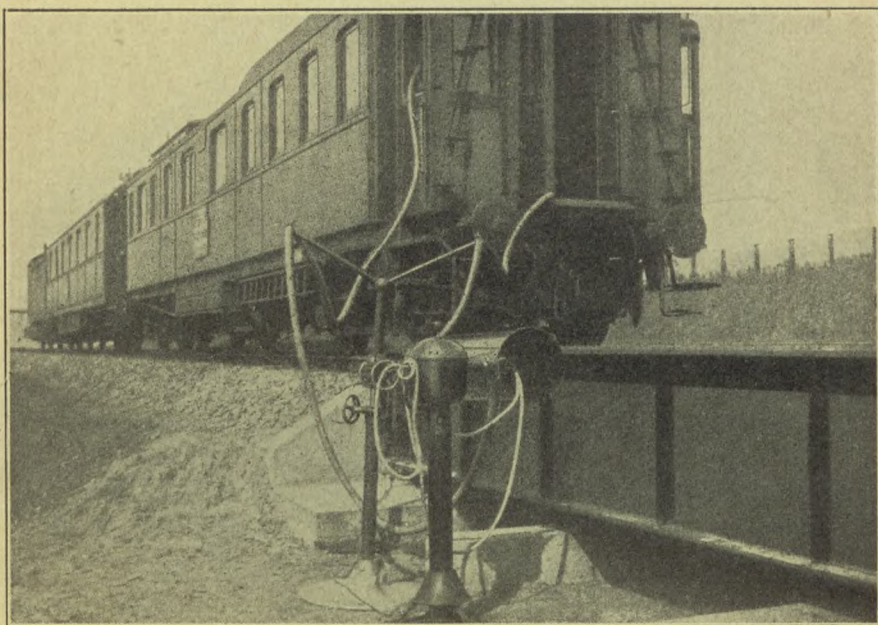


A RÖNTGEN-SUGÁRZÁS TECHNIKAI ALKALMAZÁSA

ÍRTA:

DR. CSÁSZÁR ELEMÉR



Vasúti híd hegesztésének vizsgálata Röntgen-sugárzással.

BUDAPEST, 1931

KIR. MAGY. TERMÉSZETTUDOMÁNYI TÁRSULAT, ESZTERHÁZY-U. 16.

P₂

613591

M. N. MŰZEUM KÖNYVTÁRA
Nyomt. Művelődésközpont
31 é. 694 sz.

R
1965

A Röntgen-sugárzás technikai alkalmazása.¹

Alig van megszokottabb, de egyúttal alig van csudálatosabb természeti jelenség, mint a napsugár. Csudálatos, mert óriási sebességgel száguld a világűrön keresztül : hiszen 8 perc alatt befutja a földet a naptól elválasztó 150 millió kilométeres távolságot. Csudálatos azért is, mert nincsen szűksége semmiféle vezetékre, anyagra, mint az elektromos áramnak, hanem átrepül a légüres téren is. Máskor meg nagyobb testeket (üveg, vízréteg) szel át nyomtalanul. De van egy nagy ellensége a fénysugárnak : az átlátszatlan anyag. Egy fekete kartonpapírdarab elégséges ahhoz, hogy a fénysugár örökre meghaljon ! Van azonban olyan sugár is, mely nemcsak a fénysugár csudálatos tulajdonságainak birtokosa, hanem még felül is múlja azt, mert nincs alávetve az átlátszatlan anyag uralmának, terjedésében nem ismer akadályt, hanem egyaránt keresztülhalad a légüres téren, vastag fémlemezeken, az emberi testen ! Igaz, hogy e kiváló tulajdonságaiért fel kell áldoznia valamit, ami az emberi szem előtt oly becessé teszi a fénysugarat : a színét. Ez a titokzatos sugár az X-sugár, melyet RÖNTGEN német fizikus 1895-ben ismert föl először.

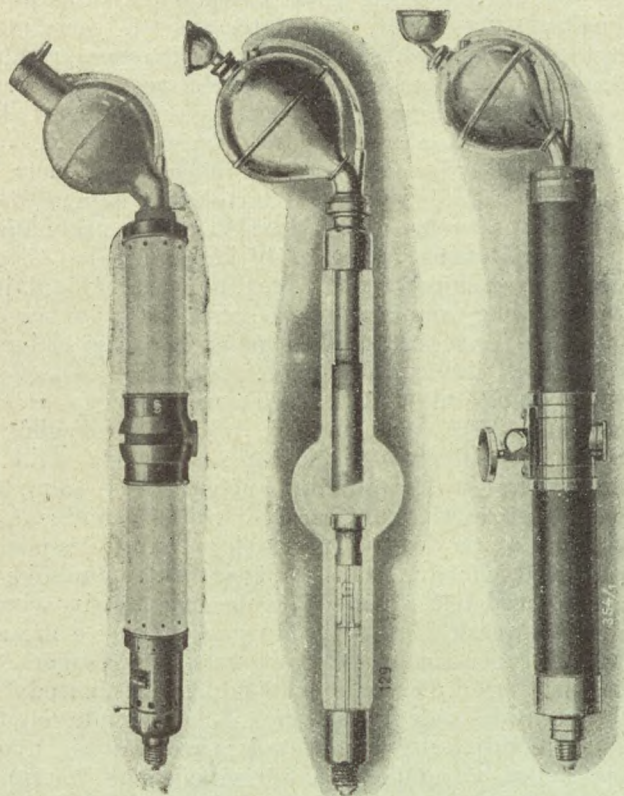
I. A Röntgen-sugár tulajdonságai. Ismeretes, hogy e sugárzást a Röntgen-lámpákban állítják elő, melyek többnyire üvegből készülnek, belsejük légüres s két fémbevezetésük van : a negatív sarok (katód) és a pozitív (anód), melyet antikatódnak is neveznek (1. kép). A Röntgen-lámpát nagyfeszültségű, esetleg több százezer voltos áramforrás sarkai közé kapcsolják. Erre a lámpa belsejében esetleg előforduló pozitív töltésű gázmolekulák a katód felé vándorolnak, míg az elektronok sokkal nagyobb sebességgel az antikatód felé röpködnek s ebbe belevágódva elvesztik mozgási energiájukat, akárcsak a falba fúródó puskagolyó ; e mozgási energia árán keletkezik a Röntgen-sugár, mely az antikatódból sugárkéve módjára minden irányban szétterjed. Persze hő is fejlődik, az antikatód fölmelegszik.

A Röntgen-sugarak maguk — sajnos — nem gyakorolnak hatást a szemünkre ; mint mondják : láthatatlanok ; azonban bizonyos anyagok, mint például az ismert báriumplatincianür világítanak, ha Röntgen-sugár esik rájuk. A fényképező lemezre is hatnak, még pedig a lemez előhívás után azokon a helyeken, hová sok Röntgen-sugár esett, erősen megfelekedik, másutt kevésbé. Ha például kezünkről készítünk Röntgen-fényképet, a csontok árnyékképe világos marad, míg a hús körvonalai sötétebbek lesznek, mert a csontok kevesebb sugarat engednek át, mint az izmok. Nevezetes tulajdonsága a Röntgen-sugaraknak még az is, hogy a levegőt elektromos áramvezetővé teszik (ionizálják), mint az ibolyántúli sugarak.

E tulajdonságok alapján a Röntgen-sugarakat a fényhez hasonló sugárzásnak tartották, bár sokáig nem sikerült e sugarak visszaverődését, törését kimutatni, üveg vagy más hasábbal Röntgen-színképet előállítani.

¹ Előadta szerző az 1931 március 13-án tartott Népszerű Természettudományi Estélyen.

Az utóbbi évek e téren is eredményre vezettek. Sőt sikerült a megegyezést bizonyító, döntő kísérlet is. Ugyanis — mint ismeretes — a fény vékony, sűrű karcolásokkal ellátott üveglemezre, úgynevezett rácsra ejtve pompás színekpsorozatot ad;¹ kiderült, hogy ugyanígy viselkedik a Röntgen-sugár is, ha majdnem simulva esik rá a rácsra; a színekpet azonban nem lehet látni, hanem fényképező lemezen kell felfogni. E kísérlet alapján meg is lehet mérni a Röntgen-sugár hullámhosszúságát. Ennek közepes értéke tízezredrésze a fény közepes hullámhosszának, tehát a milliméternek



1. kép. Balról a SIEMENS-féle „Multix”-lámpa, középen a MÜLLER-féle „Media”, jobbról a „Media-Metalix”; fölül láthatók a vízhűtésre való gömbök; a Multix és Metalix sugárvédő köpennyel is körül van véve.

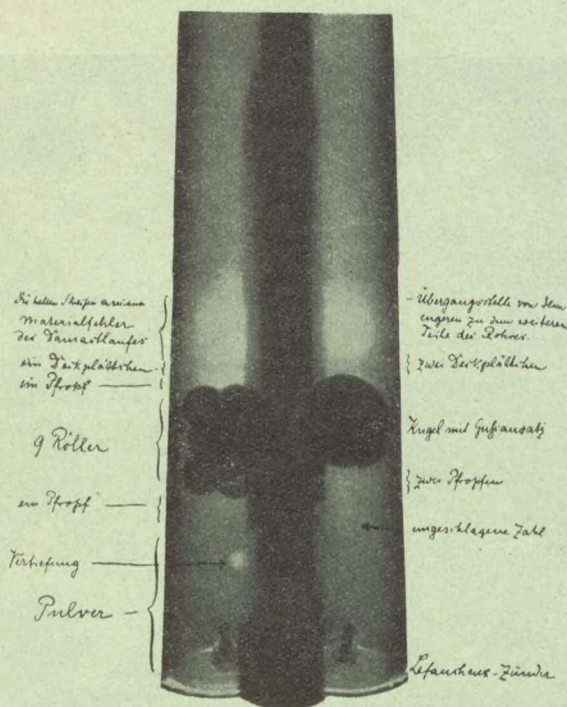
tíz- és százmilliomod része között van. Rendszerint Ängströmökben adják meg; 1 Ä a milliméter tízmilliomod része. Például molybdén antikatódú lámpából kilépő sugárzás igen gazdag 0.71 és 0.63 Ä hullámhosszú sugarakban; réz esetében pedig 1.54 és 1.39 Ä-ös sugarakban. E sugarak vékony fémlemezekkel, mint sugárszűrőkkel el is különíthetők. Így pl. a réz sugárzásából nikkelszűrő főképen az 1.54 Ä-ös sugarakat engedi át. A látható színekp ibolya részének megfelelnek a Röntgen-színekp rövid

¹ DR. TANGL KÁROLY: Természettud. Közl. 63. k., 242. o. (1931).

hullámú, nagy áthatoló képességű sugarai, melyeket kemény sugaraknak neveznek; a vörösnek megfelelők hosszabb hullámúak, áthatoló erejük csekélyebb, ezeket lágy sugaraknak hívják.

II. A Röntgen-átvilágítás gyakorlati alkalmazása. A Röntgen-sugárzás nagy gyakorlati jelentőségét éppen áthatoló tulajdonságának köszönhetjük: az anyag egy részét átengedi, a többit elnyeli.

a) *A sugárelnyelés törvényei.* Egészen természetes, hogy valamely test, például egy aluminiumlemez elnyelése függ annak a vastag-

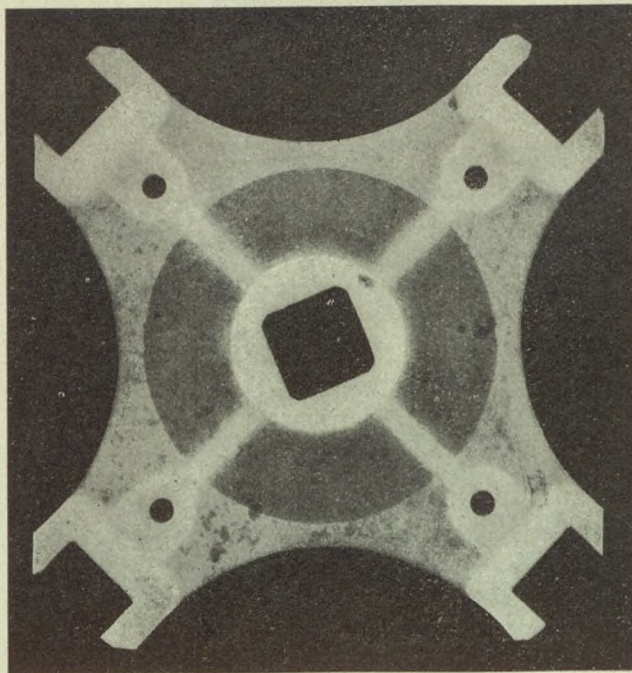


2. kép. RÖNTGEN eredeti felvétele egy töltött vadászfegyverről saját kézírásával. A fényképező lemezen tulajdonképpen e kép negatívja látszik.

ságától. A vastagabb lemez többet nyel el és kevesebbet bocsát át, mint a vékony. De nem kell azt gondolni, hogy kétszer, háromszor olyan vastag lemez kétszer, háromszor gyengébb sugárzást enged át. A gyengülés sokkal rohamosabb! Például 1 mm-es aluminiumlemez a 0.71 Å hullámú sugárnyaláb $\frac{1}{4}$ -részét bocsátja át; ha most 3 mm-es lemezt veszünk, ez nem háromszor kevesebb sugárzást, nem az eredetinek $\frac{1}{12}$ -részét, hanem $\frac{1}{64}$ -részét engedi át; vagyis háromszoros vastagságnövelés mellett 16-szorosan gyengül a sugárzás. Még rohamosabb a csökkenés nagyobb vastagság mellett. Ezért azután fényképezéskor a megvilágítási idő a vastagsággal rohamosan nő.

A sugárelnyelés ugyanolyan vastag lemezek esetében feltűnően függ az anyagi minőségtől is. Még pedig egészen durva tájékoztató módon mondhatjuk, hogy a könnyű, a kis sűrűségű testek jobban

átengedik a sugárzást, mint a nehezek, a nagy sűrűségűek. Így a fa, papír, üveg sokkal kevesebbet nyel el, mint a vas, réz, platina, ólom, stb. A sugár-elnyelő képesség pontosabban az elemnek a periódusos rendszerben elfoglalt helyétől függ. Az elemeket kémiai tulajdonságaik szerint rendszerbe foglalják: ez a híres és csudálatos periódusos rendszer. Periódusos, mert az elemek kémiai tulajdonságai bizonyos számú elem átlépése után ismétlődnek, visszatérnek. Ebben a családban minden elemnek van egy rangja, rendszáma. Minél nagyobb ez a rendszám, általában véve annál nagyobb az elem elnyelő képessége. De ne gondoljuk itt sem, hogyha a rendszám

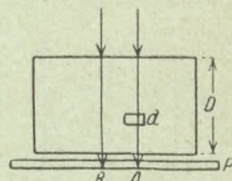


3. kép. Hibás alumíniumöntvény Röntgen-képe.

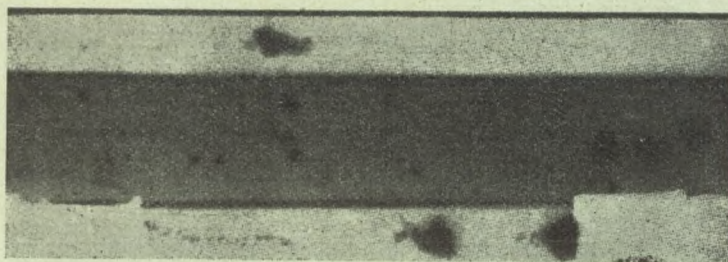
háromszor akkora lesz, az elnyelés is háromszorosára nő. Például a vas rendszáma 26, az ólomé 82, körülbelül háromszorosa a vasénak. Nem így van az elnyelő képességgel. Ha ugyanis egy vaslemez az előbbi 0.71 Å-ös sugárnyalábnak a felét engedi át, ugyanolyan vastag ólomlemez ennek körülbelül csak az 50-ed részét; sőt ha a vaslemez olyan vastag, hogy a beeső sugárzásnak csak $\frac{1}{3}$ -részét engedi át, akkor meg a vele egyenlő vastag ólomlemez még $\frac{1}{500}$ -részét sem igen bocsájtja át a ráeső nyalábnak. Egyébként e kérdésben igen fontos szerepet játszik a sugárzás színe, hullámhossza is. Összetett sugárzásra ilyen szabályokat megadni nem lehet.

b) *Fémöntvények, fémalkatrészek vizsgálata.* Az említett tapasztalati alapokon nyugszik nagy részben a Röntgen-sugárzás orvosi alkalmazása, továbbá a fémek vizsgálata terén való felhasználása is, mellyel foglalkozni óhajtunk. Ennek a lehetőségére már RÖNTGEN rámutatott, mikor egy

megtöltött vadászfegyverről szép fölvételt készített (2. kép). Az eljárás azonban csak az utóbbi években fejlődött ki. Öntés közben leggyakrabban buborékok keletkeznek az öntött fémtárgy belsejében, vagy lehűlés közben feszülés és ennek nyomán repedés támad. Az ilyen hibás öntésű fémtárgyról készült Röntgen-képen sötét foltok vannak (3. kép). Ugyanis a 4. kép szerint nyilvánvaló, hogy a belső üregben (d) áthatoló Röntgen-sugárnak vékonyabb fémrétegen kell keresztülmennie, mint a szomszédos sugárnak, tehát kevesebb veszteséggel jut keresztül. Ha a Röntgen-lámpát eltolva ugyanarra a lemezre két felvételt készítünk, a buborék mélységét is meg tudjuk határozni! A módszer érzékenysége felől tájékoztat az, hogy például 3 cm vastag sárgarézlemezben 0.5 mm-es lyukat 16 mp-es fölvétellel, 6 cm-es sárgaréztömbben pedig ugyancsak 0.5 mm-es lyukat közel 1 órai megvilágítás után sikerült kimutatni. (230 kilovolt, 10 milliamp., 35 cm antikatód-távolság mellett erősítő ernyővel.)



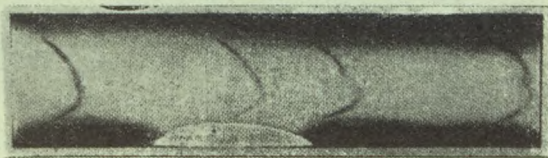
4. kép. Üreg a test belsejében, a Röntgen-sugarak útjában.



5. kép. Hibás stellit-darab Röntgen-képe.

Újabban sikeresen alkalmazzák a Röntgen-sugárzást a stellit vizsgálatára, mely igen kemény kobalttartalmú ötvény s vágó, maró szerszámok készítésére használják. Megmunkálni nagyon nehéz, éppen ezért fontos, hogy a hiba megmunkálás előtt derüljön ki. Az 5. képen nagyon buborékos stellit darab Röntgen-fényképe látható.

Fémcsövek külsőleg sokszor teljesen épnek látszanak, pedig lehet, hogy belső bajban szenvednek. A 6. kép egy 28 mm külső és

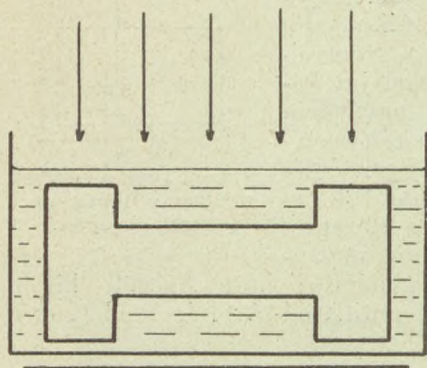


6. kép. Hibásan húzott rézcső Röntgen-képe.

4 mm belső átmérőjű vörösrézcső Röntgen-képének másolata. Látjuk, hogy milyen súlyos húzási hibák vannak benne. Nagy szerepe van a Röntgen-sugárnak repülőgép-alkatrészek megvizsgálása terén is, amelyeken lévő láthatatlan repedés vagy más anyaghiba esetleg végzetes lehet. Ha az átvilágítandó fémtárgy helyenkint különböző vastagságú (vasúti sinek), akkor olyan folyadékba merítik, melynek

elnyelése megegyezik a vizsgálandó anyaggal (7. kép). Így például vas- és acéltárgyak átvilágításakor metiljódid benzines oldatát használják celluloid-kádban.

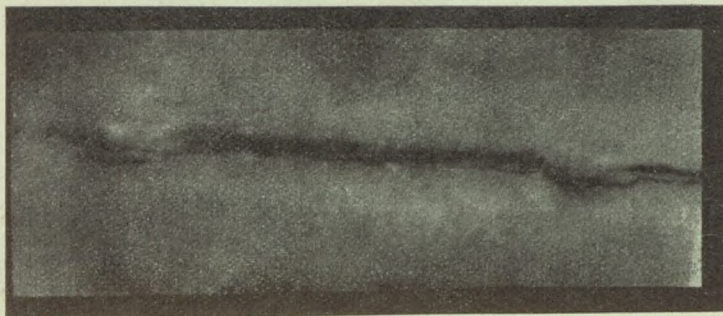
c) *Hegesztések vizsgálata. Vasúti alkalmazás.* Ez különösen előrehaladott állapotban van a németországi wittenbergei vasúti műhelyben,



7. kép. Változó vastagságú tárgyak átvilágítása fürdőben.

melyet külön tanulmány tárgyává tettem. Mindenki tudja, hogy egy vasúti mozdony milyen óriási igénybevételnek van kitéve. Napról-napra hatalmas tűz ég a gyomrában, a tűzszekrényben, melyet 2—3 cm-es rézlemezek zárnak körül; kazánjának hasonló vastag vasfalát állandóan feszíti a gőz, stb. És ennek ellenére a mozdornak ki kell tartani, hiszen tudjuk, mit jelent egy törés, egy robbanás. Gyakran előfordul, hogy a mozdony tűzszekrényének falán vagy a kazánfalon, esetleg a gőzhengeren kell hegesztést végezni vagy a mozdony építése közben vagy elhasználódás miatt.

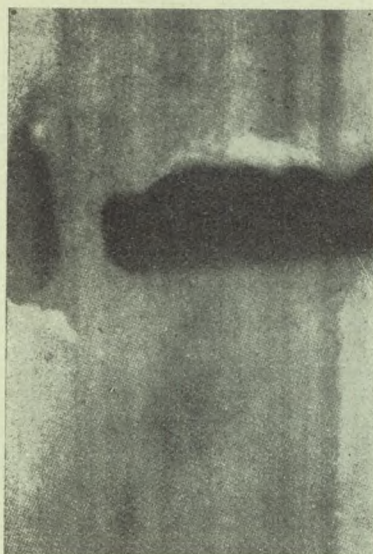
Ennek a hegesztésnek természetesen kifogástalannak kell lennie. És miképpen lehet a hegesztés jóságáról meggyőződni? Rátekintéssel, megtapintással még annyit sem mondhatunk, mint az orvos a törés után összehegedt csontokról. Be kell látni a hegesztett rész belsejébe, még



8. kép. Zsugorodásból származó belső repedés.

pedig a hegesztett sebhely egész terjedelmében. Ide pedig csak a Röntgen-sugár vet fényt.

Gyakori eset a hegesztés után a felmelegített helyen fellépő összezsugorodás lehűlés közben, melynek nyomán belső repedés keletkezik s ez kívülről nem is látszik. A 8. kép ilyen zsugorodásból származó belső repedést mutat, amely 15 mm-es kazánlemezen ívfénnyel való hegesztés után állt elő. A 9a. 8 mm-es acélhegesztésről készült Röntgen-kép, amely belső üregesedést, úgynevezett Lunker-hibát árul el. Kettévágás után a hibás hegesztési hely közönséges fényképe a 9b. képen látható.



9a. kép. Hegesztés üregesedési (Lunker) hibával.

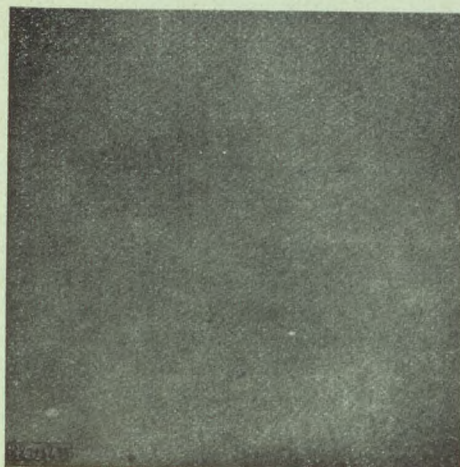


9b. kép. Az átvágott hegesztési hely fényképe.

Kimutatható a hegesztett részben idegen anyagok (például kén) kiválása, oxidok, salak keletkezése (elégetés), bármilyen hibás kötés a hegesztő anyag és a fémek között. Mindegyik hibának megvan a maga jellegzetes Röntgen-képe, melyet különösen a wittenbergei vasúti műhelyben KANTNER és HERR állapítottak meg.

Röntgen-felvétellel persze megállapítható a hegesztés jósága, hibátlan volta is. A 10. kép felső része egy mozdony hajtórúdja közepén hegesztve, alatta van a Röntgen-kép: hibának nyoma sincsen.

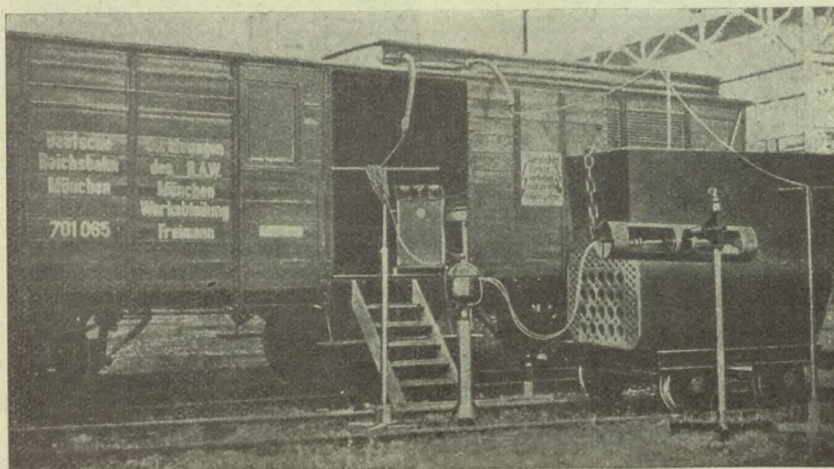
A német vasutak teljes mértékben felismerték már a Röntgen-vizsgálatok nagy jelentőségét és nemcsak egyes műhelyekben rendeztek be erre való készülékeket, hanem szállítható beren-



10. kép. Hibátlan hegesztés.

dezéseik is vannak. Egyik Röntgen-készülék főként műhelyi vizsgálatokra való és teherkocsiba van beépítve, hogy a különböző műhelyekbe lehessen szállítani. A 11. kép egy mozdony tűzszekrényének a vizsgálatát mutatja ezzel a berendezéssel. A másik készülék személykocsiban van elhelyezve és kint a szabad pályán is használható vizsgálatokra. Képünkön éppen egy vashídon történt hegesztést világítanak át (12. kép). Nagyon fontos lehet a mozdony gőzhengerének megvizsgálása Röntgen-sugarakkal.

Még néhány szóval megemlékezünk a megvilágítási időről. Az alábbi kis táblázat megadja a megvilágítási időt arra nézve, hogy acélról készítve Röntgen-képet, 205 ezer volt feszültség, 8 milliampère lámpa-



11. kép. Teherkocsiban elhelyezett Röntgen-készülék; jobbról oldalt áll a Röntgen-lámpa, amellyel egy lokomotív tűzszekrényéről készítenek Röntgen-képet; a lépcső előtt van a hűtőszivattyú.

terhelés és 50 cm-es antikatód-távolság mellett, ugyanolyan feketedés álljon elő a lemezen erősítő-ernyő nélkül.

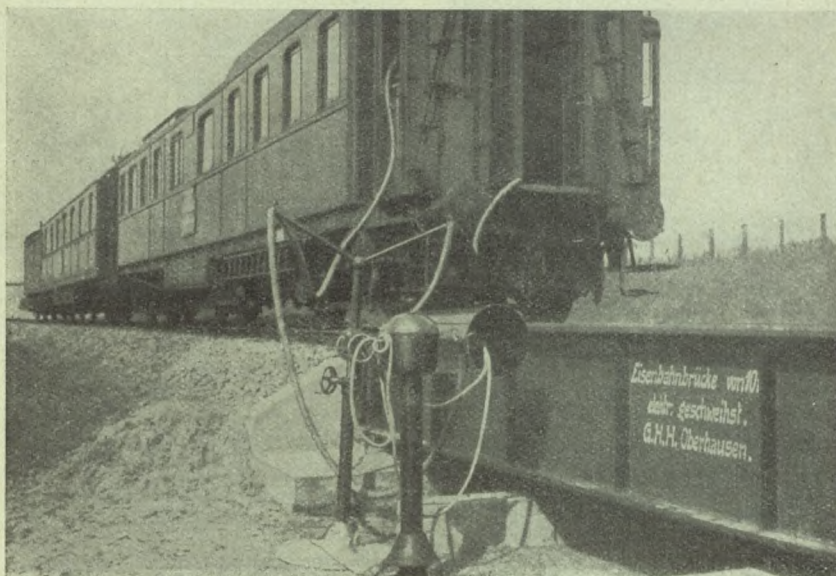
Vastagság cm-ben	1	2	3	4	5
Megvilágítási idő percben	$\frac{1}{2}$	4	10	30	70

d) *Festmények vizsgálata.*¹ A Röntgen-sugárzást újabban festmények megvizsgálására is felhasználják. Ennek alapja az, hogy a különböző festékek kémiai összetételük szerint különbözőképen bocsájtják át magukon a Röntgen-sugarakat. Így az ólomfehér, a cinóber, a krómsárga ólmot, higanyt tartalmaz, amelyek igen magas rendszámú elemek s így erősen nyelik el a Röntgen-sugárzást. A következő festékcsoport: a cinkfehér, a kobaltkék, az okker már könnyebb fémeket (cink, kobalt, vas) tartalmaz, amelyek a Röntgen-sugarakat jobban átengedik, mint az előbbieik. Nagyon keveset nyelnek el belőlük az úgynevezett szerves festékek, amelyek

¹ DR. HOFFMANN ERNŐ: Természettud. Közl. 62. k., 111. o. (1931).

egészen kis rendszámú elemeket (szén, oxigén, stb.) tartalmaznak. A régi mesterek általában nehéz fémfestékeket használtak, míg a mult század közepe óta előtérbe nyomultak a szerves festékek.

A Röntgen-átvilágítással meg lehet állapítani egy képről mindenekelőtt azt, hogy át van-e festve vagy nincs. Ugyanis sok hamisítványt régi, csekély értékűnek tartott képre festettek, hogy szintén réginek tűnjék fel. Sőt maguk az egyes mesterek is átfestették néha kevésbé sikerült képüket. A 13a. kép egy Mater Dolorosa-hamisítvány a XIX. század első feléből s DIRCK BOUTS németalföldi festő modorát utánozza, aki a XV. század közepe táján működött. A jobboldali Röntgen-kép (13b.) bizonyítja, hogy ez a festmény hamisítvány; ugyanis alatta látszik LUKAS CRANACH egy képe, amely



12. kép. Személykocsiban elhelyezett Röntgen-berendezés, amelyet a szabad pályán egy híd hegesztésének megvizsgálására használnak; a híd mellett van a Röntgen-lámpa és a hűtőszivattyú.

JUDITOT ábrázolja a megölt HOLOFERNES mellett s a XVI. század közepéről való. A Röntgen-felvétel alapján a hamisítványt eltávolították és így napvilágra került az alsó kép, amely ma nagy értéket képvisel.¹

Hasonlóan fontos annak a megállapítása, hogy egy kép eredeti vagy másolás. Ez Röntgen-vizsgálat útján kiderül. Ugyanis az eredeti képen többnyire változtatások, javítások vannak, míg a másolatok csak a kész képet utánozzák. Már pedig a javítások a Röntgen-képen meglátszanak. De meglátszik a Röntgen-képen az ecsetkezelés, a festék felrakási módja is, sőt a vászon vagy fa szerkezetéről is tájékoztat. Látszólag hiányzó aláírásokat is napvilágra hozott már a Röntgen-kép.

¹ Ez a Röntgenfelvétel a bécsi Röntgentechnische Versuchsanstaltban készült és annak vezetője, DR. SPIEGLER GOTTFRIED Közlönyünknek engedte át első közlésre, miért is hálás köszönetemet fejezem ki. — Ugyancsak köszönetet mondok WILDE MARGIT úrhölgynek is a képek kölcsönzéséért.



13a. kép. Mater Dolorosa-hamisítvány fényképe.



13b. A hamisítványról készült Röntgen-kép.

e) Az erdészetben sem maradt szerep nélkül a Röntgen-sugárzás. A 14. képen látható, miképen világítanak át egy élőfát, hogy megállapítsák, vajjon nem pusztítják-e belsejét rovarok, nem vájtak-e lyukakat benne. A 15a. képen látjuk a foltos Röntgen-felvételt, mellette pedig



14. kép. Röntgen-fénykép készítése élőfáról.

a kivágott és kettéfűrészelt fatörzs közönséges fényképét a lyukakkal és a rovarok lárváival. (15b. kép.) De nemcsak az élőfák vizsgálata körül, hanem általában a faiparban is nevezetes szerep jutott újabban a Röntgen-sugárnak.

III. A Röntgen-színképek előállítás és gyakorlati alkalmazása. Az eddigiekben meggyőződhattunk arról, hogy a Röntgen-árnyékképek sok rejtett dolgot elárulnak a test belsejéről. De még többet mondanak erről a Röntgen-színképek. Ilyeneket LAUE¹ kezdeményezése alapján FRIEDRICH és KNIPPING német fizikusok állítottak elő először 1912-ben Münchenben. Az eredeti eljárást gyakorlati célokra módosította az angol BRAGG.

1. *A Bragg-féle Röntgen-spektrográf.* BRAGG eljárását könnyen megérthetjük a Lippmann-féle színes fényképezés elve alapján. Ha igen finom



15a. kép. Élőfáról készült Röntgen-fénykép.



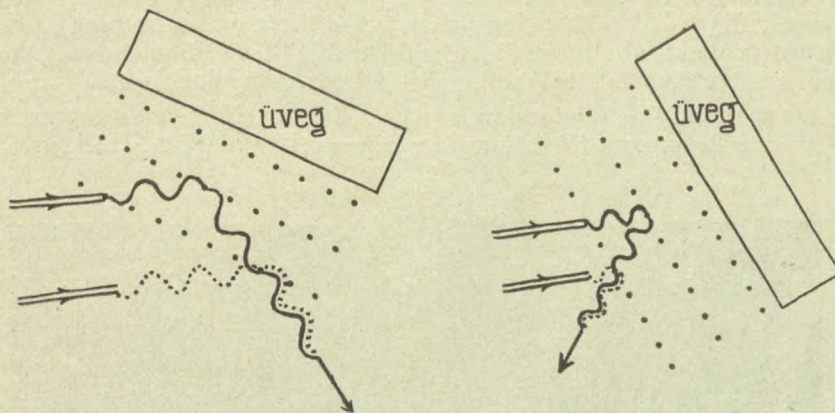
15b. kép. A kettévágott fatörzs fényképe.

szemcséjű fényképező lemezt érzékeny rétegével tükröző higanyfelülethez nyomunk s egyszínű, például zöld fénnel megvilágítunk, akkor a fény-érzékeny rétegben úgynevezett álló fényhullámok keletkeznek, akár csak a falhoz erősített kötél, ha végét ide-oda mozgatjuk. A csomópontokban egyáltalában nem lesz fényhatás, a hullámhegyek és völgyek helyén pedig igen. Ennek azután az lesz a következménye, hogy előhívás után a lemezen igen finom átlátszó ezüstretegek keletkeznek, melyek egymástól ezredmilliméter rendű távolságban vannak. E rétegek mikroszkóp alatt láthatók is. Ha most ilyen lemezre fehér fényt ejtünk, akkor a visszavert fény színes lesz, még pedig színe attól függ, hogy milyen szög alatt esik a lemezre a fehér fény (16. kép). Ugyanis a fehér fény a vékony ezüstretegek sorozatán áthatol; mindegyik visszaveri egy részét s így a visszaverődés irányában több hullám, több sugár halad. Ezek csak olyan szín esetében, csak akkor erősítik egymást, ha hullámhegy ismét hegyre, a völgy pedig völgyre jut. Ha fehér fény esik a lemezre bármilyen szög alatt, a lemez mindig kiválasztja a neki megfelelő színű fényt s más és

¹ ZEMPLÉN Gy.: Természettud. Közl. 45. k. 493. o. (1913.)

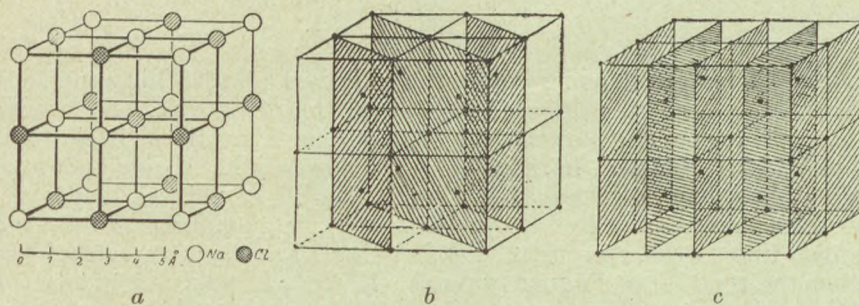
más beesési szög mellett más és más színű fényt ver vissza. Tehát a lemez forgatása által megkaphatjuk a közönséges színeképet. Ha azonban egyszínű fény esik a lemezre, ez már csak bizonyos meghatározott szögek alatt verődik vissza.

Egészen hasonló jelenség játszódik le a Röntgen-sugaraknak kristályokról történő visszaverődésekor. A mineralógusok már régen gondoltak arra,



16. kép. A Lippmann-féle színes fényképezés alapelve. Az üveggel párhuzamos pontsorok megfelelnek a lemezen keletkező ezüstrétegeknek (nem szomszédosaknak). A baloldali képen visszavert sugár másszínű, mint a jobboldali.

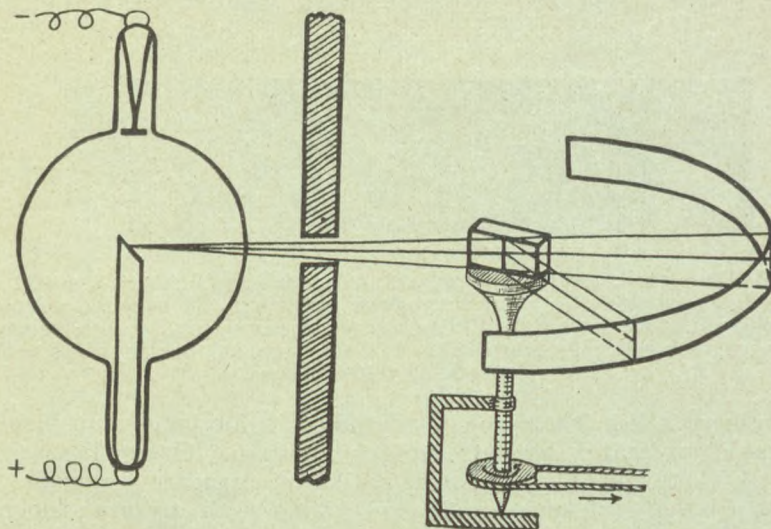
hogy a kristályok atomjai szép rendben vannak elhelyezve, hogy a kristályok határlapjai s a velük párhuzamos síkok is atomrétegeknek tekinthetők. Hasonlók ezek a fényképező lemezen lévő finom ezüstrétegekhez.



17. kép. A kőso kristályos szerkezete és hálózati síkjai.

Az egy-egy síkba eső atomrendszert hálózati síknak nevezzük, mert föltevésünk szerint az atomok egy háló csomópontjaihoz hasonlóan helyezkednek el. Egyik legismertebb kristály a kőso-kocka. (17, a). Ennek legtermészetesebb hálózati síkjai a határlapok s a velük párhuzamos síkok (17, c), melyeknek távolságát a gramm-molekulában lévő atomszámnak (Avogadro-féle szám) felhasználásával ki is lehet számítani: ez a távolság csak néhány tízmilliomod milliméter, tehát jóval

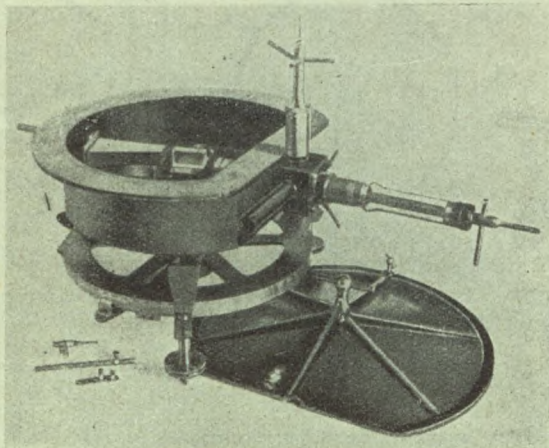
kisebb, mint a Lippmann-féle ezüstretegek távolsága. Egy ilyen hálózati síkban az atomokat metsző egyenesen haladva felváltva találkozunk



18a. kép. A BRAGG-féle Röntgen-spektográf vázlatos rajza.

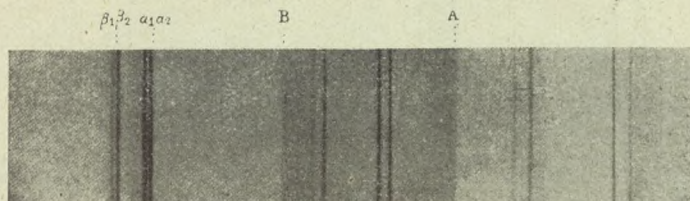
klór- és nátrium-atomokkal. Persze vannak más hálózati síkok is: gondolhatunk a kocka egyik átlós síkjára s a vele párhuzamos síkokra (17, b). Ezeknek egymástól való távolsága kisebb az előbbinél. A kőshöz hasonló kristály a szilvin (kálium-klorid) és a káliumbromid.

Ha ez az egész elgondolás helyes, akkor egy kőskristály természetes határlapjáról a Röntgen-sugárnak éppen olyan törvények szerint kell visszaverődnie, mint a Lippmann-féle lemeztől a fénynek. S valóban BRAGG a 18a. képen látható kísérleti berendezéssel megmutatta, hogy a kőskristályról különböző beesési szögek mellett más és más hullámú Röntgen-sugarak verődnek vissza. Más szóval: ha egy kis résen keresztül összetett Röntgen-fénytejtünk a kristályra, amelyet tengely körül



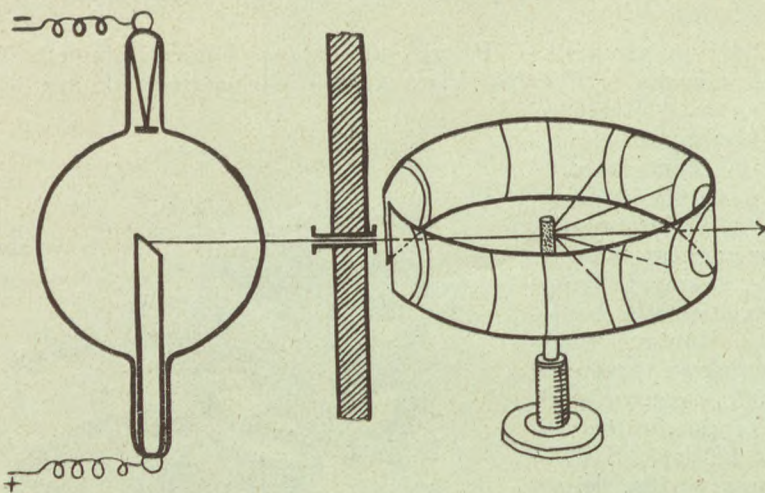
18b. kép. A SIEGBAHN-féle Röntgen-spektográf fényképező kamrával. A 40—50 cm átmérőjű lezárható vasedényből a levegőt kiszivattyúzzák, ha lágy sugarakkal (2—3 Å-ön felül) dolgoznak, mert ezeket a levegő elnyeli. A Röntgen-lámpa rá van erősítve az edény oldalára s így a sugarak levegőn nem haladnak keresztül.

forgatunk, akkor a kristályt koszorú alakban körülövező filmszalagon megkapjuk a Röntgen-színképet (19. kép). Ilyet lehet készíteni a 18b. képen látható Siegbahn-féle spektrográffal is. A Röntgen-színképnek van egy folytonos fekete alapja, mely a rövidhullámú oldalon élesen van hatá-



19. kép. Wolfram-antikatódú lámpa sugárzásának színképe. A $\beta_1 \beta_2 \alpha_1 \alpha_2$ a wolframra jellemző színképi vonalak. A többi vonalpárok ugyanezek, de nagyobb visszaverődési szögekhez tartoznak. A B és A közötti sötétebb sáv a fényképező rétegben lévő ezüst erős sugárelnyeléséből származik. A B-től balra eső halványodást a lámpa üvegfalának elnyelése okozza.

rolva és amilyen éles fekete vonalak láthatók. A folytonos alap független az antikatód anyagától, hanem csupán a bombázó elektronok sebességétől függ. A fekete vonalak ellenben az antikatód anyagára jellemzők, éppúgy, mint a látható színképvonalak az őket kibocsájtó anyagra ; ismeretes,



20a. kép. A DEBYE és SCHERRER-féle Röntgen-spektográf vázlatos rajza.

hogy a konyhasóval megfestett ívlámpafény folytonos színképében éles sárga vonal jelenik meg ; a fekete Röntgen-vonalakat már nem az antikatódba vágódó elektronok, hanem éppen az antikatód atomjainak kötelekékébe tartozó elektronok sugározzák ki. Ha homogén Röntgen-fény esik a kristályra, nem veri vissza bármilyen beesési szög mellett, hanem csak bizonyos meghatározott szögek esetén. Éppen a visszaverődési szög és a hálózati síkok távolságának ismerete alapján lehet egy Röntgen-vonal hullámhosszúságát is kiszámítani.

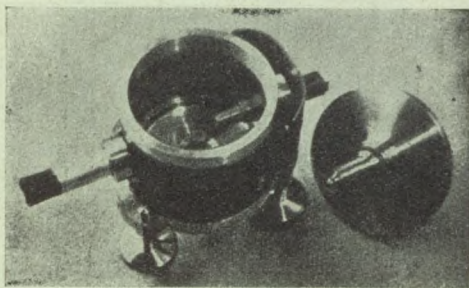
A Röntgen-színképeknek is megvan a maga gyakorlati alkalmazása. Egy ötvözet színképében ugyanis megjelennek az összes alkotórészek színképvonalai; például a wolfram-acél színképében ott látjuk a vas, wolfram és króm vonalait, sőt esetleg a még előforduló többi alkatrészekét is. Így azután nagyon könnyen lehet minőségi vegyelemzést végezni. Sőt az eljárást olyan irányban is fejlesztették, hogy mennyiségi elemzésre is alkalmas. Ez a vegyvizsgálat különösen akkor előnyös, mikor csekély anyagmennyiség áll rendelkezésre, vagy a kémiai elemzés nagyon körülményes.

2. *A Debye és Scherrer-féle Röntgen-spektográfok.* A Bragg-féle eljárást a gyakorlati céloknak nagyon megfelelő módon változtatták meg DEBYE és SCHERRER. Az ő spektográfjukban nincs szükség szépen kifejlődött kristályra, hanem bármilyen kristálytörmelék, por használható.

Ezt a következőképen láthatjuk be. A hosszúkas rés helyett ejtsük kis lyukon keresztül a sugárnyalábát a kristályra, ekkor a színképvonalak pontszerű foltokká zsugorodnak össze. Ha a kristályt egy-egy ilyen foltra beállítva, most még a beeső sugár mint tengely körül forgatjuk, e közben a sugár a kristályról kúppalást mentén verődik vissza s a széles, hengeres filmre íveket rajzol. (20a. kép).

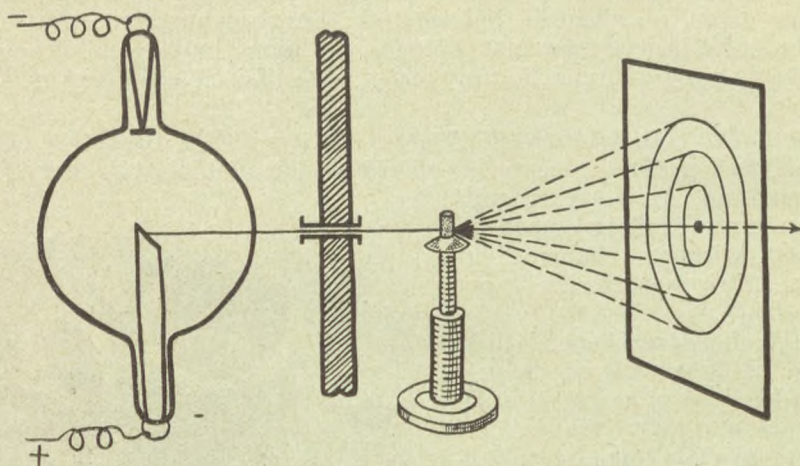
Egy másik színképvonalra (foltra) beállítva a kristályt, más (nagyobb vagy kisebb) íveket kapunk. A Bragg-féle színképi vonalaknak megfelelő összes íveket megkapjuk, ha a kristályt egyrészt eredeti (függőleges) forgási tengelye, másrészt a beeső sugár mint (vízszintes) tengely körül minden szabály nélkül, össze-vissza forgatjuk. Eközben ugyanis a hálózati síkok minden lehetséges helyzetet elfoglalnak, de egymás után. Hogyan érhetjük el legegyszerűbben, hogy ez egyidejűleg következzen be? Úgy, hogy a kőskristály helyett kőstörmeleket veszünk, melyből valamilyen ragasztó anyaggal kis lemezt vagy rudat készítünk. Hogy nagyon sok vonal ne jelentkezzen, ezért a Debye-Scherrer-féle eljárásban megszürt, homogén Röntgenfényt használnak, leginkább a réznek jellemző erős sugárzását (1.54 \AA). Ez a sugárnyaláb a kép szerint ráesik a kristályporból gyúrt pálcikára, onnét pedig a fényérzékeny filmhengerre. A 20b. kép egy Debye-kamrát mutat.

A Debye-Scherrer-féle eljárást sokszor úgy is módosítjuk, hogy a film nem koszorú alakban övezi a kristályport, hanem a beeső sugár irányára merőlegesen van elhelyezve. (20c. kép.) Ekkor a Röntgen-képen szép szabályos köröket kaphatunk, ha a kristályszemcskék minden elképzelhető helyzetben előfordulnak. Ez nincs mindig így, mint azt látni fogjuk. Mi főképen ez utóbbi ismertett Debye-eljárás gyakorlati alkalmazásáról szólnak.



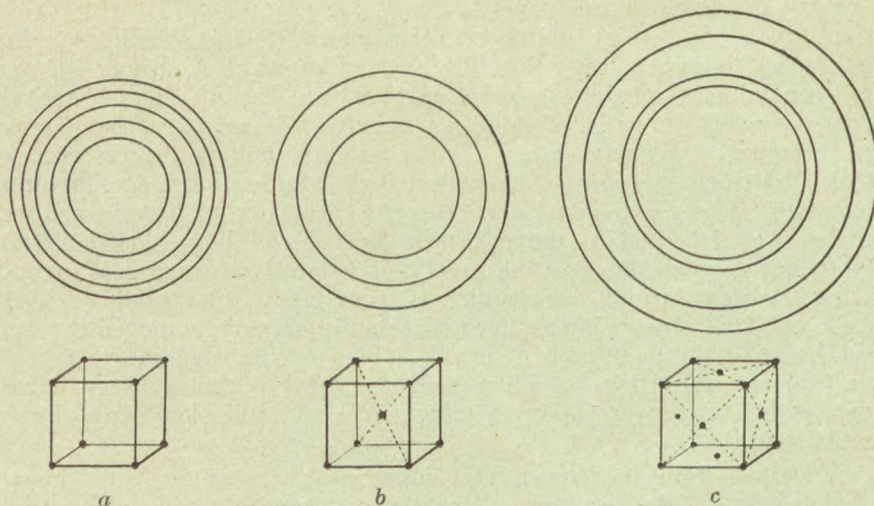
20b. kép. A DEBYE és SCHERRER-féle Röntgen-spektográf fényképe. Egyik oldalcsövön belép a sugárzás, a másikon pedig ki. A kamra belső átmérője 8 cm.

Ismerve a beeső Röntgen-fény hullámhosszát és a kristály adatait, előre meg lehet határozni számítással, hogy bizonyos fajta kristályoknak



20c. kép. A DEBYE és SCHERRER-féle eljárás módosítása.

(atomrácoknak) milyen gyűrűrendszer felel meg. Így például a közönséges kockarács körrendszerét a 21, *a* kép mutatja ; a k ö z é p p o n t o s k o c k a-

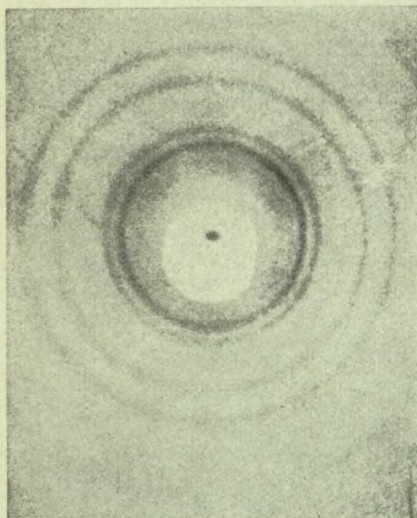


21. kép. A DEBYE-féle gyűrűk relatív elhelyezkedése kockarácok esetében.

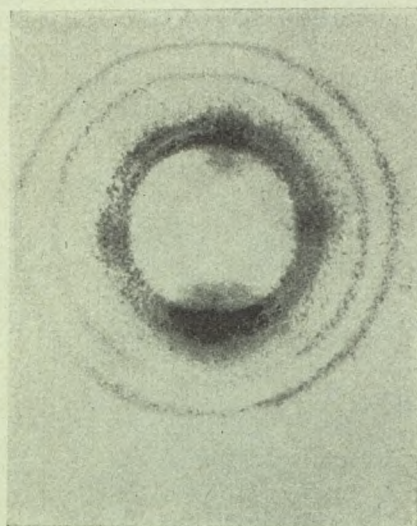
rácsnak — mely az előbbtől abban különbözik, hogy minden kocka középpontjában is van egy atom — a 21, *b* kép felel meg ; a h a t á r p o n t o s kockarácshoz, melynek minden határlapja közepén is van egy atom,

tartozik a 21, c kép. Viszont a dolgot meg is lehet fordítani. Ismerve a beeső Röntgen-fényt és megmérve a kapott gyűrűrendszer adatait, következtetést vonhatunk a használt kristályok szerkezetére, akárcsak az Eötvös-ingával nyerhető nehézségi térképekből a föld belsejére. Sokszor a felvétel pontos megtekintése elég ahhoz, hogy az atomrács típusáról tájékozódjunk.

a) *A fémek kristályos szerkezete.* Az utóbb említett eljárással nemcsak a közönséges értelemben vett kristályok belső szerkezetét határozhatjuk meg, hanem ki tudjuk mutatni azt is, hogy a fémek atomjai is a kristályokéhoz hasonló szabályszerűséggel vannak elhelyezve. Így például finom alumíniumporból ragasztóanyaggal készült, mintegy fél mm vastag



22a. kép. Finom alumínium-porral készült Debye-gyűrűk.

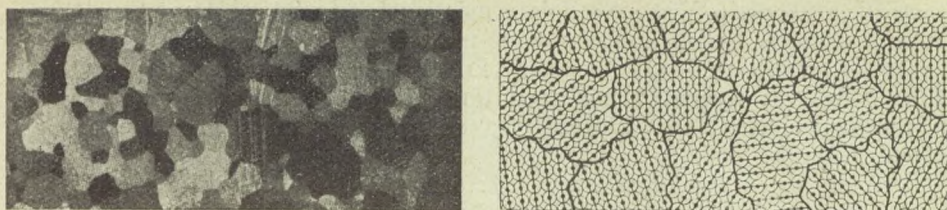


22b. kép. Ugyanazok durvább porral.

és néhány mm hosszú pálcika a 22a. képen látható Debye-féle köröket adja; durvább szemcséket használva a körök foltosakká válnak (22b.). Ha összehasonlítjuk ezeket a korábbi 21, c képpel, vagy pedig megmérjük a körök átmérőjét s más szükséges adatokat, rögtön látjuk, hogy határpontos kockaráccsal van dolgunk. Tehát egy kis alumíniumszemecskében az atomok nem összevissza vannak elhelyezve, hanem az említett szép rendben. Ugyanilyen a legtöbb fém: kobalt, nikkel, réz, ezüst, platina, arany, ólom, vas γ változata, stb. Más fémek atomjai viszont középpontos kockarácsot mutatnak 21, b: így mindenekelőtt a wolfram, molybdén, vas α változata, stb. Bonyolultabbak is vannak. Egy-egy kis rácskocka éle a mérések szerint a következő hosszúságú:

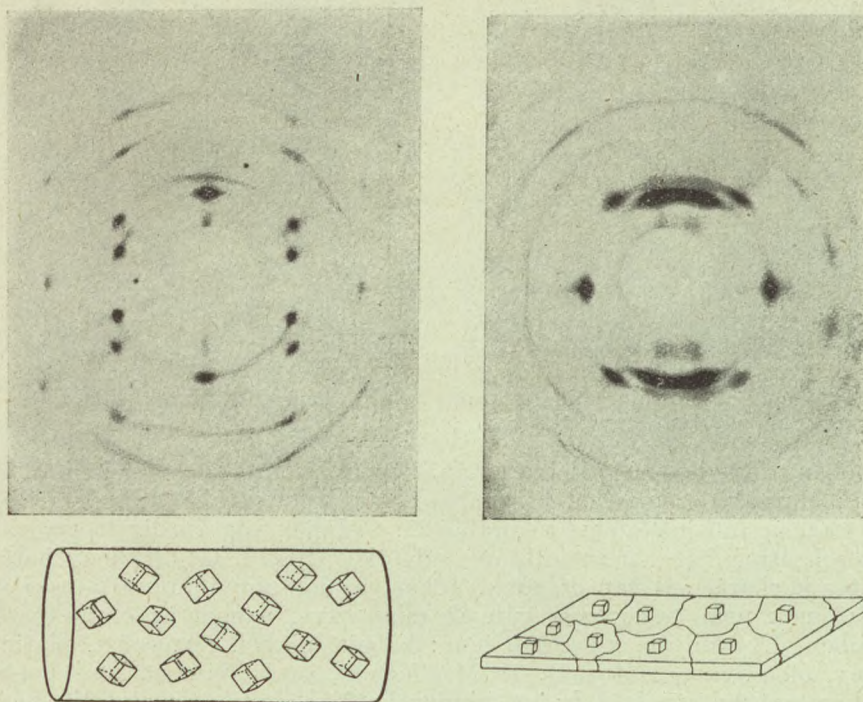
Al	4.043 Å	Mo	3.143 Å
Cu	3.603 Å	Fe(α)	2.855 Å

b) *A fémszemcsék elhelyezkedése.* A csiszolt fémfelületek megfelelő lemaratása után erős nagyítású mikroszkóp alatt látni lehet, hogy a fém



23. kép. Fémfelületek mikroszkópi képe (balról) és a szemcsék rendezetlen elhelyezkedésének vázlatos rajza (jobbról).

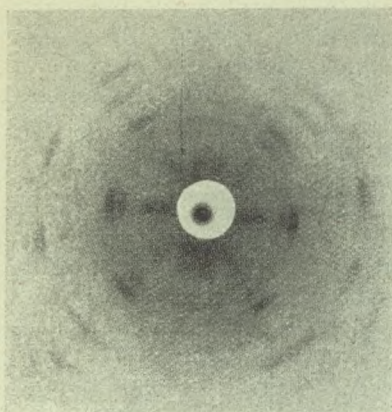
különálló részecskékből, szemcsékből áll, egészen hasonlóan az előbbi alumíniumporból gyárt kis rudacskához. Az egyes szemcsékben az atomok az előbbieket szerint szép szabályosan, rácsszerűen vannak elrendezve, de a különböző szemcsék megfelelő hálózati síkjai általában véve teljesen rendezetlenek (23. kép). Így azután a Debye-kép folytonos körökből áll.



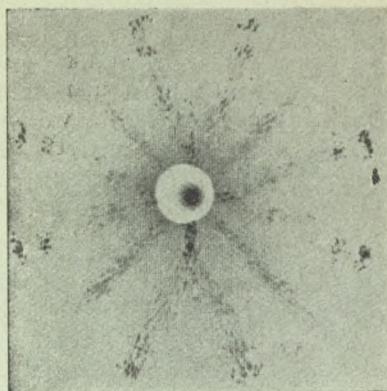
24a. kép. Húzott alumíniumdrót Debye-képe (fölül). Az egyes fémszemcsék kocka rácának elhelyezkedése (alul).

24b. Hengerelt alumíniumlemez Debye-képe (fölül). Az egyes fémszemcsék kockarácának elhelyezkedése (alul).

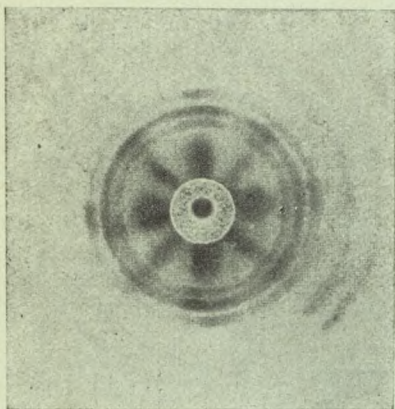
A fém megmunkálása (húzás, hengerelés, kalapálás) közben elrendeződnek ezek a szemcsék bizonyos módon. Ennek az lesz a következménye,



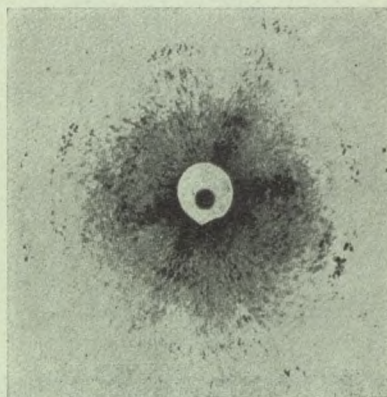
a = egy irányban hengerelve.



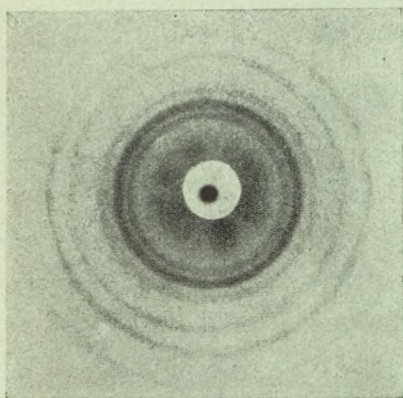
a = egy irányban hengerelve.



b = két egymásra merőleges irányban hengerelve.

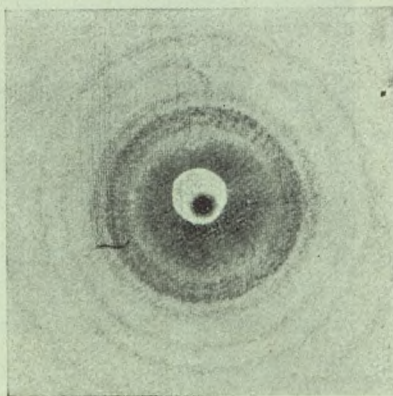


b = két egymásra merőleges irányban hengerelve.



c = teljesen rendszertelenül hengerelve.

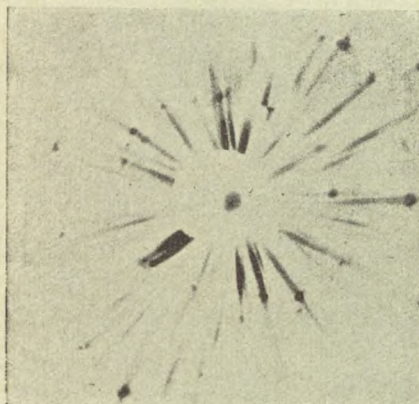
25. kép. Hengerelt rézlemez
Debye-képei.



c = rendszertelenül hengerelve.

26. kép. Hengerelt rézlemez Debye-
képei újrakristályosodáskor.

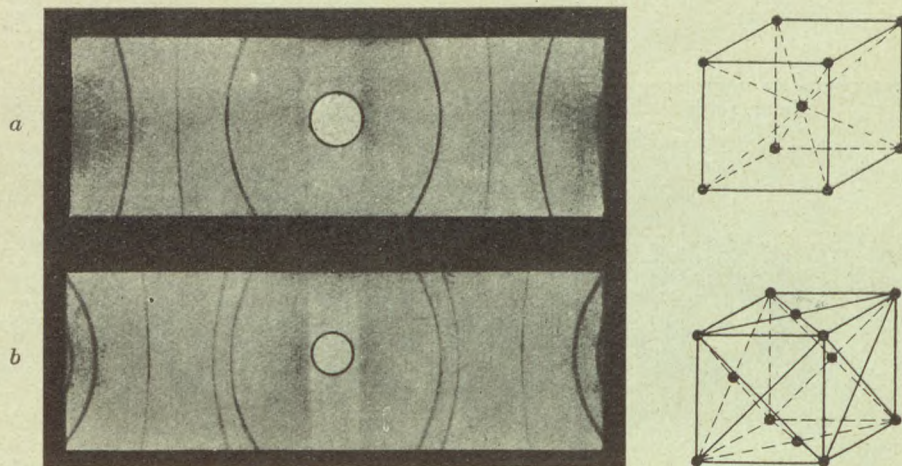
hogy a Röntgen-kép nem lesz folytonos kör, hanem egyes ívdarabokra vagy pontokra zsugorodik össze. A megmunkálás következtében ugyanis a hálózati síkok most már nem fordulnak elő minden lehetséges helyzetben, hanem egyesek hiányzanak s így hiányzanak a kör megfelelő részletei is. A körök megmaradt darabjaiból éppen következtetni lehet, hogy miképen vannak elhelyezve az egyes szemcsék, kristályocskák. A 24a



27. kép. Belső feszülésű rézöntvény Debye-képe.

képünk mutatja egy húzott alumíniumdrót Debye-képét a drót tengelyére merőleges irányban, a 24b pedig egy hengerelt lemezét, reá merőleges irányban ejtve be a Röntgen-sugarakat. A képek alatt látható a szemcsék elhelyezkedése a megmunkálás következtében. A 25. képeken egy rézlemez szerkezeti változását látjuk, miközben 4 mm-ről 0.05 mm-re hengerelik. Az első kép egy meghatározott irányú, a második két egymásra merőleges irányú, a harmadik teljesen szabálytalan hengerelés után készült. A fekete foltok mindinkább folytonos körökké olvadnak össze, jelölül annak, hogy a szemcsék elhelyezkedése mind rendszertelenebb lesz.

c) *Újrakristályosodás.* Ha a megmunkált fémet tartósan melegítjük, a szemcsék növekszenek, nagyobb szemcsék keletkeznek s az anyag rend-



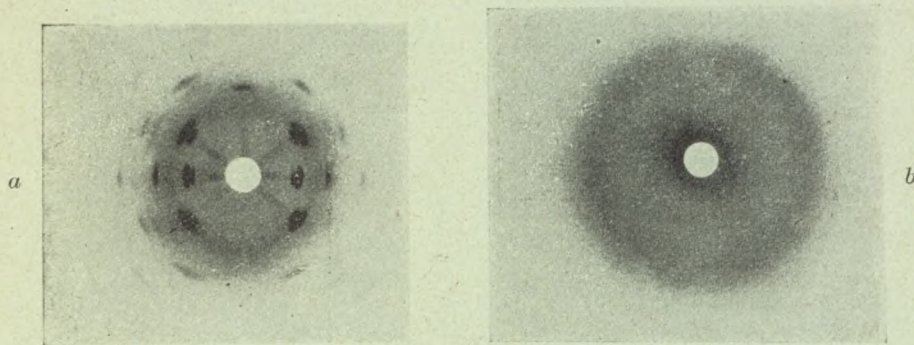
28. kép. A vas különböző változatainak Debye-képe. A hengeres film fölvágva és síkban kiterítve. Jobbról a megfelelő kockarácsok.

szerint kevésbé törékeny lesz, szilárdsága is csökken. Ezt a folyamatot hívják újrakristályosodásnak. Ez is érdekesen nyilvánul meg a Röntgen-képben.

Az előbbi hengerelt rézlemezeket 24 órán át 250° -os hőmérsékleten tartották, miközben kifejlődtek a nagyobb, durvább szemcsék s a Röntgenfelvétel (26. kép) a durvább szemcséjű alumíniumporról készült képre emlékeztet.

d) *Belső feszülések vizsgálata.* A Röntgen-kép alkalmas fémöntvényekben fellépő belső feszülések kimutatására is. Ugyanis mindaddig, míg a fémszemcsék bizonyos szabályszerű elrendeződést mutatnak, a Debye-képen kisebb-nagyobb köríveket látunk szabályosan eloszolva. Ha azonban öntés vagy megmunkálás közben feszülések állnak elő, akkor egy kis próbadarab Röntgen-képe, melyet az öntvény különböző részeiből ki lehet vésni, sajátos sugaras képet mutat. A 27. kép belső feszüléssel ellátott rézöntvényről készült.

h) *Allotrop átalakulások vizsgálata.* Érdekes módon lehet kísérni a Röntgen-képekkel a fémnek olyan átalakulását, mikor egyes jellemző



29. kép. Természetes (a) és mesterséges kaucsuk (b) Debye-képe.

tulajdonságai változnak meg anélkül, hogy anyagi minősége változnék. Az ilyent hívják allotrop átalakulásnak. Így például a vas 750° -on felül teljesen elveszti mágnességét, nem mágnesezhető. Egyébként különböző allotrop változatait α , β , γ , δ vasnak nevezik:

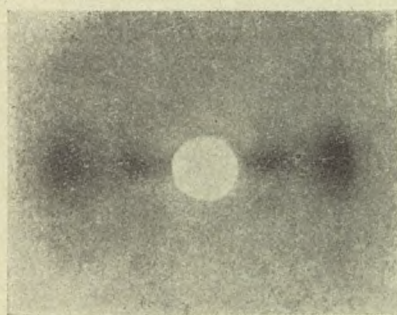
Fe(α)	szobahőm.— 750° -ig.
Fe(β)	750° — 900° „
Fe(γ)	900° — 1400° „
Fe(δ)	1400° — 1500° „

A vas kristályos szerkezetében e közben beálló változást a hengeres Debye-féle kamrával vizsgálhatjuk. A főlvételeket síkban kiterítve a 28. a és b képeket kapjuk. A felső kép mutatja az α , β és δ vas kristályos szerkezetét: középpontos kockarács; az alsó a γ vas szerkezetét: határpontos kockarács.

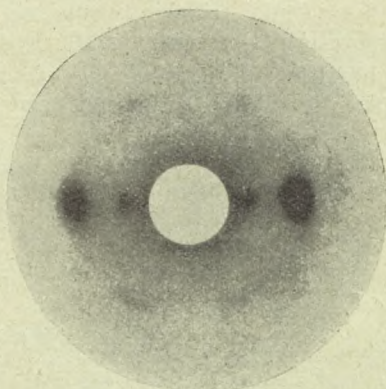
e) Fontos szerepe van a Röntgen-sugárnak egyes anyagok valódiságának a megvizsgálása körül is. Így például sokszor lehetetlen különbséget tenni a természetes és mesterséges kaucsuk között. Segít a Röntgen-kép (29. kép). A természetes kaucsuk jól megnyújtva szabályos elrendeződésű kristályos szerkezetet mutat, mint a bal képen

látható, míg az utánzat megnyujtva vagy megfeszítve is teljesen amorf-testre emlékeztet.

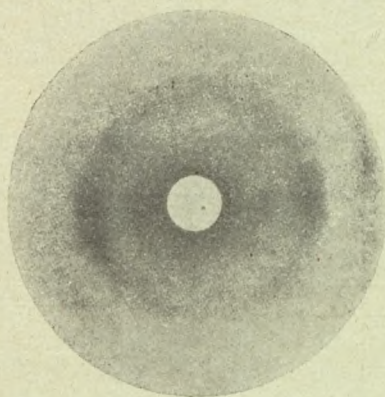
f) Korunknak fontos cikke a selyem, mely a pamutot, vásznat teljesen háttérbe szorította. A selymek vizsgálata terén is nevezetes szerep jut a Röntgen-sugárnak. Ismeretes, hogy a műselyemgyártás korunkban nagyon előrehaladt. A növényi cellulózt, amely például a kender, len szárában rostok alakjában fordul elő, különböző kémiai eljárásoknak vetik alá s pompás műselymet gyártanak belőle, melyet az eljárás módja szerint viszkóz-selyemnek, acetát-selyemnek, réz-selyemnek stb. neveznek. Fontos



a = természetes selyem.



b = agfa-selyem.



c = viszkóz-selyem.



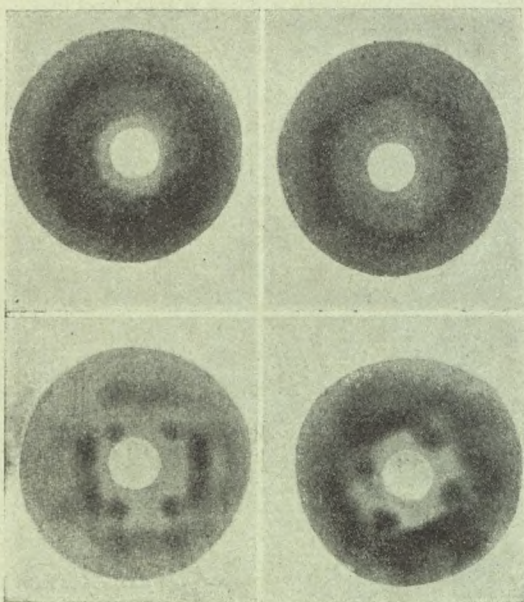
d = acetát-selyem.

30. kép. Természetes és műselymek Debye-képe.

dolog a nagyon jó minőségű műselyemnek a valóditól, sőt a különböző fajú műselymeknek egymástól való megkülönböztetése. Az eddigi eljárások vagy körülményesek, vagy bizonytalanok. Röntgen-felvételekkel igen gyorsan és biztosan lehet tájékozódni (30. kép). A festés sem zavar.

g) A selyemnél is becsesebb a gyöngy. Aki igazgyöngyöt vásárol, szeretne meggyőződni róla, vajjon csakugyan igazgyöngy birtokába jutott-e. Ugyanis a valódi gyöngyök újabban kétfélék: természetes igazgyöngyök

és mesterségesen termelt igazgyöngyök. Ez utóbbiakat úgy termelik, hogy a gyöngykagylót felnyitják s kis gyöngyházgömböcskét ágyaznak köpenyébe ; majd acéldrótból készült kalitkában ismét a tengerbe súlylyesztk. A gyöngyházgomb 7 év alatt pompás gyönggyé fejlődik. Külalakja, kémiai összetétele olyan, mint a természetes igazgyöngyé. A megkülönböztetés ismét Röntgen-sugárral történhet (31. kép). Ugyanis a gyöngyház anyaga foltos Röntgen-képet ad, mely hatszöges vagy négy-



31. kép. Természetes (fölül) és mesterségesen termelt (alul) gyöngyök Röntgen-képe.

szöges szimmetriát mutat, míg az igazgyöngy anyaga foltnélküli köröket. Tehát a termelt igazgyöngy Röntgen-képében foltok és körök együtt vannak.

*

Sok olyan terület van még, ahol a Röntgen-sugár alkalmazást nyer. De nem folytatjuk tovább ezeknek az ismertetését, hanem inkább visszatérünk még egy pillanatra a fénysugárhoz. A fénysugarak a makrokozmosz hírnökei : az égitesteken születve, átszelik a világűrt, esetleg meglátogatnak más csillagokat is, azután eljönnek hozzánk és beszélnek szülőhelyük alkattáról, útjukról. A Röntgen-sugarak a mikrokozmosz kémei : besurrannak az atomok közé, kikémlelik ezt a rejtélyes birodalmat s azután kilépve elmondják a titkokat, melyeket az atomok rejtegetnek. — Csak egyről nem tudnak a Röntgen-sugarak sem szólni : az emberi lélekről. Szeretném, ha ezt is megvilágítanák ; de még jobban szeretném, ha olyan lenne az emberek lelke, hogy a Röntgen-sugárban nyugodtan megmutathatnák az egész világnak.

