxenů, stejně jako všech složitých křemičitanů, obsahují řadu linií způsobených různými příměsmi, a že tyto linie činí roentgenogram málo přehledným, uvádím v tab. 3. srovnání hlavních charakteristických linií kosočtverečných pyroxenů. V této zjednodušené tabulce ještě lépe vynikne plynulost změn některých vzdáleností strukturních rovin.

## II. Řada diopsid — hedenbergit.

Isomorfní řada diopsid ( $CaMgSi_2O_6$ ) — hedenbergit ( $CaFeSi_2O_6$ ) představuje základní isomorfní řadu polyaugitů. Pro orientaci uvádím v anglickém textu zjednodušené schema isomorfního mísení v této skupině. Ze schematu je patrné, že k této základní plynulé řadě se druží isomorfní řady a skupiny další. Možnost isomorfního zastupování různých prvků i mimo tyto řady je zda však velmi značná, což způsobuje četné

obtíže při jejich určování. Různé příměsi mají totiž mnohdy značný vliv i na optické konstanty jednotlivých nerostů této skupiny.

Srovnáním velkého množství roentgenogramů nerostů isomorfní řady diopsid — hedenbergit i jiných nerostů ze skupiny polyaugitů byla podobně jako v řadě kosočtverečných pyroxenů zjištěna plynulá přeměna vzdáleností strukturních rovin i intenzit reflexí. Rovněž v této řadě byly pro kontrolu určení zjišťovány fyzikální, zejména optické konstanty. Plynulost změn roentgenogramů narušují různým způsobem některé příměsi, pokud jsou ve větším množství, zejména příměs složky johannsenitové ( $\text{CaMnSi}_2\text{O}_6$ ), jadeitové ( $\text{NaAlSi}_2\text{O}_6$ ), egirinové ( $\text{NaFeSi}_2\text{O}_6$ ), klinoenstenitové [ $(\text{Mg}, \text{Fe})_2\text{Si}_2\text{O}_6$ ] a složky  $\text{Al}_2\text{Al}_2\text{O}_6$  přítomné v augitech. Přítomnost těchto příměsí se ovšem projevuje též ve změnách optických konstant, jak ukazují zejména práce H. H. Hesse (12), A. N. Zavařického (38) a M. M. Věselovské (29) a jak je patrné i z grafů uváděných A. N. a H. Winchelly (34, 35).

S přibýváním složky hedenbergitové zvětšují se v isomorfní řadě diopsid — hedenbergit indexy lomu, úhel os optických, úhel zhášení i specifická váha. Ke kolísání dochází pouze u úhlu os optických diopsidů při příměsích 0—10 mol. %  $\text{CaFeSi}_2\text{O}_6$ ; v tomto rozmezí dochází patrně k přechodnému zmenšování úhlu s přibýváním hedenbergitové komponenty (Hesse — 12).

Pro demonstraci změn roentgenografických dat uvádím v tab. 5. vyčíslení roentgenogramů syntetického  $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$ , přírodního diopsidu, salitu, ferrosalitu a syntetického  $\text{CaFeSi}_2\text{O}_6$ . Z přírodních nerostů uvádím tyto charakteristické zástupce isomorfní řady diopsid — hedenbergit:

1. diopsid — Schwarzenstein-Alpe (Tyroly),
2. salit — Sala (Švédsko),
3. ferrosalit — Nordmarken (Švédsko).

1. Diopsid — Schwarzenstein-Alpe. Diopsid se zde vyskytuje v hrubě stébelnatých agregátech a sloupcovitých zelených krystalech, neprůsvitných, průsvitných až průhledných. Agregáty i krystaly bývají namnoze zonární, při čemž se střídají zelené zony různých odstínů, vzácnější jsou zony téměř bezbarvé. Optické konstanty, uvedené v tab. 4., byly stanoveny na zonárním hrubě stébelnatém agregátu ze zony sytě zelené a ze zony bezbarvé až nazelenalé. Roentgenogram byl zhotoven ze zelených partií. Chemické složení schwarzensteinského diopsidu je v důsledku zonárnosti značně kolísavé, jak je patrné z analýs, uvedených v anglickém textu.

2. Salit — Sala. Na svém původním nalezišti, podle kterého dostal jméno, se vyskytuje salit v podobě šedozelených krystalů a kusových agregátů, tvořených dobře štěpnými tabulkami, provázenými magnetitem. Na základě analýsy H. Roseho zařazuje C. F. Rammeisberg (20) salit ze Saly do skupiny diopsidů téměř bez Fe, s příměsí  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  menší než 5% a s poměrem  $\text{Fe}:\text{Mg}=1:6$ . K zhotovení roentgenogramů (tab. 5.) i k stanovení fyzikálních konstant (tab. 4.) bylo použito zmíněných již tabulkovitých agregátů.

3. Ferrosalit — Nordmarken. V Nordmarken se vyskytuje několik druhů pyroxenů isomorfní řady diopsid — hedenbergit. Tyto pyroxeny byly velmi podrobně zpracovány několika autory, zejména G. Flinkem (7) a E. A. Wülfingem (36). Flink rozdělil nordmarkenské pyroxeny podle zbarvení do pěti typů a jako šestý typ popsal další diopsid, od předešlých pěti krystalograficky odchylný. Za ferrosalit je možno pokládat Flinkův I. typ nordmarkenských pyroxenů. Flink (7), Wülfing (36), C. Doelter (3, 4) a většina dalších autorů označují tento pyroxen z Nordmarken názvem „diopsid“, F. J. Wiik (33) názvem „augit“. Pro svou tmavou barvu bývá ve sbírkách mnohdy pokládán za hedenbergit (též sbírky min. odd. Nár. musea). Podle chemických analys, které uvádím v anglickém textu, i podle optických konstant (tab. 4.), je možno podle dnes užívaného dělení isomorfní řady diopsid — hedenbergit pokládat tento pyroxen za ferrosalit.

K zhotovení roentgenogramu a k stanovení optických konstant bylo použito vzorku z bohaté druzy dokonalých zelenočerných krystalů čtvercového průřezu, omezených těmito krystalovými plochami:

1. plochy hlavní: (100), (010), (101), (001),
1. plochy podřadné: (111), (221), (012), (110), (130).

V tabulce roentgenogramů (5.) jsou uvedeny též hodnoty synthetického diopsidu a synthetického hedenbergitu.

Srovnání roentgenografických dat nerostů isomorfní řady diopsid — hedenbergit nasvědčuje tomu, že hedenbergit má větší mřížkové konstanty než diopsid, což zvláště vynikne porovnáním hlavních linií těchto pyroxenů (tab. 6.).

### Diskuse výsledků.

1. Výsledky ukazují, že jednotlivé pyroxeny uvedených řad je možno určovat též pomocí roentgenů. Při určování složitých pyroxenů s různými isomorfními příměsmi je výhodné porovnání výsledků optických i roentgenografických metod pro vzájemnou kontrolu.

2. Na základě srovnání roentgenogramů dvou isomorfních řad, ve kterých se zastupují Mg-komponenta s Fe-komponentou, je možno předpokládat, že železnaté pyroxeny mají větší mřížkové konstanty než hořečnaté. V řadě diopsid — hedenbergit jsou tyto rozdíly zvláště patrné, v řadě enstatit — hypersthen nejsou zcela přesvědčující.

3. Práce přináší několik nových konstant pyroxenů z některých nalezišť, zejména konstant optických.

Závěrem práce co nejsrdečněji děkuji Akademiků univ. prof. Dr. F. Slavíkovi za laskavé přečtení rukopisu a za cenné připomínky a vedení Výzkumného ústavu sklářského v Hradci Králové, zejména Dr. J. Voldánovi, za souhlas k publikování některých výsledků výzkumných prací, jež ústav koordinoval. Dále děkuji pracovníkům VÚS, soudruhům J. Dvořákovi, RNC. J. Čáslavskému a A. Škrabalovi za zhotovení roentgenogramů.

Пироксены принадлежат к одной из главных групп породообразующих минералов. Поэтому, несмотря на сложные изоморфные замещения одних элементов другими, свойственные этим минералам, они были предметом изучения многих исследователей. Были выработаны разнообразные методы их диагностики, особенно, оптические; последними можно пользоваться с большей уверенностью при изучении пироксенов с незначительными изоморфными примесями, у пироксенов сложного характера необходима осторожность. Определение пироксенов при помощи оптических констант может быть с успехом использовано в шлифах и порошковых препаратах при наличии достаточно крупного материала для микроскопического исследования, особенно, при использовании федоровского столика.

Нужды практики (плавленные породы) вынуждают в последнее время искать новые пути для определения рекристаллизованных минералов, размеры которых ничтожны до субмикроскопических. Одним из них стал метод рентгенометрический, специализированный для изучения групп минералов с сильной изоморфной смесимостью. В виду сложности и плохой обзорности дебаграмм в обычной практике этот метод не используется. В литературе рентгенографические данные для групп таких минералов весьма скудны. Исключением является работа В. Г. Выкова, Г. Е. Мервина и Г. С. Вашингтона (37), которые уже в 1925 г. сделали дебаграммы большого количества пироксенов, на основании сравнения которых выделили четыре структурных типа их: диопсидовый, энстатитовый, волластонитовый и родонитовый. В этой работе мы найдем ряд замечаний относительно зависимости между константами кристаллической решетки и характером изоморфных примесей, которые можно наблюдать на рентгенограммах этих минералов. В дальнейшем в литературе этим проблемам не было уделено достаточно внимания. Ряд существующих работ, в основном, освещает лишь отдельные вопросы, касающиеся синтетических пироксенов.

Для определения рекристаллизованных пироксенов в плавленных породах, часто субмикроскопических размеров, или в совершенно ином развитии чем это известно в природе, было сделано большое количество их рентгенограмм, а также разнообразных природных и искусственных пироксенов (частично из коллекций Национального музея в г. Праге). Параллельно со сравнением рентгенограмм производились определения главных физических констант, в некоторых случаях химические и термические анализы (для однозначного определения использованных минералов). Благодаря этому на рентгенограммах были установлены линии, характеризующие вполне определенные изоморфные ряды и группы пироксенов. Полученные результаты будут использованы для составления ключа определителя пироксенов на основании рентгенограмм, оптических констант и термических анализов. На этом определителе работает автор с сотрудниками Исследовательского института стекла в Градце Кралове.

Предлагаемая ниже работа содержит некоторые данные, касающиеся изоморфного ряда ромбических пироксенов (энстениты) и ряда диопсид-геденбергита. Дополнения будут следовать.

## 1. Ромбические пироксены (энстенины).

Ромбические пироксены образуют непрерывный изоморфный ряд энстатит ( $Mg_2Si_2O_6$ ) — ферросилит ( $Fe_2Si_2O_6$ ), причем только часть их энстатит — гиперстен известны в природе. Остальные члены ряда приготовлены синтетически. Известно, что оптические и иные физические свойства членов этого ряда непрерывно меняются. Удельный вес, показатели преломления и сила двойного лучепреломления увеличиваются с повышением % ферросилита. Угол оптических осей (+ 2 V) увеличивается с повышением железа приблизительно до 55 мол. %  $Fe_2Si_2O_6$ , в дальнейшем опять уменьшается.

Сравнение ряда рентгенограмм этого изоморфного ряда, при параллельном контрольном определении главных физических свойств исследованных образцов, показало не только на непрерывное изменение отдельных физических свойств минералов, но и на постепенное изменение расстояний некоторых структурных плоскостей, иногда и интенсивности их отражений. Последнее свойство нуждается в фотометрическом уточнении интенсивностей отдельных рентгенограмм. Эти непрерывные постепенные изменения могут быть нарушены в присутствии чуждых этому изоморфному ряду примесей; это касается и изменений оптических констант, на что уже указывает А. Н. и Г. Винчелл (34, 35) для примесей  $Al_2Al_2O_6$  и  $NaAlSi_2O_6$ .

Иллюстрация изменений в рентгенограммах приведена в табл. № 2 (английский текст). Для энстатита, бронзита и гиперстена. Табл. № 1 дает представление о физических константах этих минералов. Для сравнения приведены данные о типических представителях этих трех минералов:

1. энстатит — Бамле, Норвегия,
2. бронзит — Бохушковице, Чехия,
3. гиперстен — Остров св. Павла, Лабрадор.

Энстатит и гиперстен из указанных местонахождений были взяты в качестве примера, так как энстатит из Бамле обладает очень низкими показателями двупреломления, а гиперстен из Лабрадора чрезвычайно высокими. Поэтому их можно считать представителями крайних членов изоморфного ряда, существующих в природе. В таблице № 2 приводятся также значения для синтетического  $Mg_2Si_2O_6$  (по И. Д. Ганавалту, Г. В. Ринну и Л. К. Фревелью). Так данные для синтетического энстатита нельзя считать достаточно обоснованными, в табл. № 3 они не приводятся.

1. Энстатит—Бамле: здесь известны два местонахождения энстатита. В обоих случаях они находятся в одинаковых условиях.

а) Бамле—Одегарден. Автором были измерены оптические константы крупного серого — до серозеленого кристалла ограниченного (110), (100), (023), (223); энстатита из Бамле-Керрестада серозеленого, массивного, местами переходящего в светлосерозеленоватый серпентин. Химические анализы обоих энстатитов приведены в английском тексте.



2. *Бронзит—Богоушковице*. Константы этого бронзита, приведенные в табл. №1—2 были найдены на сером до зеленоватосером грубозернистом агрегате с ясной ламеллованостью и хорошо развитой спайностью, характерным шелковистым блеском, местами с металлическим отливом. В бронзите найдены небольшие примеси моноклинического пироксена, вероятно, диаллага, и зеленые зерна хромдиопсида видимые невооруженным глазом. Ф. Ульрих (28) на основании найденного из значения  $N_g$ , предполагает в богоушковском бронзите изоморфную примесь около 10 % мол.  $Fe_2Si_2O_6$ . Новые измерения, приводимые в табл. № 1, подтверждают это.

### 3. *Гиперстен—Остров св. Павла*.

Константы, приведенные в табл. № 1, были найдены автором на темносером массивном гиперстене («павлите») с ясной спайностью по грани (010). Эти грани характеризуются побежалостью до металлически краснокоричневого цвета. Химический анализ «павлита» приведен в английском тексте.

В виду того, что рентгенограммы пироксенов, как и всех сложных силикатов содержат ряд линий, обусловленных разными примесями, что делает его трудночитаемым, автор в табл. № 1 приводит для сравнения лишь главные характерные линии ромбических пироксенов. В такой упрощенной таблице гораздо нагляднее видна постепенность изменения некоторых расстояний структурных плоскостей.

## 2. *Ряд диопсид-геденбергит*.

Изоморфный ряд диопсид ( $CaMgSi_2O_6$ )-геденбергит ( $CaFeSi_2O_6$ ) является главным изоморфным рядом полиавгитов. Для ориентации в английском тексте приведена упрощенная схема изоморфного смешения в этой группе. Из схемы видно, что к этому главному изоморфному ряду присоединяются другие изоморфные ряды и группы. Возможность изоморфного замещения разных элементов и вне того же ряда здесь велика, что обуславливает многие трудности при определении их. Разные примеси иногда чувствительно влияют и на оптические константы отдельных минералов этой группы.

Сравнение большого количества рентгенограмм минералов изоморфного ряда диопсид-геденбергит и других минералов из группы полиавгитов показало, также как и в ряде ромбических пироксенов, постепенность изменения расстояний между структурными плоскостями и интенсивностями линий. Здесь также были произведены контрольные измерения для определения физических, особенно, оптических констант. Постепенность изменения рентгенограмм нарушают разными способами некоторые примеси, если они присутствуют в больших количествах, особенно, примеси иоганнзенитовой ( $CaMgSi_2O_6$ ), жадеитовой ( $CaAlSi_2O_6$ ), эгириновой ( $NaFeSi_2O_6$ ), клиноэнстениновой [ $(Mg, Fe)_2Si_2O_6$ ] компонент, а также присутствующие  $Al_2Al_2O_6$  в авгитах. Эти примеси влияют на изменение оптических констант, на что уже указывали Г. Г. Гесс (12), А. Н. Зава-

рицкий (38), М. М. Веселовский (29) а также графики А. Н. и Г. Винчеля (34, 35).

Увеличение геденбергитовой компоненты в изоморфном ряду диопсид-геденбергит сопровождается повышением двупреломления, угла оптических осей, угла погашения и удельного веса. При примесях 0—10 мол. %  $\text{CaFeSi}_2\text{O}_6$  изменяются только углы оптических осей. В этих пределах, в связи с увеличением геденбергитовой компоненты, уменьшается угол оптических осей (Гесс — 12).

Изменения рентгенометрических данных иллюстрирует табл. № 5, в которой приведены вычисленные значения рентгенограмм для синтетического  $\text{SaMgSi}_2\text{O}_6$  природного диопсида, салита, ферросалита и синтетического  $\text{CaFeSi}_2\text{O}_6$ . Из минералов существующих в природе приведены следующие типичные представители ряда допсид-геденбергит:

1. диопсид — Шварценштайн, Альпы, Тироль,
2. салит — Сала, Швеция,
3. ферросалит — Нордмаркен, Швеция.

#### 1. Диопсид — Шварценштайн, Альпы.

Диопсид встречается здесь в виде столбчатых и грубостебельчатых агрегатов, непросвечивающих, полупросвечивающих до прозрачных. Агрегаты и кристаллы бывают зонарны, с перемежающимися зонами различных зеленых оттенков, реже встречаются зоны почти бесцветные. В табл. № 4 приведены оптические константы, найденные в грубостебельчатом зонарном агрегате, с перемежающимися зонами интенсивно зеленого цвета и почти бесцветными до зеленоватых. Рентгенограмма была получена из зеленоокрашенных участков минерала. Химический состав шварценштайнского диопсида непостоянен, изменения его состава зависят от зонарности кристаллов, что иллюстрирует таблица (см. английский текст).

#### 2. Салит — Сала, Швеция.

Салит встречается здесь в виде серозеленоватых кристаллов и массивных агрегатов, образованных табличками с хорошей спайностью; сопровождается магнетитом. На основании химического анализа Г. Розе К. Ф. Раммельсберг (20) относит салит из Салы к группе безжелезистых диопсидов, в которых содержание  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  не превышает 5% а отношение  $\text{Fe}:\text{Mg} = 1:6$ . Физические константы (табл. № 4) и рентгенограмма (табл. № 5) были получены из таблитчатых агрегатов салита.

#### 3. Ферросалит — Нордмаркен, Швеция.

В Нордмаркене найдено несколько разновидностей пироксенов из группы диопсид-геденбергит. Подробные описания их приводит ряд авторов, особенно, Г. Флинк (7) и А. Е. Вюльфинг (36). Флинк выделил среди нордмаркенских пироксенов пять типов по их окраске и тип шестой, отличный от предыдущих по своему кристаллографическому облику. Первый Флинков тип можно считать ферросалитом. Флинк (7), Вюльфинг (36), К. Делтер (3, 4) и большинство других

исследователей называют этот пироксен «диопсидом», В. И. Вииг (3) «авгитом». Благодаря своей темной окраске в многих коллекциях считается геденбергитом. Химические анализы (см. английский текст) и оптические константы говорят (см. табл. № 4), что перед нами ферросалит, в современном его понимании.

Рентгенограмма и оптические константы были получены из друзы богатой зелеными, хорошо ограниченными кристаллами, на которых были найдены следующие грани:

1. главные грани — (100), (010), (101) и (001),
2. подчиненные грани — (111), (221), (012), (110) и (130).

В таблице значений рентгенограмм (табл. № 5) приведены так же значения синтетического диопсида и синтетического геденбергита.

Сравнение рентгенографических данных минералов изоморфного ряда диопсид-геденбергит свидетельствует о том, что у геденбергита константы кристаллической решетки крупнее, чем у диопсида, что особенно ясно видно при сравнении главных линий этих минералов (см. табл. № 6).

#### *Заключение.*

1. Результаты этой работы указывают на то, что отдельные пироксены, приведенных выше рядов, можно определять и при помощи рентгенограмм. При определении сложных пироксенов с разными изоморфными примесями выгодно производить сравнение данных, полученных оптическими и рентгенографическими методами (для взаимного контроля).

2. На основании сравнения рентгенограмм двух изоморфных рядов, в которых представлены Mg и Fe-компоненты, можно предполагать, что у компонентов с железом высшие константы решетки, выше чем магниевые. В ряде диопсид-геденбергит эти различия особенно велики; в ряде энстатит-гиперстен не являются совсем убедительными.

3. Работа приводит несколько новых констант пироксенов из некоторых месторождений, особенно, констант оптических.

*Перевел инж. А. А. Малахов.*

## **Contribution to Identification of Pyroxenes**

The group of pyroxenes is one of the main groups of rock minerals. For that reason it was the object of very much studies, although the isomorphous substitution of elements in this series is relatively very complicated. For determination of pyroxenes many authors formed a great number of methods, especially optical, able to be used in groups with a lower isomorphous substitution relatively surely, in complicated groups with certain reservations. The identification by means of optical constants is able to be used successfully in sections and in powder-preparates especially by means of the universal stage, if we have at our

disposal sufficiently great individual crystals for microscopical research.

The wants of praxis, in our country during the last years (molten rocks), however, called for a discover of new methods for identification of recrystallized minerals, often very small, or even for the roentgenographical research of a mineral group for which there are used because of a great isomorphous substitution and therefore of great complication and an unclerness of powder photographs, usually not roentgenographical methods for identification. Therefore we find not even in literature enough necessary papers, referring to roentgenographical data of these minerals, excepting the papers by W. A. Wyckoff, H. E. Merwin and H. S. Washington (37), who produced already in 1925 powder X-ray photographs of many pyroxenes and by means of comparison of different roentgenograms divided these minerals into fore structural types (diopside, enstatite, wollastonite and rhodonite structure). In this paper we find also several menions to the dependence of different isomorphous substitutions on cell-constants, which can be traced in X-ray photographs of these minerals. There was paid little attention to these questions in literature except several papers dealing with partial questions and relating predominantly to synthetical pyroxenes.

In order to identify by means of roentgen recrystallized pyroxenes of molten rocks, often of submicroscopic size, or in quite different development than is known from natural occurrence, a great number of X-ray photographs of the most different natural pyroxenes for comparison was elaborated. For this purpose there were used specimens from the collections of the mineralogical department of the National museum of Prague. Other X-ray photographs were elaborated from pyroxenes prepared synthetically. Parallely with comparison of crystal structures also the main physical constants were determined or chemical and thermal analyses made, in order to determine the minerals, used for comparison, quite faultlessly. In this way it was possible to determine in X-ray photographs certain lines, characteristic for pyroxenes of certain isomorphous series and groups. By means of these results will be made a key to identification of pyroxenes by roentgen, optical constants and thermal analyses. The key is in preparation by the author of this paper in collaboration with the members of the Glas Research Institute at Hradec Králové.

This paper included only several data relating to isomorphous series of rhombic pyroxenes (enstenites) and the series of diopside — hedenbergite. Next complementary papers will follow.

In order to enable an easy comparison of roentgenograms, almost all photographs are made under the same conditions with apparatus Hilger-micro in the Glass Research Institute in Hradec Králové;  $\emptyset$  of the camera 63,66 mm,  $\text{CoK}\alpha_{1,2}$  radiation,  $\lambda=1,787$  kX. Filtered through Fe. 25 kV, 40 mA, exposition 150 min. Used film Agfa-Laue.

The optical constants were determined for sodium light with partial use of the universal stage. The indices of refraction were determined refractometrically by means of immersion oils with accuracy  $\pm 0,001$  —

0,005, cNg with accuracy  $\pm 10'$ . The densities were determined pycnometrically with accuracy  $\pm 0,002$ .

For the sake of clearness I do not mention the microscopical observation (for example pleochroism) because these facts are known. On the contrary I quote, where necessary, the macroscopical description of used specimens in order to prevent mistakes in cause of comparison.

### I. Rhombic pyroxenes (enstenites)\*)

The rhombic pyroxenes form a continuous isomorphous series of enstatite ( $Mg_2Si_2O_6$ ) — ferrosilite ( $Fe_2Si_2O_6$ ), but only a part of them, enstatite to hypersthene, are known from natural occurrence. The rest of them has been prepared synthetically. As known, optical and other physical constants of the members of the isomorphous series change quite continuously. The refraction indices and the birefringences increase with the increasing ferrosilite component, just as the density. The optical axial angle (+2V) increases with increasing ferrous component approximately to 55 mol. %  $Fe_2Si_2O_6$ , whereupon it again decreases.

Through comparison of a number of X-ray photographs of the isomorphous series, at which also the main physical properties of the used specimens had been determined for control, it was ascertained, that in the same way, as continuously changed the different physical constants of members of this series, the distances of some lattice, eventually the intensities of their reflexes changed more or less too. The last features could be determined with definitive validity only by means of a photometrical measurement of intensities of different X-ray photographs. The continuous changes can be of course troubled by larger isomorphous substitutions belonging not to the series in the same way as these troubled the continuity of the change of optical constants, as A. N. and H. Winchell (34, 35) quote for admixture  $Al_2Al_2O_6$  and  $HAlSi_2O_6$ .

In table 2 I demonstrate the changes of the X-ray photographs the data of X-ray photographs of enstatite, bronzite and hypersthene, in table 1 their physical constants. I introduce for comparison the following typical representants of the three minerals:

1. enstatite — Bamle (Norge),
2. bronzite — Bohouškovice (Bohemia),
3. hypersthene — Isle St. Paul (Labrador).

Enstatite and hypersthene from the mentioned localities were selected for the very low refraction indices of the enstatite from Bamle and the very high one of the hypersthene from Isle St. Paul. They may be taken for extreme members of this isomorphous series, occurring in nature.

Because the X-ray photographs of these both minerals are known from the literature (Hanawalt — tables, 6) and satisfy, I mention the values of quoted tables. In table 2 I mention also the values of the synthetic  $Mg_2Si_2O_6$  according to the tables Hanawalt — Rinn — Frevel (9). As the quoted data of the synthetical enstatite are not satisfactory,

\*) In this paper I do not take in consideration the possibility mentioned by several authors, that rhombic pyroxenes are in fact pseudorhombic in consequence of the polysynthetic twin of clinoensthene crystals.

neither by the quantity of mentioned lines nor by their accuracy, I did not consider it in table 3.

1. Enstatite — Bamle (southwest of Oslo, southern coast of Norge): Enstatite occurs in two places there and both occurrences do not differ:

- a) Bamle — Oedegården (fig. 1),
- b) Bamle — Vestre Kjørrestad (fig. 2).

The chemical analyses of enstatites of both localities according to literature:

	I.	II.	III.	IV.
SiO <sub>2</sub>	57,86	57,62	58,00	57,67
MgO	37,67	34,72	36,91	37,91
FeO	1,40	1,96	3,16	2,89
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,67	1,48	1,35	1,21
CaO	0,10	0,12	—	—
H <sub>2</sub> O	0,54	4,38	0,80	1,67
	99,24	100,28	100,22	101,35

The authors of the analyses are:

- I. Oedergården: K. Johansson (14),
- II.—III. Vestre Kjørrestad: W. C. Brögger and G. vom Rath (2),
- IV. Vestre Kjørrestad: C. Krafft (Brögger — vom Rath, 2).

The constants, quoted by the author of the paper (table 1) were measured on the material from the collection of the mineralogical department of the National museum of Prague: Enstatite — Oedegården (inv. no. 22.065): great grey to grey-green crystal with the forms (110), (100), (023), (223); enstatite — Vestre Kjørrestad (inv. no. 22.059): grey-green, massive, here and there changing into lighter massive serpentine.

2. Bronzite — Bohouškovice (northwest of Křemže, South Bohemia). The quoted constants (table 1—2) were determined at a grey to green-brown aggregate of large grains, well cleavable and clearly lamellar, with a silk luster, here and there with a slightly metallic hue. Bronzite is mixed with a smaller quantity of monoclinic pyroxene, probably diallage (according to microscopical observation), macroscopically it is accompanied by green grains of chromdiopside (determined by F. Ulrich — 28). Ulrich supposes on the base of the determined Ng of the Bohouškovice bronzite an isomorphous admixture of approximately 10 mol. % Fe<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>6</sub>. New measurements introduced in table 1, confirm this opinion.

3. Hypersthene — Isle St. Paul (coast of Labrador). The constants given in table 1 were determined by the author on a dark green massive hypersthene ("paulite") with distinct parting by lamellae in the plane (010). On these planes the change of colours to metal reddish brown is distinct: According to the data of Hanawalt tables (6) the hypersthene of Isle St. Paul has the following chemical composition:

SiO <sub>2</sub>	52,19
MgO	20,06
FeO	14,25
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6,23
CaO	3,26
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,21
TiO <sub>2</sub>	0,50
MnO	0,32
	98,02

Table 1.

Mineral	Ng'	Nm	Np	Ng— Np	G	Author
Enstatite: synthetical	1,6585	1,552	1,650	0,0085	3,15	Winchell (34, 35) (Winchell 35)
Oedegården	1,661				3,165	Kouřimský
Kjörrestad	1,664		1,655	0,009	3,153 3,176	Brögger-Rath (2) Kouřimský
Bronzite: Bohouškovice	1,670 1,677	1,671	1,666	0,011		Ulrich (28) Kouřimský
Hypersthene: Isle St. Paul	1,705 1,707 1,7270	1,702 1,699	1,692 1,695 1,7158	0,013 0,012 0,0112	3,392 3,396	Lévy-Lacroix (16) Damour (41) Kouřimský J. E. Wolff (Rosenbusch, 21)
synthetical:	1,79	1,785	1,77	0,02	3,9	Winchell (34, 35)

Considering that X-ray photographs of pyroxenes like these of all complicated silicates contain a number of lines, making the X-ray photographs unclear, I quote in table 3 a comparison of the main characteristic lines of rhombic pyroxenes. In this simplified table the changes of some distances of the structural planes are even more evident.

## II. Series diopside — hedenbergite.

The isomorphous series of diopside (CaMgSi<sub>2</sub>O<sub>6</sub>) — hedenbergite (CaFeSi<sub>2</sub>O<sub>6</sub>) represents the main isomorphous series of the group of polyaugites (according to A. N. and H. Winchell [34, 35]). I quote a simplified scheme of isomorphous mixing in this group for orientation.

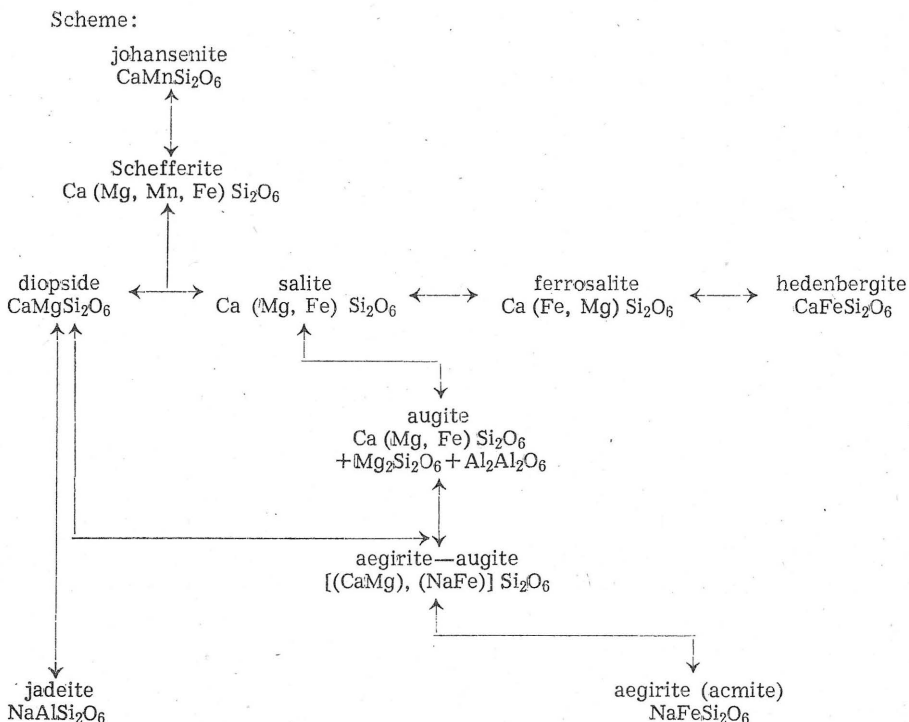
Table 2.

	Mg <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>6</sub>		Enstatite		Bronzite			Hypersthene	
	I.	d.	I.	d.	I.	Θ	d.	I.	d.
1.			3	4,405	2	13,05	4,39		
2.			5	3,298	3	17,45	3,30	3	3,36
3.	10	3,16	10	3,158	10	18,20	3,17	10	3,20
4.			5	2,945	3	19,55	2,95	2	2,98
5.	3	2,91	7	2,864	8	20,15	2,87	8	2,890
6.	2	2,72	5	2,701	4	21,40	2,71	3	2,725
7.			1	?	0,5	22,45	2,585		
8.	3	2,55	6	2,526	5	22,90	2,537	5	2,550
9.	2	2,30	6	2,472	6	23,40	2,485	5	2,482
10.			2	?	2	23,80	2,445		
11.			2	?	1	25,10	2,324	1	2,233
12.			6	2,105	5	27,85	2,108	5	2,112
13.			2	2,054	2	28,85	2,039	2	2,026
14.			1	?	0,5	29,35	2,007		
15.	5	1,97	2	1,974	1	29,85	1,976		
16.			4	1,955	4	30,20	1,955	4	1,957
17.			1	?	0,5	31,55	1,877		
18.			1	?	0,5	32,40	1,838		
19.			3	1,782	3	33,45	1,780	4	1,784
20.			2	1,731	1	34,55	1,729		
21.	1	1,71	2	1,699	1	35,30	1,696		
22.			1	?	0,5	36,75	1,636		
23.	1	1,64	5	1,610	5	37,55	1,605	6	1,599
24.			4	1,520	4	40,05	1,517	5	1,527
25.	4	1,490	6	1,483	7	41,15	1,482	8	1,486
26.			3	1,467	2	41,70	1,466		
27.			2	1,417	2	43,45	1,416	2	1,421?
28.			5	1,391	5	44,40	1,390	6	1,389
29.			2	1,357	1	45,70	1,357		
30.			2	1,336	2	46,55	1,337	3	1,342
31.	3	1,312	3	1,305	4	48,00	1,304	5	1,304

Table 3.

Enstatite		Bronzite		Hypersthene	
I.	d.	I.	d.	I.	d.
10	3,16	10	3,17	10	3,20
5	2,945	3	2,95	2	2,98
7	2,86	8	2,87	8	2,89
5	2,70	4	2,71	3	1,73
6	2,526	5	2,537	5	2,550
6	2,105	5	2,108	5	2,112
5	1,610	5	1,605	6	1,599
6	1,483	7	1,482	8	1,486
5	1,391	5	1,390	6	1,389
3	1,305	4	1,304	5	1,304





From the scheme it is evident, that the basic continuous series is followed by other isomorphous series and groups. The possibility of isomorphous substitution of different elements, even out of the series, is very remarkable, in consequence of which there are many troubles with their determination. Different admixtures influence namely very often also optical constants of different minerals of the group.

Through comparison of a great number of roentgenograms of minerals of the isomorphous diopside — hedenbergite series and of other minerals of the palygornites group, similarly like in the series of rhombic pyroxenes, a continuous change of distances of structural planes and of the intensity of reflexes has been determined. In this series the physical, mainly the optical constants were determined for control too. The continuity of changes of the X-ray photographs is in different manner by some admixtures when they are in greater quantity, especially the admixtures of the johanssenite- (CaMnSi<sub>2</sub>O<sub>6</sub>), jadeite- (NaAlSi<sub>2</sub>O<sub>6</sub>), aegirite- (NaFeSi<sub>2</sub>O<sub>6</sub>), klinkenstoneite- [(Mg, Fe)<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>6</sub>] constituent and that of Al<sub>2</sub>Al<sub>2</sub>O<sub>6</sub>, present in augites. The presence of these admixtures manifest itself, as already said, in changes of the optical constants, as proved by H. H. Hess (12), A. N. Zavarickij (38) and M. M. Veselovskaja (29) and the graphs by A. N. and H. Winchell (34, 35).

With the increasing hedenbergite constituent the refraction indices of these isomorphous series diopside — hedenbergite, the angle of optical axes, the extinction angles and the specific weight increase. Only the

angle of diopside optical axes in case of admixture 0 — 10 mol. %  $\text{CaFeSi}_2\text{O}_6$  decreases temporarily with the increasing hedenbergite component (H. H. Hess — 12).

For demonstration of the changes of roentgenographic data I give in table 5 the valuation of X-ray photographs of the synthetic  $\text{CaMg}_2\text{O}_6$ , the natural diopside, salite, ferrosalite and synthetic  $\text{CaFeSi}_2\text{O}_6$ . From natural minerals I mention the following characteristic representants of the diopside — hedenbergite isomorphous series:

1. diopside — Schwarzenstein-Alpe (Tirol),
2. salite — Sala (Sweden),
3. ferrosalite — Nordmarken (Sweden).

1. Diopside — Schwarzenstein-Alpe (Zillertal, east of Innsbruck, Northern Tirol — fig. 3). Diopside occurs in columnar aggregates and green columnar crystals nontranslucent, translucent or even transparent. The aggregates and crystals are often zonal, while green zones of different shade alternate, almost colourless zones are rarer. In table 4 the optical constants were determined on a zonal columnar aggregate from a deep green zone and from a colourless to greenish zone (Mineralogical department of the National museum, inv. No. 22.131). The X-ray diagram was made from green parts. The chemical composition of the Schwarzenstein diopside is in consequence of the zonarity very varying, as evident from mentioned analyses.

	I.	II.	III.	IV.
$\text{SiO}_2$	54,23	48,47	54,85	54,16
$\text{CaO}$	24,69	21,96	24,99	24,74
$\text{MgO}$	16,38	15,59	16,02	18,22
$\text{FeO}$	3,09	4,30	3,29	2,50
$\text{Al}_2\text{O}_3$	1,22	8,22	0,25	0,20
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	0,89	—	0,15	—
$\text{Mn}_2\text{O}_3$	—	—	—	0,18
$\text{H}_2\text{O}$	—	0,73	—	—
	100,50	99,27	99,55	100,00

The authors of the analyses and their material:

- I. C. Doelter (3, 4): dark-green crystals. Counted in constituents:
- 87 %  $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$
  - 10 %  $\text{CaFeSi}_2\text{O}_6$
  - 2 %  $\text{MgAl}_2\text{SiO}_8$
  - 1 %  $\text{MgFe}_2\text{SiO}_6$ .

$cNg = 36^\circ 50'$ ,  $G = 3,192$ .

- II. Wackenroder (30): dirty green diopside,  $G = 3,395$ .

- III. C. Doelter (3, 4): light-coloured crystals. Counted in constituents:

- 90 %  $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$
- 10 %  $\text{CaFeSi}_2\text{O}_6$ .

$cNg = 36^\circ 15'$ .

IV. Wackenroder (30): light-coloured crystals.

2. Salite — Sala (northwest of Stockholm, South Sweden — fig. 4.): On its original place of occurrence, which has given its name, salite occurs in the form of greyish-green crystals and massive aggregates, formed by well cleavable plates, accompanied by magnetite. Salite from Sala was analysed by H. Rose. His analysis was cited by C. F. Rammelsberg (20). Basing on the analysis, which has not been at the author's disposal, Rammelsberg classifies salite of Sala into the group of diopside almost without Fe, with admixture of  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  smaller than 5 percent and with the relation  $\text{Fe} : \text{Mg} = 1 : 6$ . Further data about salite from its original occurrence were not obtained by the author. The X-ray photographs and the physical constants were determined on tabular aggregates (Min. dep. of the National museum, inv. No. 22 147).

3. Ferrosalite — Nordmarken (near Philipstad, Werm-land — Sweden): At Nordmarken several of pyroxene species of the isomorphous series diopside — hedenbergite occur. There pyroxene was described very particularly by several authors, especially by G. Flink (7) and E. A. Wülfing (36). Flink divided the Nordmarken pyroxene into five types according to the colouring:

- I. dark green to greenish black,
- II. dark green,
- III. deep green,
- IV. yellow-green,
- V. white,

and at the end of his paper he described as an independent type grey-green crystals of diopside, crystallographically different from the five types mentioned above. The I. type of Nordmarken pyroxenes may be taken for ferrosalite (fig. 5.). For that reason I shall not mention the rest of types. G. Flink (7), E. A. Wülfing, C. Doelter (3, 4) and the majority of other authors determine this pyroxene, as well as other types of pyroxene at that place as "diopside"; F. J. Wiik (33) calls it "augite". Sometimes it is taken for hedenbergite in collections because of his dark colour. According to chemical analyses, further mentioned, and optical constants it is possible to take, according to the contemporaneous division of the isomorphous series diopside — hedenbergite, this pyroxene for ferrosalite, even if some chemical analyses (II.—III.) correspond already to salite.

	I.	II.	III.
$\text{SiO}_2$	50,91	51,05	52,17
$\text{CaO}$	22,93	22,44	22,00
$\text{FeO}$	17,34	17,31	16,12
$\text{MgO}$	7,21	5,92	7,06
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	0,76	0,95	—
$\text{Al}_2\text{O}_3$	0,17	1,10	0,42
$\text{MnO}$	0,21	0,60	1,61
	99,53	99,37	99,38

The authors of the analysis are:

- I. C. Doelter (3),  
 II. H. Sjögren (25),  
 III. Funk (8).

The mentioned results of analyses considerably disagree with the fact which is especially evident in the case of calculation of the different pyroxene components in mol. %.

	Anal. I.	Anal. II.
CaMgSi <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	41 mol. %	64 mol. %
CaFeSi <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	57 mol. %	32 mol. %
Mg(Al, Fe) <sub>2</sub> SiO <sub>6</sub>	2 mol. %	4 mol. %

The analysis made by C. Doelter can be taken for fully authoritative.

For preparation of the X-ray diagram and for determination of optical constants there were used specimens from a crystal cavity of perfect green-black crystals with a square section, bordered by following crystal planes (Min. dep. of the Nat. mus., inv. No. 22.185):

1. main planes: (110), (010), (101), (001),
2. secondary planes: (111), (221), (012), (110), (130).

Table 4.

Mineral	Ng	Nm	Np	Ng— Np	cNg	G	Author
Diopside synthetical	1,694	1,6715	1,664	0,030	38°30'	2,275	Barth (1)
Schwarzenstein dark	1,6991	1,6768	1,6701	0,0290	36°50'	3,192	Zimanyi (40)
	1,701	1,67946	1,672	0,029	38°28'	3,276	Doelter (4)
					39°04'		Kouřimský
	light					36°15'	3,395
1,702					40°18'		Wackenroder (20)
Salite-Sala					38°38'		Doelter (3)
						3,380	Schmidt (24)
Ferrosalite Nordmarken		1,69359			42°30'		Kouřimský
					44°38 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> '		Flink (7)
	1,7271	1,7057	1,6986	0,0285	44°40'		Zepharovich (39)
	1,735	1,707	1,702	0,033	44°42'	3,369	Wülfing (36)
		1,71625			45°07'		Kouřimský
				45°21'		Schmidt (24)	
				45°45'		Wiik (35)	
				46°45'	3,311	Doelter (3, 4)	
					3,367	Sjögren (25)	

Table 5.

	CaMgSi <sub>2</sub> O <sub>6</sub>			diopside			salite			ferrosalite			CaFeSi <sub>2</sub> O <sub>6</sub>		
	I.	Θ.	d.	I.	Θ.	d.	I.	Θ.	d.	I.	Θ.	d.	I.	Θ.	d.
1.				0,5	9,55	5,98	0,5	9,60	5,94	0,5	7°54'	6,51			
2.				0,5	13,00	4,40	0,5	13,10	4,37	0,5	11°35'	4,45			
3.				0,5	15,70	5,66	0,5	15,95	5,60	0,5	14°23'	3,60			
4.				0,5	17,30	5,33	0,5	17,35	5,32	0,5	15°40'	5,31			
5.	2	18,25	3,16	3	18,20	3,17	3	18,10	3,18	3	16°05'	3,23	4	17,50	3,29
6.	10	19,70	2,93	10	19,70	2,93	10	19,55	2,95	10	17°34'	2,96	10	19,65	2,94
7.				0,5	20,25	2,86	1	20,25	2,86	3	18°11'	2,86	4	20,25	2,86
8.				1	22,80	2,547	1	22,85	2,542	4	20°30'	2,554			
9.	10	23,25	2,495	8	23,30	2,495	8	23,25	2,500	7	20°53'	2,508	6	23,15	2,510
10.	2	25,65	2,277	2	25,65	2,277	2	25,60	2,281	2	22°51'	2,307			
11.	1	26,70	2,189	1	26,75	2,189	2	26,70	2,193	2	23°50'	2,213	4	26,45	2,216
12.							0,5	27,35	2,144	0,5	25°13'	2,100			
13.	3	27,85	2,104	3	27,80	2,104	3	27,70	2,111	3	24°31'	2,156	6	27,95	2,104
14.							0,5	28,10	2,09	1	24°55'	2,123			
15.							1	28,95	2,033	2	26°02'	2,038			
16.	3	29,30	2,007	3	29,20	2,007	3	29,35	2,007	3	26°31'	2,003	1	29,10	2,023
17.				0,5	30,20	1,955	0,5	30,15	1,958	0,5	27°09'	1,964			
18.	2	32,75	1,805	1	32,70	1,810	1	32,55	1,822	1	29°13'	1,830	1	33,00	1,805
19.	3	34,35	1,738	3	34,30	1,740	3	34,20	1,745	3	30°43'	1,751			
20.							0,5	36,00	1,666	0,5	32°22'	1,671			
21.	0,5	36,25	1,648	0,5	36,25	1,652	0,5	36,40	1,648	1	32°55'	1,647	2	36,20	1,658
22.	8	37,40	1,611	8	37,35	1,613	6	37,25	1,617	5	33°35'	1,617	4	37,20	1,618
23.	0,5	39,25	1,544	0,5	39,25	1,544	0,5	39,25	1,544	0,5	35°16'	1,549	2	39,70	1,529
24.	0,5	40,20	1,512	1	40,15	1,514	2	39,95	1,521	2	35°56'	1,524	1	41,10	1,486
25.	1	40,80	1,492	1	40,95	1,492	1	40,65	1,495	1	36°42'	1,496	6	42,95	1,429
26.	5	43,65	1,410	5	43,45	1,416	5	43,25	1,421	5	38°52'	1,425			
27.				1	44,05	1,399	1	43,85	1,405	0,5	39°30'	1,406	2	45,20	1,370
28.							0,5	45,10	1,372				2	46,85	1,330
29.	4	47,30	1,320	4	47,25	1,321	3	47,15	1,323	2	42°22'	1,327			
30.	4	49,30	1,277	4	49,25	1,278	3	49,20	1,279	2	44°20'	1,280			
31.	1	50,20	1,259	1	50,20	1,259	1	50,20	1,259	1	45°14'	1,260			
32.	2	51,15	1,240	2	51,10	1,241	2	50,85	1,246	1	45°43'	1,250			
33.	0,5	55,45	1,168	0,5	55,30	1,170	0,5	55,25	1,172				1	54,70	1,179
34.	1	57,10	1,141	1	57,00	1,144	1	56,85	1,145	1	51°38'	1,141	1	56,70	1,149

In the table of X-ray photographs (5) the values of synthetic diopside and synthetic hedenbergite are quoted too. Both minerals were prepared in the laboratories of the Glass Research Institute at Hradec Králové. Their devitrification has been carried out experimentally during different long times. The best results were reached after a 4 hours' devitrification.

A comparison of roentgenographic data of minerals of the isomorphous series diopside — hedenbergite support the theory, that hedenbergite has greater lattice constants than diopside, which is especially evident after comparison of the main lines of these pyroxenes.

Table 6.

CaMgSi <sub>2</sub> O <sub>6</sub>		diopside		salite		ferrosalite		CaFeSi <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	
I.	d.	I.	d.	I.	d.	I.	d.	I.	d.
2	3,16	3	3,17	3	3,18	3	3,23	4	3,29
10	2,93	10	2,93	10	2,95	10	2,96	10	2,94 ?
		0,5	2,86	1	2,86	3	2,86	4	2,86
10	2,495	8	2,495	8	2,500	7	2,508	6	2,510
1	2,189	1	2,189	2	2,193	2	2,213	4	2,216
3	1,738	3	1,740	3	1,745	3	1,751		
8	1,611	8	1,613	6	1,617	5	1,617	4	1,618
5	1,410	5	1,416	5	1,421	5	1,425	6	1,429
4	1,320	4	1,321	3	1,323	2	1,327	2	1,330
4	1,277	4	1,278	3	1,279	2	1,280		

### Discussion of results.

1. The results prove that the different pyroxenes of the mentioned series can be determined also by means of roentgen. At this determination of complicated pyroxenes with different isomorphous admixtures the comparison of optical results and roentgenographical methods for control is advantageous.

2. On the principle of comparison of roentgenograms of two isomorphous series, in which the Mg component varies with the Fe component, it is possible to suppose, that ferrous pyroxenes have higher lattice constants than these of magnesia. The differences are especially evident in the diopside — hedenbergite series, but in the series enstatite — hypersthene they are not quite convincing.

3. The paper mentions several new constants of pyroxenes from some deposits, especially optical constants.

## LITERATURE

Note: Papers marked with star were not at the author's disposal. They are mentioned only according to quotations.

1. Barth T. F. W.: Pyroxen von Hiva Oa, Marquesas-Inseln und die Formel titanhaltiger Augite. Neues Jahrb. f. Min. etc., Beil. Bd. 64A, 1931, p. 217—224.
2. Brögger W. C.—Rath G. vom: Ueber grosse Enstatit-Krystalle. Zschr. f. Krist. u. Mineralogie Bd. 1, 1877, p. 18—30. Ref.: Berl. Akad. 26, p. 549.
3. Doelter C.: Ueber Diopsid. Tschermaks Mitt. 1, 1878, p. 49—70. Ref.: Zschr. f. Krist. u. Mineralogie Bd. 4, p. 8.
4. Doelter C.: Ueber die Abhängigkeit der optischen Eigenschaften von der chemischen Zusammensetzung beim Pyroxen. Neues Jahrb. f. Min. etc., Bd. 1, 1885, p. 43—68.
5. Eckerman H.: The Rocks and Contact Minerals of the Mansjö Mountain. Geologiska Föreningens Förhandlingar 44, p. 203—410, Stockholm 1922.
6. First supplementary card file of X-ray diffraction data — 1944 (Hanawalt tables).
7. Flink G.: Studien über schwedische Pyroxenminerale. Z. f. Krist. u. Mineralogie Bd. 11, 1886, p. 449—530.
- \*8. Funk: Berzelius Jahresbericht über die Fortschritte der physischen Wissenschaften, Bd. 25, 1844, p. 362. Oefversigt af Vetenskaps-Academiens Förhandlingar, 92, Stockholm 1844.
9. Hanawalt J. D.—Rinn H. W.—Frevel L. K.: Chemical Analysis by X-Ray Diffraction. Industrial and engineering Chemistry, analytical edition, Vol. 10, No. 9, p. 457—512. 1938.
10. Hejtman B.—Konta J.: Horninotvorné minerály. Praha 1953.
11. Herwig F.: Einiges über die optische Orientierung der Mineralien der Pyroxen-Amphibolgruppe. Programm des Gymn. Saarbrücken 1884. Ref.: Z. f. Krist. u. Mineralogie Bd. 11, 1886, p. 67—68.
12. Hess H. H.: Chemical composition and optical properties of common clinopyroxenes. American Mineralogist, Vol. 34, 1949, p. 621—666.
13. Hintze C.: Handbuch der Mineralogie II. — 2. Leipzig 1894.
14. Johansson K.: Studien über Enstatit und dessen Umwandlungsproducte. Bihang till Vetenskaps-Academiens Handl. 17 (II), Nr. 4. Stockholm. Ref.: Z. f. Krist. u. Miner. Bd. 23, 1894, p. 152—155.
15. Kratochvíl J.: Topografická mineralogie Čech I. Praha 1937.
16. Michel Lévy A.—Lacroix A.: Les Minéraux des roches. Paris 1888.
17. Němec F.: Klíč k určování minerálů v technických hmotách. Praha 1955.
18. Ostrovskij I. A.: Optičeskije svojstva sintetičeskich egirin-diopsidov. Izd. Akad. Nauk SSSR, 1946. Ref. Mineral. Abstracts, Vol. 10, 1949, p. 464.
19. Poldervaart A.: The relationship of orthopyroxene to pigeonite. Miner. Magazine, Vol. 28, 1947, p. 164—172.
20. Rammeisberg C. F.: Handbuch der Mineralchemie. Leipzig 1875—1886.
21. Rosenbusch H.—Mügge O.: Mikroskopische Physiographie der petrographisch wichtigen Mineralien I. — 2. Stuttgart 1927.
22. Sabine P. A.: The optical data and composition of the acmitic pyroxenes. Miner. Magazine, Vol. 29, 1950, p. 113.
23. Segnit E. R.: Some data on synthetic aluminous and other pyroxenes. Miner. Magazine, Vol. 30, 1953, p. 218—226.
24. Schmidt A.: Daten zur genaueren Kenntniss einiger Mineralien der Pyroxen-gruppe. Z. f. Krist. u. Miner. Bd. 21, 1893, p. 1.—55.
25. Sjögren H.: Krystallographische Studien. Geologiska Föreningens Förhandlingar 4, p. 364—381, Stockholm. Ref.: Z. f. Krist. u. Miner. Bd. 4, p. 527—528, 1880.
26. Strunz H.: Mineralogische Tabellen. Leipzig 1941.
27. Torre Assunção C.—Garrida J.: Tables pour le détermination des minéraux au moyen des rayons X. Bulletin du Mus. et Laboratoire Minéralogique et Géologique de la Faculté des Sciences, Nos. 20—21, Lisbonne 1953.
28. Ulrich F.: Příspěvky k topografické mineralogii Čech II. Věstník St. g. ú. 6, 1930, p. 98—1077. Ref.: Věda přírodní 12, 1951, p. 234.
29. Věselovskaja M. M.: Chimiko-mineralogičeskije issledovanija v oblasti piroksenov diopsid-avgitovogo rjada. Tr. Inst. geol. nauk. Akad. Nauk SSSR 86, 1950, p. 107.

- \*30. Wackenroder: Kastner Archiv für die gesammte Naturlehre Bd. 13, 1928, p. 84.
- 31. Rosenbusch H.—Mügge O.: Mikroskopische Physiographie der petrographisch. Z. f. Krist. u. Miner. Bd. 80, 1931, p. 391—401.
- 32. Warren B. E.—Modell D. I.: The Structure of Enstatite  $MgSiO_3$ . Z. f. Krist. u. Miner. Bd. 75, 1930, p. 1—14.
- 33. Wiik F. J.: Mineralogische Mittheilungen. Z. f. Krist. u. Miner. Bd. 8. 1884, p. 203—218.
- 34. Winchell A. N.—Winchell H.: Elements of optical mineralogy. New York 1951.
- 35. Winchell A. N.—Winchell H.: Optičeskaja miněralogija, Moskva 1953.
- 36. Wülfing E. A.: Beiträge zur Kenntnis der Pyroxenfamilie in chemischen und optischen Beziehungen. Heidelberg 1891.
- 37. Wyckoff R. W. G.—Merwin H. E.—Washington H. S.: X-ray diffraction measurements upon the diopside-like pyroxenes and their bearing upon the nature of augite. American J. of Science, Vol. 10, 1925, p. 382—397.
- \*38. Zavarickij A. N.: Zap. Gor. inst. L. P. B. 3, 1919, p. 74.
- 39. Zepharovich V.: Neue Pyroxen-Funde in den Salzburger-Alpen. Z. f. Krist. u. Miner. Bd. 13, 1888, p. 45—46.
- 40. Zimányi K.: Die Hauptbrechungsexponenten der Wichtigeren gesteinsbildenden Mineralien bei Na-Licht. Z. f. Krist. u. Miner. Bd. 22, 1894, p. 321—358.
- \*41. Damour: Ann. mines 5, p. 157, 1844.



## VYSVĚTLIVKY K TABULKÁM

### Tab. I.

- Fig. 1. Krystal enstatitu z Bamle — Oedegården (mineralog. odd. Nár. musea v Praze inv. č. 22.066).  
 Fig. 2. Krystal enstatitu z Bamle — Vestre Kjørrestad (min. odd. Nár. musea inv. č. 22.061).  
 Fig. 3. Kusový agregát salitu ze Saly, tvořený dobře štěpnými tabulkami (min. odd. Nár. musea, inv. č. 22.143).

### Tab. II.

- Fig. 4. Skupina sloupcovitých krystalů diopsidu ze Schwarzenstein-Alpe (min. odd. Nár. musea, inv. č. 3043).  
 Fig. 5. Druha krystalů ferrosalitu z Nordmarken (min. odd. Nár. musea, inv. č. 3065).

### Tab. III.

- Fig. 6. Roentgenogram bronzitu, Bohouškovice. Data na str. 13.  
 Fig. 7. Roentgenogram synthetického diopsidu. Data na str. 13.  
 Fig. 8. Roentgenogram diopsidu, Schwarzenstein-Alpe. Data na str. 13.  
 Fig. 9. Roentgenogram salitu, Sala. Data na str. 13.  
 Fig. 10. Roentgenogram ferrosalitu, Nordmarken. Ø komůrky 90 mm, Co  $K\alpha_{1,2}$   $\lambda = 1,787$  kX. Filtr Fe. Napětí 25 kV, intenzita 50 mA, expozice 210 min. Aparatura Hilger-mikro.  
 Fig. 11. Roentgenogram synthetického hedenbergitu. Data na str. 13.

## EXPLANATIONS OF THE TABLES

### Pl. I.

- Fig. 1. Enstatite crystal from Bamle — Oedegården (Mineralog. Department of the National Museum Prague, inv. no. 22.066).  
 Fig. 2. Enstatite crystal from Bamle — Vestre Kjørrestad Min. Dep. Nat. Museum, inv. no. 22.061).  
 Fig. 3. Massive aggregate of salite, formed by well cleavable plates (Min. Dep. Nat. Museum, inv. no. 22.143).

### Pl. II.

- Fig. 4. Columnar diopside crystals from Schwarzenstein-Alpe (Min. Dep. Nat. Museum, inv. no. 3043).  
 Fig. 5. Crystal cavity of ferrosalite from Nordmarken (Min. Dep. Nat. Museum, inv. no. 3065).

### Pl. III.

- Fig. 6. X-ray diaphragm of bronzite, Bohouškovice, Dates see p. 13.  
 Fig. 7. X-ray diaphragm of synthetical diopside. Dates see p. 13.  
 Fig. 8. X-ray diaphragm of diopside, Schwarzenstein-Alpe. Dates see p. 13.  
 Fig. 9. X-ray diaphragm of salite, Sala. Dates see p. 13. Aparature Hilger-mikro.  
 Fig. 10. X-ray diaphragm of ferrosalite, Nordmarken. Ø of the camera 90 mm.,  $CoK\alpha_{1,2}$  radiation,  $\lambda = 1,787$  kX, Filtered through Fe. 25 kV, 50 mA, exposition 210 min.  
 Fig. 11. X-ray diaphragm of synthetical hedenbergite. Dates see p. 13.

SBORNÍK NÁRODNÍHO MUSEA V PRAZE - ACTA MUSEI NATIONALIS PRAGAE

XI. (1955) - B (PŘÍRODOVĚDNÝ) No. 7. - GEOLOGIA ET MINERALOGIA No. 1.

REDAKTOR ALBERT PILÁT

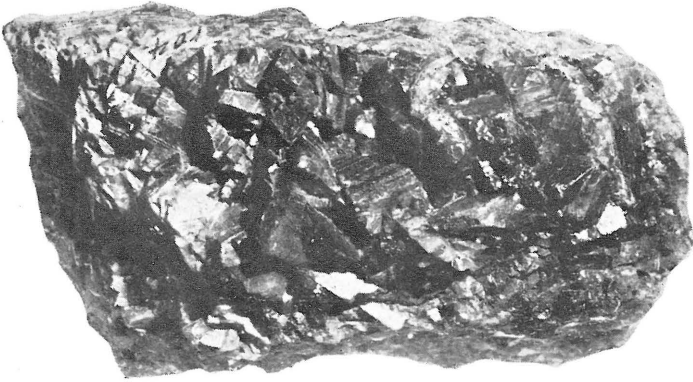
Jiří Kouřimský:

PŘÍSPĚVEK K URČOVÁNÍ PYROXENŮ

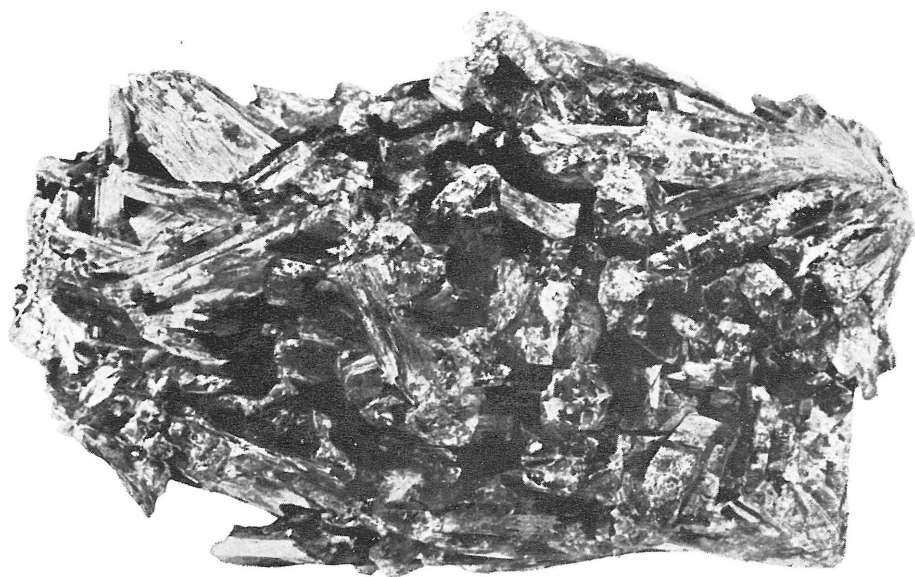
CONTRIBUTION TO IDENTIFICATION OF PYROXENES

V prosinci 1955 vydalo svým nákladem v počtu 1100 výtisků Národní museum v Praze  
Vytiskl Knihitisk, n. p., základní záv. 01 v Praze - Cena brožovaného výtisku 13,10 Kčs

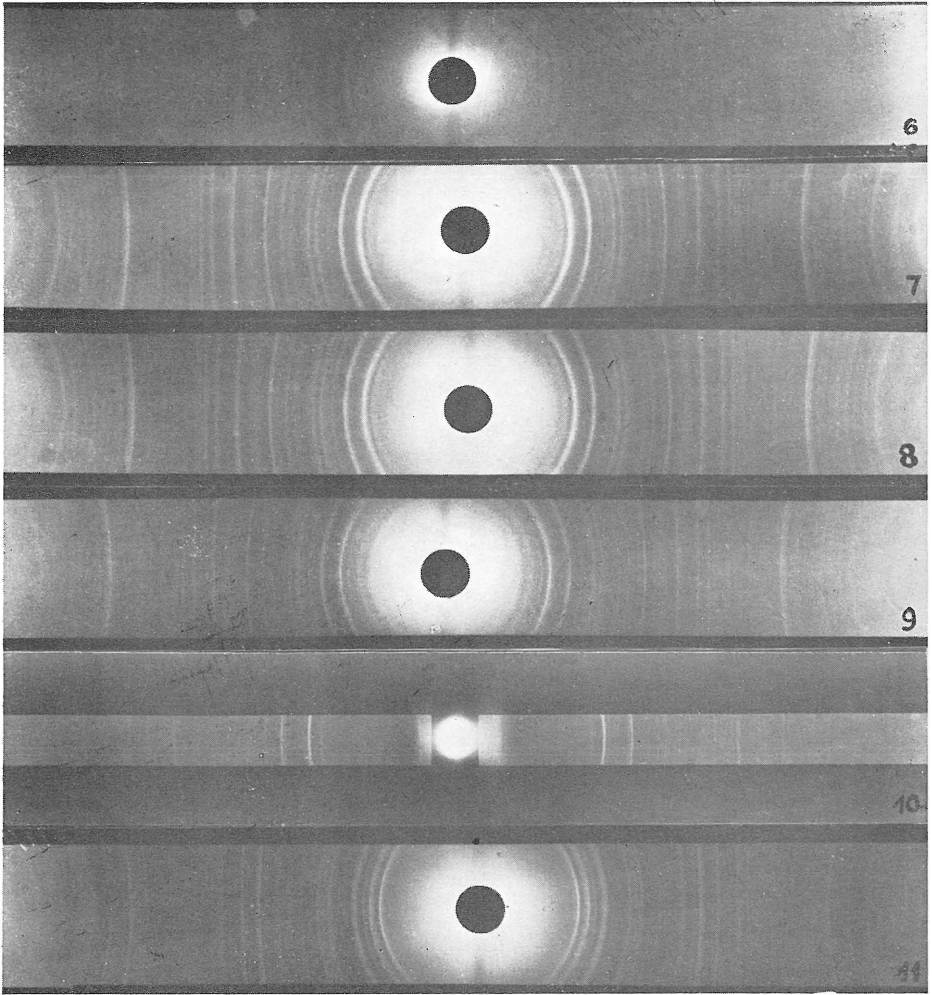
A-09330



Obr. 1—3.



Obr. 4-5.



Obr. 6—11.