

## KRISTÁLYSZEMCSENAGYSÁG MEGHATÁROZÁSA RÖNTGENANALITIKAI ÚTON

MÁNDY TAMÁS  
(XXVIII–XXIX. táblával)

A Debye—Scherrer-féle porfelvételi eljárásnál az interferencia-vonalak helyzetét a kristály belső szerkezete szabta meg, a vonalak minősége azonban elsősorban a szemcsenagyságtól függ.

Ismeretes, hogy a legélesebb vonalakat 1 mikron körüli szemcsenagyságú készítmények adják. Ha a szemcsenagyság ennél finomabb, a vonalak kiszélesednek, elmosódottakká válnak, mert az egyes kristálykákban az elemi cellák száma csökken, s a Bragg-féle reflexió-feltételnek nem tökéletesen megfelelő irányokban is halad gyenge elhajlított sugárzás. A szemcsenagyság csökkenésével a vonal kiszélesedése egyre fokozódik. A szemzélességből a kristallitok nagyságát számítani lehet. (I. irodalmi utalások.)

A kristályszemcsék nagyságának növelésével viszont a folytonos vonalak felbomlanak, szaggatottakká, egyes pontokból állókká válnak.

A vonalak pontokká való felbomlásának magyarázata a következő. Az eredeti Debye—Scherrer-féle elgondolás szerint a finom porból álló készítményben a szemcsék óriási száma és az elhelyezkedés teljes rendezetlensége miatt mindig van megfelelő számú szemecske, mely a reflexióhoz éppen kedvező helyzetű. Minden olyan síkban, melyben a beeső sugár benne van, a részecskék kellő száma egyformán valószínű, ezért a készítményből reflektált sugárkúp indul ki. A preparátumok méretei általában azonosak. Tehát ha a szemcsék nagysága nagyobb, ez egyúttal a szemcsék számának csökkenését jelenti. Így egyre csökken annak a valószínűsége, hogy a kúpfelület minden egyes alkotója mentén haladó sugárhoz megfelelő helyzetű részecske tartozzék. A negyedrendű görbének csak azon pontjain fogunk feketedést észlelni, melyekre egy-egy kedvezően fekvő kristály éppen reflektál. Ezáltal a vonalak folytonossága megszűnik, s helyette pontsort kapunk. Ennek helyzete természetesen azonos a vonaléval.

Mindezekből látható, hogy a folytonos vonalak pontokká való felbomlása tulajdonképpen nem is a szemcsenagyságtól, hanem a szemcseszámotól függ. A szemcseszámot viszont kerülő úton foghatjuk meg: ismernünk kell a preparátum-pálcika anyagkoncentrációját. Ezt pontosan szabályozhatjuk analitikai mérlegen való beméréssel.

A kérdés megoldása leegyszerűsőbb Lindeman-féle üvegsövecskével, amikor a bemért anyag fajsúlyának és szemcsenagyságának ismerete megadja a szemcseszámot. Minthogy a reflexióban sohasem vesz részt a preparátum egész hossza, a megtöltött csövecskéből csak 1 mm-nyit veszünk és a szemcseszámot célszerűen erre az 1 mm hosszúságra vonatkoztatjuk. Egyazon kamra és állandó résnyílás esetén a következő összefüggés érvényes:

$$n = \frac{G}{a^3 \rho l} \quad (1)$$

ahol  $n$  = az 1 mm hosszú szakaszra vonatkoztatott szemcseszám

$G$  = a bemért anyag súlya

$a$  = a kockának elképzelt kristályszemcse élhossza\*

$\rho$  = az anyag fajsúlya

$l$  = az üveg-csővecske porral kitöltött egész hossza.

Lindemann-csőveket a gyakorlatban ritkán használunk. Elterjedtebb a kanadabalsamos módszer. Itt a port kanadabalsam-kötőanyaggal formáljuk pálcikává.

Kanadabalsamnál a készítmény terét az anyag és a balsam keveréke tölti ki. A szemcseszám meghatározására itt ismerni kell a fenti adatokon kívül a kanadabalsam fajsúlyát, összsúlyát, valamint a pálcika átmérőjét.

Ezek alapján

$$a = \sqrt[3]{\frac{D^2 \pi m_a d_k}{40 n (m_a d_k + \kappa m_k d_a)}} \quad (2)$$

ahol  $a$  = a kockának képzelt kristályszemcse élhossza

$D$  = a pálcika átmérője (cm)

$m_i$  = a bemért összes anyagmennyiség

$m_k$  = a bemért összes kanadabalsam-mennyiség

$d_a$  = az anyag fajsúlya

$d_k$  = a kanadabalsam fajsúlya

$n$  = az 1 mm hosszú szakaszban lévő szemcseszám

$\kappa$  = a kanadabalsam száradási koefficiense

Az összefüggés levezetése a következő:

Kiindulásnál az összes térfogat

$$\frac{\kappa m_k}{d_k} + \frac{m_a}{d_a}$$

Ez a bemérés eredményéből következik. A kanadabalsam mennyiségét azért kell a  $\kappa$  száradási koefficienssel megszorozni, mert a kanadabalsamból száradás közben az illó részek elpárolognak, így súlyvesztés áll elő. A  $\kappa$  meghatározása empirikusan történik. Értéke 0,85 körül ingadozik.

A szemcsék száma mint (1)-nél  $\frac{m}{a^3 d_a}$

1 mm hosszú pálcika térfogata  $\frac{D^2 \pi}{4} \cdot 0,1 = \frac{D^2 \pi}{40}$

Az összes térfogat úgy aránylik a szemcseszámmal, mint az 1 mm hosszú pálcika térfogata aránylik  $n$ -hez.

Ebből az aránypár:

$$\frac{\left(\frac{\kappa m_k}{d_k} + \frac{m_a}{d_a}\right) \frac{D^2 \pi}{40}}{\frac{m_a}{a^3 d_a}} = \frac{D^2 \pi}{n}$$

\* Ha az anyagot gömböcskének képzeljük, azonos térfogathoz tartozó átmérő 1,24-szerese kocka élhosszának.

Az emeletes törtek eltüntetése és a szorzások elvégzése után  $a$ -t kifejezzük:

$$a = \sqrt[3]{\frac{D^2 \pi m_a d_k}{40 n (m_a d_k + \kappa m_k d_a)}}$$

A nyert összefüggésben az  $n$  kivételével minden tag ismert az  $a$  kiszámításához.

A probléma megoldására ismert koncentrációjú, homogén és ismert szemcsenagyságú anyagból készült preparátumokkal kellett felvételt készíteni. A felvétel vonalainak minősége, azaz a pontokká való felbomlás és  $n$  között pedig összefüggést kellett keresni. Nyilvánvalóan az összefüggés nem a legszigorúbban kvantitatív, mert a felbomlás fokának megállapítása függ a gyakorlattól és a szemcseeloszlás egyenletlensége is hibát okozhat.

A káliumklorid bizonyult a legjobb kísérleti anyagnak. Ennek lapcentrált szabályos rácsa van, így kevés számú, éles vonalat ad. A kocka szerinti kitűnő hasadása miatt a porításkor kapott szemcsék nagyrésze izometrikus. M e r c k-féle »pro analysis«-készítmény e célra megfelel.

A szemcsenagyság-frakciók előállítása iszapolással történt. Az iszapoláshoz abszolút alkohol a legmegfelelőbb, mely a káliumkloridot csak igen kevésbé oldja. (A nátriumklorid jobban oldódik alkoholban, ezért kevésbé alkalmas.) De a káliumklorid oldhatósága rohamosan nő már igen kis vízszennyezés esetén is. Az oldódás elkerülése azért olyan lényeges, mert egyrészt éppen a legfinomabb kristályszemcsék oldódnának ki elsőnek a porból, másrészt az egyes frakciók beszárításánál az oldott só újból kiválik és kiszámíthatatlan módon növeli az egyes szemcsék méretét. Ezért a használt alkoholt előzőleg addig víztelenítettük, míg a vízmentes rézszulfátot már nem kééktette meg.

Az iszapoláshoz S t o k e s képletét át kellett számítani a körülményekhez igazodóan

$$V = \frac{2}{9} r^2 \frac{D_1 - D_2}{\eta} g \quad (4)$$

Ehhez szükséges a KCl sűrűsége, az etilalkohol sűrűsége és viszkozitása. Ezekkel az adatokkal, továbbá  $r$ -t  $d$ -re (átmérő) átszámolva, a kocka tértelje és az idő között az alábbi összefüggés adódik:

$$t = \frac{0,184}{d^2} d \text{ (mm-ben)} \\ t \text{ (sec-ban)} \quad (5)$$

Az egyes frakciók szemcsenagyságai között szorzószámnak célszerűen  $\sqrt{10}$ -et választottuk, így a nagyságrendek különbsége teljesen egyenletes.

A következő kis táblázat alapján dolgoztunk:

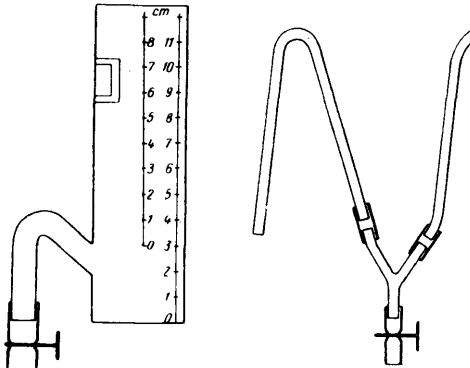
$d$ (mm) . . . . .	0,1	0,032	0,01	0,0032	0,001	0,00032
$(\mu)$ . . . . .	100	32	10	3,2	1	0,32
$t$ (idő) . . . . .	18,4''	3' 4''	30' 42''	5 <sup>h</sup> 7'	2 n 3 <sup>h</sup> 10'	21 n 7 <sup>h</sup> 40'

Az utolsó frakciók előállítása már nagy nehézségekbe ütközött, mert a tapadás miatt aprózódás alig történt, így 1 mikron alá csak 10—12 órai porítás és nagyon gondosan vízmentesen tartott alkohol alkalmazásával lehetett eljutni. A kísérleti nehézségek-ről a felvételek kiértékelésénél még lesz szó.

Az iszapolás 12—13 cm magas iszapoló hengerekben történt (I. ábra). A lebegő rész eltávolítását szivornyával végeztük, melynek szívószárát tetszőleges magasságban

lehetőleg beállítani. Hogy a frakciók lehetőleg homodiszperzek legyenek, minden leülepedett részt mégegyszer ülepítettünk.

A leülepedett kristályport azután a rajta maradt kevés alkohollal mérlegedénykében szárítószekrényben gyorsan beszárítottuk, hogy az alkoholnak ne legyen ideje vizet szívni és az üledékből oldani. (Mégis előfordult a legfinomabb szemcséknél, hogy az



1. ábra

alkohol, mely itt már napokig ülepedett, bár a henger gumidugóval el volt zárva, vizet szívott, és a finom kristályok egy részét feloldotta. Bepárlódás után az oldatból a KCl nagyságrendileg nagyobb szemcsékben kristályosodott ki, s ez okozta a 8–9. számú felvételeknél a halvány folytonos alapvonalon az erős pontképződést. Ezt a hibát csak hosszabb és gondos ismétlések árán lehetett kiküszöbölni.

Egészen általánosan a vonalak minőségére a következő tájékoztatást adja az irodalom:

$> 10^{-4}$ cm	pontszerűen tagolt vonalak
$10^{-4} - 10^{-5}$ cm	éles vonalak
$10^{-5} - 10^{-6}$ cm	kiszélesedett vonalak
$10^{-6} - 10^{-7}$ cm	erősen kiszélesedett vonalak

A felbomlott, szemcsés vonalak tanulmányozásához  $10^{-4}$  cm körüli szemcsenagyságú frakcióra volt szükség. Ezért a következő frakciók készültek:

$$10 - 32 \mu, 3,2 - 10 \mu, 1 - 3,2 \mu, 1 \mu >$$

Ennél kisebb szemcsenagyságnál a vonalak tökéletesen élesek, így azt vizsgálni nem szükséges.

Az ismert koncentrációjú preparátumokat analitikai mérlegen való beméréssel, 0,1 g nagyságrendű kanadabalszammal készítettük. A pálcika nem a híg xilolos oldatból készült, mert ez lassan szárad s közben a kristálypor leülepedik benne, az eloszlás nem lesz egyenletes. Bemérés után az anyaghoz egyetlen csepp xilolt adtunk, mely így is polimerizáló, gyantásító hatást fejt ki. Félórai állás után óvatos melegítéssel, keverés közben elűztük a maradék xilolt s a balszam illó részeit. Lehűlés után a megdermedés gyorsan

bekövetkezik s egy-két perc múlva jó szál húzható belőle. Ez a szál rendszeren fél órán belül teljesen megszilárdul.

Előzetesen ugyanilyen művelettel határoztuk meg a  $\kappa$  száradási koeficiens is.

A következő preparátumokat állítottuk elő :

10—32 $\mu$ -os	frakcióból (3)	0,35 és 16,2%-os,
3,2—10 $\mu$ -os	« (4)	0,63, 3,3 és 10%-os,
1—3,2 $\mu$ -os	« (5)	7,8, majd 4,4%-os,
1 $\mu$ >	« (6)	10%-os készítményt.

A felvételsorozat Müller-féle »C. H. F. mikro 60« típusú röntgenkészüléken készült, Cu-anóddal, kettős rétegű Kodak röntgenfilmre. Valamennyi felvétel ideje 3 óra, a feszültség 30,5 kV és az áramerősség 15 mA volt.

Néhány előzetes felvétel igen fontos útbaigazítást adott. Ha a preparátum nem forog, a pontokra való felbomlás sokkal kisebb szemcsenagyságnál megkezdődik. Ez várható, hiszen a forgatás által minden egyes kristályszemcsét mintegy megsokszorozunk. Forgó motorral még a durvább, 10—32  $\mu$  frakcióból készített preparátum is folytonos vonalat adott.

A felvételek részletezve a következők :

1. Szemcsenagyság 3,2—10  $\mu$ . Koncentráció-meghatározás még nem volt. Forgó motor. A vonalak élesek, folytonosak.

2. Szemcsenagyság 10—32  $\mu$ . Koncentráció-meghatározás még nem volt, de meglehetősen kis töménységű. Forgó motor. A különben halvány vonalak határozottak és folytonosak, tehát felbomlásnak még ilyen durva szemcsenagyságnál sincsen nyoma.

3. Az (1) felvétel megismétlése állómotorral. A további felvételek mind állómotorral készültek. A vonalak kezdenek felbomlani.

4. Szemcsenagyság 3,2—10  $\mu$ . Koncentráció 3,3%.  $D = 0,48$  mm. Határozott, éles vonalak, bár az (100) és (110) vonal szélén néhány pont már megállapítható.

5. Szemcsenagyság 3,2—10  $\mu$ . Koncentráció 10,0%.  $D = 0,48$  mm. Igen határozott, erős, folytonos vonalak.

6. Szemcsenagyság 3,2—10  $\mu$ . Koncentráció 0,63%.  $D = 0,55$ . Ilyen kis koncentrációnál a vonalak nem tudnak megjelenni, csak a legkisebb elhajlási szögeknél látszik néhány bizonytalan, erősen felbomlott vonalrész.

11. Szemcsenagyság 10—32  $\mu$ . Koncentráció 0,35 %. Teljesen határozatlan, elmosódott. (100) és (110) igen halvány pontsor formájában kivehető, amorf gyűrűre emlékeztető szélesedés.

7. Szemcsenagyság 10—32  $\mu$ . Koncentráció 16,2%.  $D = 0,30$  mm. Határozott vonalak, erősen felbomolva. A pontok aprók, sok helyen egészen összefolynak. A vonalaknak van bizonyos halvány, folytonos alapja, melynek oka valószínűleg az, hogy a frakcióban finomabb szemcsék is maradtak.

8. Szemcsenagyság 1—3,2  $\mu$ . Koncentráció 7,8%.  $D = 0,44$  mm. A vonalakon igen erős felbomlás észlelhető, pedig a nagyság szerint folytonos vonalat kellett volna adnia. Ennek oka az alkohol már előbb említett nedvszívása.

9. Szemcsenagyság 1  $\mu$  >. Koncentráció 10%.  $D = 0,26$  mm. Ugyanaz ismétlődött meg, mint az előbbi preparátumnál. A szabály szerinti finom por okozta folytonos vonal halványan mindkét felvételen látszik.

10. Szemcsenagyság 1—3,2  $\mu$ . Koncentráció 1,5%.  $D = 0,30$  mm. A 8. sz. nagy gondal történt megismétlése. A kis töménységnek megfelelően halvány, de a nagy szemcseszám miatt folytonos és határozott vonal.

E felvételek alapján az előbb ismertetett elméleti levezetések a következőkben támaszthatók alá.

A 2. sz. egyenletet  $n$ -re oldjuk meg, a számolás megkönnyítése céljából pedig a bemérések ( $m_a$  és  $m_k$ ) helyett a pácika százalékos koncentrációját (%) visszük be.

Mivel

$$\frac{\frac{m_a}{\chi m_k + m_a} \frac{\%}{100}}{\frac{m_k d_a \chi + m_a d_k}{(100 - \%) d_a + \% d_k}} = \frac{\%}{100} = \frac{1}{\frac{100 - \%}{\%} d_a + d_k}$$

ezt 2-be kell helyettesíteni. Figyelembevéendő, hogy  $a$  a kocka élhossza, az eddigiekben szereplő  $d$  méret pedig a térátmérője. A faktor 5,2.

$$n = \frac{5,2 D^2 \pi d_k}{40 d^3 \left( \frac{100 - \%}{\%} d_a + d_k \right)} \quad (6)$$

E képlet segítségével minden preparátumra kiszámítottuk az 1 mm hossza eső kristályszemcse számot. Mivel mindegyik nagyságrend egy bővebb sorozat, a lehetséges legnagyobb szemcse átmérője egy frakcióban a lehetséges legkisebbnek 3,2-szerese, illetve a megfelelő szemcse szám 32-szerese.

Átlagos szemcse nagyság felvételéhez ismerni kellene a diszperzitás eloszlását. Ezt geometriai középértékkel közelíthetjük:  $\sqrt{1 \times 3,16} = 1,78$ , ekkor pl. az 1 — 3,2  $\mu$ -os frakció átlagos szemcse nagyságát 1,78-nak vehetjük fel.

Felvétel száma	Frakció	Részecskeszám minimális	Mértani közép	Részecskeszám maximális
11	10 — 32 $\mu$	$2,6 \cdot 10^1$	$13,0 \cdot 10^1$	$73,2 \cdot 10^1$
7	10 — 32 $\mu$	$1,2 \cdot 10^2$	$6,5 \cdot 10^2$	$36,4 \cdot 10^2$
6	3,2 — 10 $\mu$	$4,5 \cdot 10^3$	$25,0 \cdot 10^3$	$140,5 \cdot 10^3$
4	3,2 — 10 $\mu$	$1,8 \cdot 10^4$	$10,2 \cdot 10^4$	$57,6 \cdot 10^4$
5	3,2 — 10 $\mu$	$5,7 \cdot 10^4$	$31,7 \cdot 10^4$	$178,0 \cdot 10^4$
10	1 — 3,2 $\mu$	$1,0 \cdot 10^5$	$5,6 \cdot 10^5$	$31,8 \cdot 10^5$
8	1 — 3,2 $\mu$	$1,1 \cdot 10^6$	$6,5 \cdot 10^6$	$36,4 \cdot 10^6$
9	1 — 0,32 $\mu$	$1,7 \cdot 10^7$	$9,3 \cdot 10^7$	$52,0 \cdot 10^7$

A két előbbi táblázaton az egyes preparátumok szemcse számait látjuk 1 mm-es pácikahosszra vonatkoztatva. Áttekinthetőbb mindez a logaritmikus léptékben készített diagrammon (2. ábra). A különböző pácikához tartozó szemcse számok szélső értékei fedik egymást. A nyíllal megjelölt pont a középértéknek felel meg.

Ismerve mármost az egyes preparátumok szemcse számát, megvizsgáljuk, hogyan befolyásolja ez a vonalak minőségét. (Átlagos szemcse nagysággal, ill. szemcse számmal dolgozunk.)

1.  $6,5 \times 10^3$  szemcse számnál (7. prep.) a vonalak felbomlása már igen határozott, éles.  $10,2 \times 10^4$ -nél (4. prep.) csak a legszélén jelentkeznek igen bizonytalanul az első pontok. A közbenső,  $25,0 \times 10^3$  igen kis koncentrációja miatt elmosódott (6. prep.),

de a közép táján látható néhány halvány vonal szintén pontokra bomlott. Így határozott, a vonal teljes hosszára kiterjedő felbomláshoz tartozó legnagyobb szemcseszám  $5 \times 10^4$ -re tehető.

2. A felbomlás első nyomai a vonalak két szélén jelentkeznek, ahol azok bizonyos fokig kiszélesednek,  $10^5$  és  $3 \times 10^5$  között tehát középvértékben  $2 \times 10^5$ -nél. E szemcseszám fölött a vonalak mindig határozottak, élesek.

A felbomlás mértékének exakt meghatározására módszer még nincs. Így a szemcseszám csak a fenti két, egymáshoz meglehetősen közeleső határ közelében becsülhető kellő biztonsággal. A megállapított szemcseszámot azután a 2. egyenletbe helyettesítve a szemcsenagyság értékét ki lehet számítani.

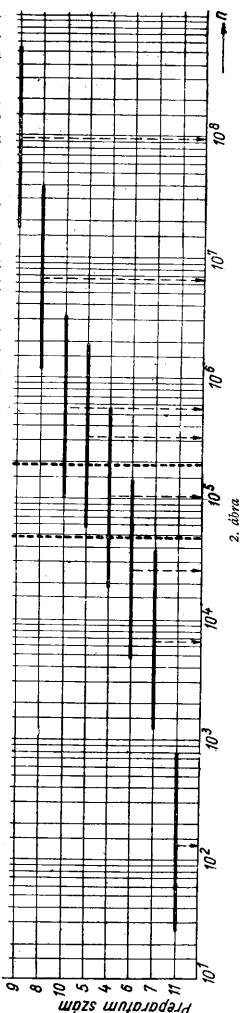
A bemért anyag mennyiségének, valamint a preparátum vastagságának tetszésszerű megváltoztatásával mód nyílik a szemcseszám változtatására, így be lehet állítani azt a jellemző vonalstruktúra területére. E két tényező változtatásánál természetesen figyelembe kell venni, hogy a szemcseszám mindkettővel négyzetesen, míg a szemcsenagysággal köbösen arányos.

3. A felvételsorozatból az is leszűrhető, hogy a preparátumok koncentrációjának alsó határa 1%. Ez általában minden kanadabalzsamos preparátumnál megkívánandó. Szemcsenagyság meghatározásnál — különösen finomabb kristálypor vizsgálatokor — óvakodni kell attól, hogy a koncentráció túlzott csökkentésével próbáljuk az előírt  $10^4$  nagyságrendet elérni.

Ha a kristálypor önálló szemcseindividuumokból áll, a szemcsenagyság meghatározása több mikronos átmérőnél a röntgenográfiaival egyszerűbb és közvetlenebb módszerekkel is lehetséges. Mozaikkristályoknál, vagy összeálló kristályos anyagnál, esetleg szemcsés halmazok vizsgálatánál azonban az egyedüli célravezető eljárás lehet.

### Összefoglalás

A porfelvételi eljárásnál a szemcsenagyság felső határán a folytonos interferenciavonalak pontokra bomlanak fel. E felbomlás közvetlen oka a kedvező reflexiós helyzetű kristálykák számának csökkenése. A felbomlás megjelenéséből, illetve mértékéből a preparátumban lévő szemcsék számára lehet következtetni. A preparátum anyagkoncentrációjának és vastagságának figyelembevételével egy formula vezethető le, mellyel a szemcseszám ismeretében a szemcsenagyságot ki lehet számítani.



## IRODALOM — LITERATUR

1. Beischer, D.: Bestimmung der Krystallitgrösse in Metall- und Metall-oxydrauchen aus Röntgen- und Elektronenbeugungs-diagrammen und aus Elektronen-mikroskopbildern. Zeitschrift für Elektrochemie, 44. 375. 1940. — 2. Bijvoet, J. M. — Kolkmeijer, N. H. — MacGillavry, C. H.: X-Ray Analysis of Crystals London, 1951. — 3. Brandenberger: Röntgenographisch. Analytische Chemie. Basel, 1949. — 4. Brill, R. — Pelzer, H.: Eine neue Methode zur röntgenographischen Teilchengrössebestimmung. Zeitschrift für Technischen Physik. 10. 663. 1929. — 5. Brill, R. — Pelzer, H.: Röntgenographische Teilchengrössebestimmung. Zeitschrift für Kristallographie. 74. 147. 1930. — 6. Kitajgorodzskij, A. I.: Rentgenosztruktúruij analiz. Moszkva—Leningrad, 1950. — 7. Möller, H.—Roth, A.: Über die Messung der Halbwertsbreite von Röntgeninterferenzlinien. Mitt. Kais. Wilh. Inst. Eisenf. Düsseldorf, 19. 123. 1937. — 8. Vendel M.: Kőzet-, szén- és érc-meghatározó módszerek. Sopron, 1942.

Készült a Budapesti Műszaki Egyetem Ásvány és Földtani Tanszékén

**Определение зёрнистости кристаллов с помощью рентгеноаналитического метода**

Т. Манды

По способу Деbye—Scherrer, последовательные линии интерференции распадаются на пункты на верхней границе зёрнистости. Непосредственной причиной распада является сокращения количества мелких кристаллов, занимающих благоприятное положение для рентгеновской рефлексии.

Наличие т. е. размер распадаения указывают на количество зёрен, находящихся в препарате. Ичет концентрации и мощности препарата сводится к теореме, на основании которой, со знанием количества зёрен вычисляются размеры зёрен.

**Die Korngrössenbestimmung von Kristallen mittels röntgenanalytischer Methode**

by T. MÁNDY

Bei der oberen Korngrössengrenze des Pulververfahrens lösen sich die stetigen Interferenzlinien in Punkte auf. Die unmittelbare Ursache dieser Auflösung ist die Verminderung der Zahl von Kristallen, die für die Röntgenreflexion in günstiger Lage sind. Von der Anwesenheit resp. der Intensität dieser Auflösung lässt sich auf die Zahl der Körnchen im Präparat schließen. Mit Rücksicht auf die Stoffkonzentration und den Durchmesser des Präparates kann man eine Formel ableiten, wodurch dann in Kenntnis der Körnchenzahl die Korngrösse berechnet werden kann.