

Tmtud. O.

233.

11

Tmtud. O. 233.

**NÉPSZERŰ
TERMÉSZETTUDOMÁNYI
KÖNYVTÁR**

11.-13.

† DR VALTER LÁSZLÓ

**A MIKROSKÓP
ÉS KEZELÉSE**

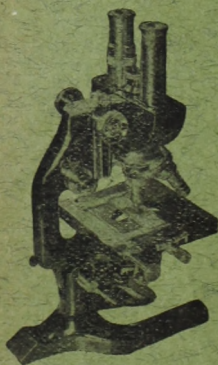


K. M. TERMÉSZETTUDOMÁNYI TÁRSULAT

MIKROSKÓPOK

ÉS AZOK SEGÉDESZKÖZEI,

mikrotomok, tudományos optikai műszerek, tanszerek és laboratóriumi felszerelési tárgyak.



Hazai gyártmányú, nagy teljesítményű epidiaskopok, mozgó- és állófilm-, valamint üvegdiapositiv- vetítőkészülékek. Ezekhez megfelelő tudományos és ipari ágakat felölelő film- és üvegdiapositiv-sorozatok.

Iskoláknak nélkülözhetetlen: 1 készlet, 3 darabból álló kis planetárium, naponta a csillagok állásának megfelelően beállítható, bármely vetítőkészülékkel éppen úgy, mint az üvegdiapositiv, vetíthető.

A teljes készlet ára	40.— pengő.
Zsebmikroszkóp: finom beállításal, bőrtokban, 40—60-szoros nagyítással	15.— „
Ugyanaz. 40—120-szoros nagyítással	22.— „

Mikroszkóporól, vetítőkészülékekről, film- és üvegdiapositiv-sorozatokról kívánatra készséggel szolgál ismertetővel és árajánlattal:

FARKAS BÉLA

Budapest, VIII., Szentkirályi-utca 35.

Telefon: J. 453—72.

Telefon: J. 453—72.

11.

A MIKROSKÓP
ÉS KEZELÉSE

ÍRTA:

† DR VALTER LÁSZLÓ

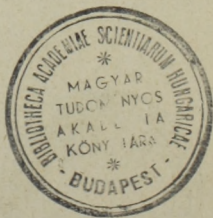
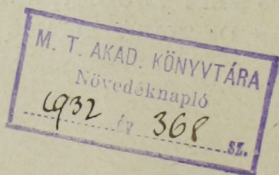
A polarizációs mikroszkópról szóló részt DR DUDICH ENDRE,
a mikrofotografálásról szóló részt DR SZABÓ ELEMÉR írta.

116 RAJZZAL.



KIADJA: A KIRÁLYI MAGYAR TERMÉSZETTUDOMÁNYI TÁRSULAT
BUDAPEST, 1931.

109971



15.375. — Kir. Magy. Egyetemi Nyomda Bpest. (Múzeum-körút 6.)



TARTALOMJEGYZÉK.

	Oldal
Előszó	5
I. Bevezetés	7
II. Fénytani előismeretek	17
A) A fény és a fényjelenségek	17
1. A fény	17
2. Fényvisszaverődés	19
3. Fénytörés	20
4. Teljes visszaverődés	22
5. Színszóródás	23
B) Az optikai lencsék törvényszerűségei	26
a) A lencsék fajtái és állandói	26
b) A kép viszonyai	29
c) A lencsehibák	33
1. Gömbi eltérés	35
2. Kóma	40
3. Asztigmatizmus	41
4. Képtorzulás	41
5. Képdomborodás	42
6. Színi eltérés	44
7. A nagyítás színi hibája	46
8. A gömbi eltérés színi különbsége	50
C) Az optikai lencseanyagok	51
a) Régebbi üvegfajták	52
b) Újabb optikai üvegek	54
c) Ásványi anyagok	57
1. Folypát	57
2. Kvarc	58
III. A mikroszkóp leírása	58
A) Mechanikai szerkezet	58
1. Láb	60
2. Oszlop	60



	Oldal
3. Tárgyasztal	63
4. Cső	67
5. Tárgylencse-váltókészülékek	71
6. Durvacsavar	74
7. Finomcsavar	74
B) Optikai berendezés	78
a) Átvilágítókészülék	79
1. Tükör	79
2. Fényhatároló	80
3. Kondenzor	81
b) Nagyítórendszer	86
1. Tárgylencse	87
2. Szemlencse	98
IV. A mikroszkóp fénytani képességei és a kép sajátosságai	102
1. Nagyítás	104
2. Élesség	109
3. Alaki hasonlatosság	112
4. Színbeli egyezés	114
5. Részletek bősége	114
6. Világosság	123
7. A részletek térbeli helyzete	124
V. A mikroszkóp kezelése	126
a) Gondozás	126
b) Mikroszkópos vizsgálat	127
c) Rajzolás	137
d) Mérés	142
VI. Binokuláris és sztereomikroszkópok	149
VII. Különleges világítókészülékek	162
a) A megvilágítás fajtái	162
b) Ferde átvilágítás, sötétlátótér, ultramikroszkóp	167
c) Felső megvilágítás	176
VIII. Polarizációs mikroszkóp	183
IX. Mikroszkóplámpások	189
a) Fényforrások	192
b) Lámpaház	202
X. Hogyan készül a mikroszkóp?	204
XI. A mikroszkóp története	210
XII. Az emberi látószerv	222
XIII. Mikrografálás	229

ELŐSZÓ.

Az újabb kor nagy technikai vívmányai között jelentőség dolgában kétségtelenül az első hely illeti meg a modern mikroszkópot. A technikai haladások általában leginkább az emberiség gazdasági érdekeit, az élet kényelmét és örömeit, a fizikai munka és a közlekedés könnyítését szolgálják; de a mikroszkóp, azonfelül, hogy az orvostudomány terén és más területeken is óriási gyakorlati hasznot hajtott az emberiségnek, még egy magasabbrendű, nagy elméleti fontosságú haladást is hozott: kitágította a szerves világ és az emberi szervezet megismerésének határait, feltárta előttünk a mikroszkópi kicsinységű, szemünk korlátolt látóereje miatt addig nem is sejtett részleteknek birodalmát.

A mikroszkópnak nemcsak az orvos, biológus, zoológus, botanikus és mineralógus veszi hasznát, hanem különböző, egészen más természetű technikai tudományok is felvették már vizsgálóeszközeik közé. Ha összehasonlítjuk a mikroszkóp mai jelentőségét és elterjedtségét a 100 év előttivel, óriási haladást látunk és ha elképzeljük, hogy további 100 év vagy 1000 év múlva milyen szerepet fog játszani a mikroszkóp az emberiség körében, szinte szédítő perspektíva nyílik meg előttünk. A mikroszkóp feltalálásával és különösen újabbkori nagyszerű tökéletesítésével az emberiség jóformán olyan operáción esett át, mint az a vakon született ember, akinek szeméről az orvos jótékony keze eltávolítja a hályogot, s aki előtt feltárul a környező világ nagyszerű változatossága és ezernyi szépsége. A legtöbb technikai vívmány csak a *civilizációt*

segítette elő; de a mikroszkóp a teleszkóppal együtt a *művelődésnek* is hatalmas segítő eszközévé lett.

A mikroszkóppal való bánást könnyen meg lehet tanulni, sőt vizsgálatokat is lehet vele végezni különbözőbb optikai ismeretek nélkül. Ámde ahhoz, hogy teljesítőképességét minden irányban teljesen kihasználhassuk s az általa adott képeket kellő kritikával ítélhessük meg és értékelhessük, a mikroszkóp szerkezetének és főként optikai tulajdonságainak pontos ismerete nélkülözhetetlen. Ezért érdemes és hasznos munkát végzett néhai VALTER LÁSZLÓ dr., a budapesti anatómiai intézet jeles adjunktusa, mikor saját tapasztalatai és irodalmi tanulmányai alapján ezt a kis könyvet megírta. Munkája a magyar természettudományi irodalomban hézagpótlónak nevezhető. Tudtunkkal LENDL ADOLF-nak „kezdők és műkedvelők számára írt“, 1900-ban megjelent „A mikroszkópi gyakorlat elemei“ című füzetén kívül csak egy komolyabb, a mikroszkóppal foglalkozó könyv látott eddig magyar nyelven napvilágot: THANOFFER LAJOS-nak „A mikroszkóp és alkalmazása“ című műve, melynek első kiadása 1880-ban, második kiadása 1894-ben jelent meg. VALTER dr. teljes szakszerűséggel megírt kis könyve bő tájékoztatást nyújt a tudományos kutatás e fontos eszközének szerkezetéről és használatáról; optikai elméleti részei annál megbízhatóbbak, minthogy RYBÁR ISTVÁN dr., a gyakorlati természettan ny. r. tanára a budapesti egyetemen, szíves volt a kéziratot ebből a szempontból átnézni.

Meghatottsággal teszem le a tollat. A mű szerzője a könyvet közvetlenül súlyos betegsége előtt fejezte be, mely néhány hónap alatt kioltotta ezt az értékes, sokat ígérő életet. Korai elhúnytával fájdalmas veszteség érte a magyar tudományt és a felsőbb oktatást.

Budapest, 1931 október havában.

Dr. Lenhossék Mihály.

BEVEZETÉS.

Az embert körülvevő természet berendezésének szabad szemmel már nem látható finom részleteit a mikroszkóp¹ tárta fel előttünk. Bár a mikroszkóp csak egyik kutatóeszköze a természetvizsgálónak, jelentősége mégis messze felülmulja a többi műszerét. Oly fontos és nélkülözhetetlen eszközünk ez, hogy a természet finomabb berendezését mindenféle szempontból vizsgáló tudományok összesége, a mikrológia, teljesen neki köszönheti a létét és fejlődésében is, kezdetől fogva egészen napjainkig, szorosán hozzá igazodik. A csillagászaton kívül, mely létét, hasonlóképen kutatóműszerének, a távcsőnek, a mikroszkóp hatalmas testvérének köszönheti, nincs is több példa a természettudományok terén arra, hogy valamely műszer annyira uralkodjék egy hatalmas tudomány felett. E két műszer jelentőségét ösztönszerűen is érzi mindenki, hiszen már gyermekkorunkban csodálattal tekintettünk rájuk. S ez a varázslatos érzés fogja el a felnőttet is, ha módjában van betekinteni e műszerekbe. Még a legnagyobb tudós is a gyermek áhítatával áll a Természet nagy misztériuma előtt, midőn csöndes laboratóriumában a parányok vagy a végtelen nagyságok birodalmába igyekszik behatolni csodálatos műszerével.

Mikroszkópunk ugyan lényegében közönséges összetett nagyítórendszer, mai tökéletes kivitelében mégis

¹ A mikroszkóp, latinosan *microscopium*, görög eredetű szó: *μικρός* (mikrosz), kicsiny; *σκοπέω* (szkopeó), nézek, vizsgálok. A műszer régebben használatos magyar neve göröcső.

a fizika és a finom műszertechnika egyik legbámulatra méltóbb alkotása, melynek a mikroszkópos vizsgálatokban való eredményes kezelése sok előtanulmányt kíván.

A mikroszkópi vizsgálatnál négy tényező szerepel: 1. a vizsgálandó tárgy, a mikroszkópi készítmény, 2. a vizsgáló műszer: a mikroszkóp, 3. a tárgyból szemünk felé haladó fény, amelynek segítségével a mikroszkóp a tárgyról nagyított képet készít s végül 4. látószervünk, amellyel ezt a képet megfigyelhetjük.

Ha a mikroszkópos látás legfokozottabb lehetőségeit akarjuk elérni, akkor ezt a négy tényezőt a lehető legjobb fénytani összhangba kell egymással hozni. Ezt azonban céltudatosan és eredménnyel csak akkor végezhetjük, ha tulajdonságaikkal és törvényszerűségeikkel teljesen tisztában vagyunk.

1. Evégből elsősorban a vizsgálandó tárgznak a mikroszkópos vizsgálat szempontjából jelentőséggel bíró fénytani sajátságait kell tanulmányozni. Tudnunk kell azt is, hogy ezek a tulajdonságok miképpen fokozhatók és milyen technikai eljárásokkal kölcsönözhetünk a tárgynak olyan új sajátságokat, amelyek megkönnyítik a mikroszkópos vizsgálatát és lehetővé teszik a rejtett részletek felismerését. A legtöbb tárgy nem is alkalmas a mikroszkópos vizsgálatra úgy, ahogy van, hanem először még különböző fizikai és kémiai eljárásokkal kell kezelnünk ahhoz, hogy vizsgálható legyen a mikroszkóppal. Ezekkel az előkészítő módszerekkel a mikrotechnika² foglalkozik. Az előkészítő műveletek által a vizsgálandó tárgyból górcsői készítmény, mikroszkópi preparátum³ lesz. A mikrotechnikai eljárások részben ötletszerű próbálgatások, részben a tárgynak céltudatos preparálásából állnak

² μικρός (mikrosz), kicsiny; τέχνη (techné), mesterséges,

³ praeparo (lat.) előkészíték,

avégből, hogy a tárgy egyes részletei között meglévő fénytani különbségeket fokozzuk, vagy olyan új optikai eltéréseket hozunk létre mesterségesen a legfinomabb részletek között is, amelyek lehetővé teszik, hogy a mikroszkóp szemünk számára ezeket is láthatóvá tehesse. Világos, hogy ehhez is csak akkor foghatunk eredménnyel, ha tisztában vagyunk a vizsgálatainknál szereplő fénytani viszonyokkal és jól ismerjük a mikroszkóp szerkezetét is.

2. Minthogy a mikrotechnikusnak a preparátum elkészítésénél minden tekintetben alkalmazkodni kell a mikroszkóp által adott követelményekhez, egyaránt kell ismernie mikroszkópjának elméleti alapelveit és szerkezetének gyakorlati kivitelét is. De nemcsak azért van erre szükségünk, hogy céltudatosan tudjuk előkészíteni vizsgálati anyagainkat, hanem azért is, mert a legkifogástalanabb kész preparátumot is csak úgy tudjuk eredményesen megvizsgálni és csak akkor tudjuk a látottakat helyesen értékelni, ha tisztában vagyunk vizsgáló műszerünk szerkezetével és képességeivel, valamint hibáival is. Látni fogjuk, hogy a mikroszkópos kép nem tökéletesen hű másolata a tárgynak, hanem attól rajzolat, nagyságbeli arányok, irányok és színek szempontjából lényegesen eltér. Bizonyos esetekben a képből hiányozhatnak is a tárgy egyes részletei s viszont olyan részleteket is mutathat a mikroszkóp, amelyek a tárgyban nincsenek meg. A mikroszkópos kép kritikátlan elfogadása következtében néha egészen téves fogalmat szerezhethünk a tárgy szerkezetéről. A mikroszkópos kép értelmezéséhez szükséges kritikát csak a mikroszkóp optikájának kellő elméleti ismeretével szerezhethjük meg. Ezek a fénytani ismeretek különösen akkor jelentenek nagy előnyt, mikor a mikroszkópot különleges vizsgálatokhoz való mellékkészülékekkel (például mikrofotografáló készülék, sötétlátóterű és polarizált fényben való vizsgáló

lat stb.) együtt használjuk. De minden elmélettől eltekintve magának a mikroszkóp szerkezetének az ismerete is hasznos, mert sok nagyon finom és gyenge alkatrésze van, melyekre a használatnál nagyon kell vigyázni. Hozzá nem értő, gondatlan bánásmód hamarosan okoz olyan hibát, amely a drága műszert teljesen hasznavehetetlenné teszi. A nagyobb javítások pedig igen költségesek és körülményesek, mert csak az előállító gyár tudja elvégezni. Ezért jobb, ha ezeknek a kellemetlenségeknek elejét vesszük és előre tájékozódunk a szerkezetéről.

3. Mind a vizsgálati tárgynak, mind a mikroszkópnak, de látószervünknek is a fény ad életet, működést. Enélkül ezek a bonyolult berendezések mind hasznavehetetlen tárgyak volnának. Együttműködésük megértéséhez tehát tanulmányozni kell az energia megnyilvánulásának ezt a csodálatos fajtáját is. A mikroszkópi preparátum elkészítéséhez, a mikroszkóp megértéséhez és a górcsővi vizsgálatokhoz szükséges fénytani ismereteket rövid optikai bevezetés keretében fogjuk összefoglalni.

4. A mikroszkópos vizsgálat eredményes voltát tulajdonképpen látószervünk, mint nem változtatható, adott berendezés határozza meg, amelyhez minden más felszerelésünknek és eljárásunknak alkalmazkodni kell. Ezért kell tekintettel lenni készítményeink kidolgozásánál és a mikroszkóp alkalmazásánál szemünk tulajdonságaira és képességeire is. A mikroszkópi vizsgálatokban szereplő fénytani jelenségek magyarázatát tehát tulajdonképpen látószervünk ismertetésével kellene kezdenünk. De a látószerv viszont olyan bonyolult optikai műszer, hogy megértéséhez már bizonyos fénytani ismeretekre van szükség. Ezért a továbbiakban tárgyalandó fénytani jelenségek kapcsán egyelőre csak annyit fogunk ismertetni a látás törvényszerűségeiből, amennyire a dolgok megértéséhez okvetlenül

szükség van. A mikroszkóppal egészen jól lehet dolgozni, sőt a működését is meg lehet érteni egy bizonyos mértékig anélkül, hogy látószervünkkel teljesen tisztában volnánk. Hiszen a mikroszkóp már jelentős fejlődési fokot ért el, mikor a látószerv finomabb szerkezetét és működését kezdték megismerni. Az ismeretetés tökéletessége és a dolgok alaposabb megértése érdekében azonban e munka végén mégis össze fogjuk foglalni a látószerv bonctani és a látás élettani viszonyait.

A mikroszkópos vizsgálatnál szereplő négy tényező alapos ismeretére nemcsak a gyakorlati alkalmazás szempontjából van szükség, hanem a további tökéletesítés céljából is. Ebből a szempontból látószervünk az a tényező, mely a tökéletesedésnek legkisebb lehetőségét nyújtja, bár a mikroszkópos vizsgálódásban való hosszú gyakorlat és főként a látottak pontos lerajzolása igen nagy mértékben tökéletesíti látásélességünket és megfigyelőképességünket. Ez azonban természetesen csak bizonyos határig fokozható s végül látószervünk berendezésének adott finomsága mégis csak áthághatatlan határa lesz a további tökéletesedésnek. Ezért a mikroszkóp által nyújtott, de már szemünk számára láthatatlan finomságok rögzítésére újabban mind kiterjedtebben alkalmazzák a fényképezést.

Bizonyos mértékben így vagyunk a mikroszkóppal is, amely látszólag — legalább is mai ismereteink szerint — elérte az elmélet által kijelölt maximális optikai tökéletességet. Belátható időn belül a mikroszkóp optikája terén nem várható lényeges tökéletesedés. A fejlődés idestova félszázad óta úgyszólván csak praktikus módosításokra szorítkozott. A mai tökéletes mikroszkóp elméleti alapelveinek és gyakorlati berendezésének alapos ismerete a vizgálót abba a helyzetbe hozza, hogy ki tudja használni görcsövének legnagyobb fény-

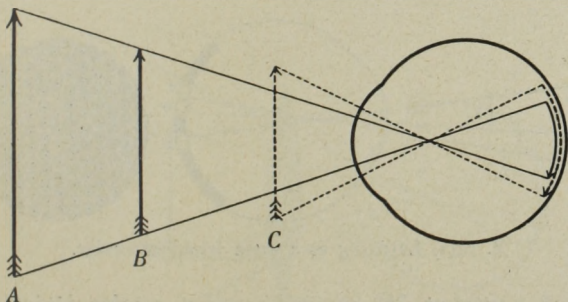
tani teljesítőképességét. A kellő elméleti és gyakorlati ismeretekkel nem rendelkező mikroszkópizáló számára azonban a modern mikroszkóp tökéletességei jóformán teljesen elvesznek s a legpompásabb eszköz is alig nyújt számára valamivel többet, mint az egyszerű nagyítólenyce. Az optikai berendezés tökéletesítése azonban speciális szakemberek feladata s a mikroszkópos vizsgáló csupán a vizsgálataiban közben felmerülő igények közlésével folyhat be a fejlődés folyamatába. A mikroszkópos vizsgálat további tökéletesítésére a kutatónak leginkább a mikrotechnika terén nyílik alkalma, ahol az egyéni találékonyágnak dús eredménye szokott lenni.

*

A mikroszkóp összetett nagyítórendszer. Arra való, hogy segítségével láthatóvá tegyük a vizsgálati tárgynak olyan finom részleteit, amelyek szabad szemmel már nem ismerhetők fel. Első pillantásra azt gondolnánk, hogy itt egyszerű nagyításról van szó. Valóságban azonban a dolog sokkal bonyolultabb s ahhoz, hogy megértsük, tisztába kell jönnünk bizonyos fogalmakkal.

A nagyítás megértéséhez tudnunk kell, hogy a szemre vett tárgyak látszólagos nagysága a szem ideghártyáján (l. 218. old.) keletkezett kép nagyságától függ. Ezt pedig a tárgy széleitől szemünkre érkező sugarak által bezárt szög, a látószög határozza meg. Mint az 1. rajz szemlélteti, igen különböző nagyságú tárgyak retinális képe s így látszólagos nagysága azonos lehet, ha különböző távolságban lévén, azonos látószögben mutatkoznak. Viszont kisebb tárgyat aránylag nagyobbak látunk, mint egy valójában sokkal nagyobb, ha közelebb van és így nagyobb a látószög (1. rajz C). A nagyítás legegyszerűbb módja e szerint az, hogy a tárgyat közelítjük a szemünkhöz, mi által megnöveljük a látószöget és nagyobb képet kapunk a

recehártyán. A közelítést azonban csak addig folytatjuk, míg megerőltetést nem okoz. Ez a legkisebb távolság normális (emmetrop) szemnél nagy általánosságban kb 25 cm. A tárgy további közelítése az alkalmazkodással (l. 219. old.) kapcsolatos izommunka miatt már megerőltetéssel jár és az új. n. közelponton túl nem folytatható. Ez normális szemmel 10 cm. szokott



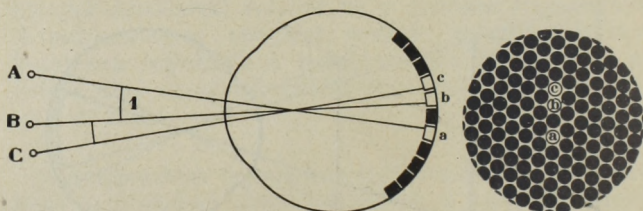
1. rajz. A látószög jelentősége. *A* és *B* tárgyak egyenlő nagyoknak látszanak, mert egyenlő látószög alatt látjuk őket s ideghártya-képeik ennél fogva egyenlő nagyok; *C* tárgy a közelsége folytán nagyobb látószög alatt mutatkozik, ideghártya képe nagyobb s ezért ezt látjuk a legnagyobbnak, bár a valóságban ez a legkisebb a három közül.

lenni. Sok esetben a közelítés egyébként is lehetetlen (például csillagok stb.). Mindezen esetekben olyan optikai berendezésre van szükség, amely megnöveli a látószöget. Közelíthető tárgyaknál nagyítót (lupa, górcső), távoli tárgyaknál pedig távcsövet használunk erre a célra.

A nagyító alkalmazásának tudományos célja nem merül ki abban, hogy a tárgynak minél nagyobb képét állítsuk elő. A nagyítás csak eszköz ahhoz, hogy ezen az úton szabad szemmel fel nem ismerhető apró részleteket tüntessünk fel. Ezt optikai feloldásnak

nevezzük. Az itt fellépő követelmények megértéséhez először is szemünk feloldóképességével kell tisztába jönnünk.

Szabad szemmel akkor tudunk apró tárgyrészeleket megkülönböztetni, ha az ezektől szemünkbe érkező sugaraknak a látószöge legalább 1'-nyi (2. rajz). Ez az eset, ha például egymástól 0.07 mm távolságban



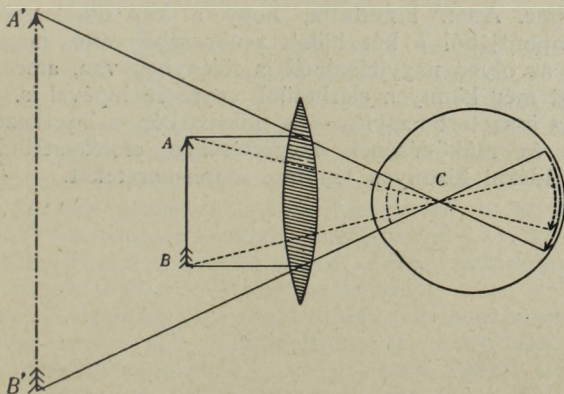
2. rajz. Látószög és a szem feloldóképessége.

fekvő pontokat 250 mm-ről, azaz a rendes látástávolságból nézünk előnyös megvilágítási viszonyok között. Ha t. i. két igen finom és egymáshoz nagyon közel fekvő tárgy részletből (2. rajz A és B) 1'-nyi látószögben érkeznek szemünkbe a sugarak, akkor parányi képek (a, b) egymástól 5 μ -nyira⁴ keletkeznek az ideghártyán. Minthogy ez pontosan megfelel két fényérző idegvégződés (csapocska) távolságának, a két képecske két különböző idegelemre kerül úgy, hogy köztük még egy nem ingerelt idegvégződés marad. Ennek az a következménye, hogy ezt a két részletet különállónak ismerjük fel. Ha azonban a két részletpontból 1'-nél

⁴ A μ (görög „mű“ betű) a mikrológia mértékegységének, a mikromilliméternek (HARTING) vagy „mikron“-nak (LISTING) a jele.

$$1 \mu = \frac{1}{1000} \text{ mm} = 0.001 \text{ mm.}$$

kisebb látószög alatt érkeznek szemünkhöz a sugarak, akkor képeik retinánk két szomszédos, sőt esetleg egyazon fényérző elemére esnek és a két részlet szemünk előtt eggyé olvad össze (2. rajz B, C). A látószög kicsinysége onnan eredhet, hogy a tárgy részletei nagyon közel vannak egymáshoz, vagy onnét, hogy nagyon távol vannak a szemünktől. A végeredmény



3. rajz. A lupa nagyító hatása a látószög megnövelésén alapszik. AB tárgy ideghártyaképe a nagyító-lencse nélkül ACB látószög alatt keletkezik. A lupa $A'B'$ -re növeli a látószöget s nagyobb ideghártyaképet hoz létre. Ez azt a látószöget kelti, mintha a rendes látás távolságában $A'B'$ nagyított kép állana.

mindig az, hogy az l' -nél kisebb látószög alatt mutatkozó részletek összefolynak. Ezért olvadnak egybe homogén fehér mezővé a homályos üveg sűrű, apró csillogó egyenetlenségei éppúgy, mint a tejút hatalmas csillagai. Minden ilyen esetben a részletek felismerése céljából a fénysugarakat szemünkhöz való útjukban olyan optikai berendezésen kell átvezetni, amely az

eredetileg túlkicsiny látászöveget a sugarak összetérésének fokozásával a szükséges mértékben megnagyítja. Az egyszerű nagyító (lupe) nagyítóhatását a látászög megnövelése által a 3. rajz mutatja be. Az egyszerű nagyítóval 20—30-szoros, sőt még sokkal nagyobb nagyítást is elérhetünk, de a továbbiak kapcsán majd látni fogjuk, hogy a dolog ilyen irányban való erőltetésének sem elméleti, sem gyakorlati okokból nincsen értelme. ABBE⁵ kimutatta, hogy a kép tökéletessége szempontjából a két külön rendszerből álló nagyító már az olyan nagyításoknál is fölényben van, amekkorákat még könnyen elérhetünk egyszerű lupával is.

Az összetett nagyító — a mikroszkóp — szerkezetének és működésének megértéséhez emlékezetünkbe kell idézni bizonyos fénytani alapismereteket.

⁵ ABBE ERNŐ híres német fizikus (1840—1905) névvel gyakran fogunk találkozni a továbbiak folyamán. Kezdetben csiláglagász, majd egyetemi tanár és a Zeiss-féle optikai művek tudományos igazgatója volt Jénában. A fizika számos terén vannak maradandó alkotásai, a mi szempontunkból a lencsék, különösen a mikroszkóp tökéletesítése körül szerzett érdemei kimagaslóak, amiért őt a „mikroszkóp Galileijének“ szokták nevezni.

II. Fénytani előismeretek.

A) A fény és a fényjelenségek.

A fény a sugárzó energia azon fajtája, amelyet látószervünk felfog és amely bennünk ezúton a fény érzetét kelti. Régebben azt tartották a fizikusok, hogy a fényjelenségeket a fényforrásból kilövelt finom elosztású anyag hozza létre (NEWTON-féle korpuszkuláris v. emanációs elmélet, 1692) később a HUYGENS, YOUNG és FRESNEL-féle rezgéselméletet fogadták el, mert ezzel több fényjelenséget lehetett megmagyarázni. A ma leginkább elfogadott elmélet szerint a fény elektromágneses rezgés (FARADAY, MAXWELL, HERTZ).

Az elektromágneses rezgéseknek a hullámváz szaporasága szerint sok fajtája ismeretes. Ezek csak egy szempontból egyformák, s ez az, hogy légüres térben mindegyiknek másodpercenként 300.000 km a terjedési sebessége. A rezgés szaporaságát a rezgésszám, azaz az 1 mp alatt történő hullámvázok száma jelzi. Ez tulajdonképpen azt mutatja, hogy az 1 mp alatt befutott 300.000 km-es úton hány hullám keletkezik. Ebből az következik, hogy a szaporarezgésű sugárzásoknál sok, de rövid hullám esik erre a szakaszra, a lassúrezgésűeknél viszont kevesebb, de hosszabb. A 400—800 $\mu\mu$ (millimikron, milliommilliméter) hullámhosszúságú elektromágneses sugarak szemünkbe jutva fényérzetet keltenek. Ezek a fényugarak.

A különböző hullámhosszú fényrezgések más és más szín érzetét keltik látószervünkben. LISTING szerint az említett határok között emelkedő rezgésszámú, illetve

csökkenő hullámhosszúságú sugarak sorozata, a látó ható színeké a következő:

Szín	Hullám-hossz	Rezgésszám mp-enként
barna	820—723	366—415 billió
vörös	723—647	415—463 „
narancssárga	647—586	463—512 „
sárga	586—535	512—560 „
zöld	535—492	560—609 „
világoskék	492—455	609—659 „
sötétkék	455—424	659—707 „
ibolya	424—397	707—755 „
levendulaszürke	397—373	755—804 „

A látható színeké a mondottak értelmében csak egy része az egész létező elektromágneses hullámsorozatnak, amelyet teljes elektromágneses színeké-nek nevezünk. Az elnevezés nem egészen helyes, mert a többi rezgés nem hoz létre színhatásokat a szemünkben, sőt a legtöbbet — legalább is mostani tudásunk szerint — szervezetünk egyáltalán nem fogja fel. Ezek megfelelő műszerekkel mutathatók ki. Az egész lassú rezgésű, hosszúhullámú (néhány km-től néhány cm-ig terjedő) sugárzás, amelyet a rádióadóállomások keltenek, a detektorokra hat. A 0.1—0.001 mm hullámú sugarak hő sugarak. Ezeket a hőmérő jelzi és megérezik bőrünk hőérző idegvégződése is. A rövid hullámhosszúságú hő sugarakat vörösön-nneni (infravörös) sugaraknak nevezik. Ezek után következnek a látható fénysugarak, amelyek hullámhossza 800—400 $\mu\mu$ -ig terjed. Ezek „detektorai“ a szem ideghártyáján lévő csapok és pálcikák. Az ibolyántúli (ultraviola) sugarak 400—100 $\mu\mu$ hullámhosszúságúak. Vegyi hatásuk vagy fluoreszkálást keltő hatásuk révén tanulmányozhatók. A Röntgen-sugarak hullámhossza 1—0.16 Å. E. (Å n g s t r ö m - e g y s é g : t í z m i l l i o m o d - m i l l i m é t e r). A rá-

dium γ (gamma)-sugarainak hullámai még ennél is rövidebbek (0'4—0'07 Å. E.).

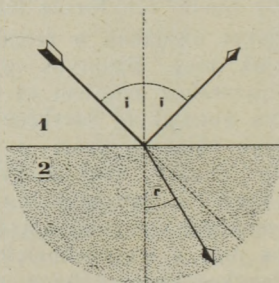
A fény úgy keletkezik, hogy egyes testek bizonyos körülmények között fénysugarakat bocsátanak ki magukból. Ezek az önállóan világító testek v. elsődleges fényforrások. A többi világítótest másodlagos fényforrás, mert valamely önálló fényforrás fényét vetíti.

A fényjelenségeket általában a rezgéselmélet alapján magyarázhatjuk meg. Bizonyos egyszerűbb fényjelenségek magyarázatához azonban ez nem is szükséges, mert elég, ha vonalakból szerkesztett geometriai rajzokkal érzékítjük (GAUSS), ezért a fénytani alapjelenségeknek ily módon való magyarázatát geometriai optikának nevezzük. Ez nem alkalmas az összes fényjelenségek megmagyarázására, hanem a bonyolultabbakhoz már a rezgéselméletet is segítségül kell hívni.^o A következőkben néhány olyan fénytani alapjelenséget fogunk a geometriai optika és a rezgéselmélet szellemében ismertetni, amelyekre a mikroszkóp megértéséhez szükségünk van.

2. Fény visszaverődés (*reflexio*). Ha valamely átlátszó, egynemű közegben egyenes irányban terjedő fénysugár útjában másik közeg határfelületéhez érkezik, akkor egy része visszaverődik, egy része pedig behatol ebbe a másik anyagba (4. rajz). A határfelülethez érkező sugarat beeső sugárnak, a határfelület ama pontját, ahol a beeső sugár éri, beesési pontnak, a határfelületet a beesési pontban merőlegesen metsző egyenest pedig beesési merőlegesnek nevezzük. A visszavert sugár a beeső sugár és a beesési merőleges által meghatározott síkban halad. A visszavert sugár ugyanazt a szöveget képezi a beesési merőlegessel, mint a beeső sugár.

^o Bizonyos kérdéseket még ennek alapján sem lehet megérteni, ezek magyarázatára újabb elméleteket dolgoztak ki (fényquantum-elmélet).

A mikroszkópnál és mellékkészülékeinél számos sík- és homorú tükör szerepel, ahol a fényvisszaverődés gyakorlati alkalmazásra talál. De bizonyos esetekben zavart is okozhat ez a jelenség. Így pl. zavaróan nyilvánul a lencsefelszíneken és a foglalatok belsejében je-



4. rajz. Fénytörés és visszaverődés.

lentkező visszaverődés. A ragasztott lencsék felszínén fellépő tükröződés lényegtelen és inkább a szabadonálló lencsefelszíneken jelentkezik nagyobb mértékben ez a hiba. A foglalatokban és a mikroszkóp csövében mutatkozó zavaró fényvisszaverődést úgy küszöbölik ki, hogy ezek belsejét homályos, fekete koromlakkal vonják be. Ez elnyeli a rávetődő sugarakat és lehetetlenné teszi, hogy azok ide-oda verődjenek a műszer belsejében.

3. Fénytörés (*refractio*) akkor következik be, ha a fénysugár behatol az új közegbe (4. rajz). Ha az utóbbi egynemű anyag, akkor benne ismét egyenes irányban haladva tova a fénysugár. Az új közeg határfelületén azonban irányt változtat, megtörik. A határ-

felületre érkező (beeső) sugárnak a beesési merőlegessel képezett szöge a beesési szög (incidentia, i), a megtört sugár a beesési merőlegessel a törési szög e t (reincidentia, r) képezi. A beeső sugár, a beesési merőleges és a megtört sugár ugyanabban a síkban van. Ha a beeső sugár irányát változtatjuk, megváltozik a megtört sugár iránya is. A beesési és a törési szög között azonban minden esetben fennáll ugyanaz az összefüggés, hogy: e két szög szinuszának aránya állandó (Descartes-Snell-féle törvény). Ez a viszony a két közeg anyagára és a fény minőségére jellemző. Értéke a törésmutató (n) minden anyagra nézve jellemzően más és ugyanazon anyagokra vonatkozóan is különböző a megtört fény hullámhossza szerint. A 4. rajzon feltüntetett esetben pl. a 2. anyagnak (üveg) az 1. anyagra (levegő) vonatkozó törésmutatója $589 \mu\mu$ hullámhosszúságú fénysugár (a nátrium D-vonala, l. 24. old.) esetén

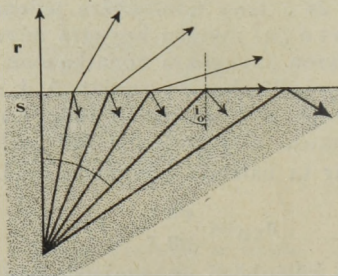
$$n_{2,D} = \frac{\sin i}{\sin r} = 1.5$$

Mint hogy a különböző anyagoknak mindenféle fénysugárra vonatkoztatóan más törésmutatója van, az összehasonlítás végett megegyeztek a fizikusok abban, hogy a D-vonalra vonatkozóan adják meg a törésmutatót. Ezért, ha általánosságban van szó a törésmutatóról és feltüntetve azon fény hullámhossza, amelyre ez vonatkozik, akkor mindig a D-vonalra vonatkoztatott törésmutató (n_D) értendő.

Valamely anyag törésmutatója mindig a vele érintkező másik közegre vonatkozik (relatív törésmutató). A mikroszkóp optikájában általában a törőközegeknek a levegőre vonatkoztatott törésmutatóját szokták megadni. Ez csak egészen elhanyagolható kis mértékben különbözik a törőanyagnak légüres térre vonatkoztatott ú. n. abszolút törésmutatójától. (A levegőre vonatkoztatott törésmutató az abszolútnak 1.000294 -szere.)

A törésmutató az anyag optikai sűrűségét jelzi. A fény nagyobb törésmutatójú anyagban lassabban terjed. A fény terjedési sebessége valamely anyagban a törésmutatóval fordítva arányos.

4. Teljes visszaverődés (*totalis reflexio*). Ha a nagyobb törésmutatójú közegből a kisebb törésmutatójú anyag felé haladó fénysugarat mind ferdébben bocsátjuk a határfelületre, akkor a megtört sugár iránya



5. rajz. Teljes visszaverődés.

még fokozottabb mértékben ferdül (5. rajz). Végül előáll az az eset, hogy a megtört sugár már nem lép át a másik közegbe, hanem a törőfelületen halad tovább (súrlódósugár). A beeső sugár beesési szögét ebben az esetben határszögnek nevezzük, még pedig azért, mert ha a beeső sugarat ezen a határon túl fordítjuk, akkor az teljesen egészében visszaverődik az optikailag sűrűbb eredeti közeg felé. (A tükrözésnél, ill. fénytörésnél csak egy része verődik vissza a fénynek.)

A teljes visszaverődést az optikusok bizonyos esetekben (prizmák, sötétlátóterű kondenzorok) előszeretettel alkalmazzák, mert a tükrözés ezen fajtájánál nagyon csekély a fényvesztés és nem kell a kényes tükrözés.

bevonatot alkalmazni. Alkalmazását azonban korlátozza az, hogy ez a jelenség a sugaraknak csak bizonyos ferdesége mellett jelentkezik. Viszont néha kellemtlenül is jelentkezhethet. Ilyen eset pl. az, mikor megakadályozza, hogy üvegeszközeinkből ferde sugarakat juttassunk ki (pl. az A b b e f. kondenzorból, l. 81. o.). Ezzel a jelenséggel tehát számolni kell a gyakorlatban. 1·52-es törésmutatójú koronáüvegnek a levegőre vonatkoztatott határszöge 41° , az 1·66-os törésmutatójú flintüvegé 37° .⁷

5. Színszóródás (*dispersio*). Ha a törőfelületre összetett (pl. fehér) „fény sugar” esik, akkor ez a határfelületen alkatrészeire bomlik.⁸ A második anyagban már mindegyik alkatrész szétválva folytatja útját abban az irányban, amelyet a második közegnek az illető fényösszetevőre vonatkozó törésmutatója meghatároz. Ha a felbomlott fényt fehér lemezen, ú. n. fénytani ernyőn fogjuk fel, akkor az egyes alkatrészeknek megfelelő színes sávok tűnnek elő. Ez az illető összetett fénynek az alkalmazott törőanyag által alkotott szín-

⁷ A rajz szerint

$$n_{s,r} = \frac{\sin r}{\sin i_0} \text{ vagy } \frac{1}{n_{s,r}} = \frac{\sin i_0}{\sin r}$$

$$r = 90^\circ \text{ azaz } \sin r = 1$$

$$\text{tehát } \frac{1}{n_{s,r}} = \sin i_0, \text{ vagyis}$$

a sűrűbb közeg (ritkábbra vonatkoztatott) törésmutatójának reciprok-értéke egyenlő a határszög szinuszával.

⁸ Azt, hogy a fehér napfény nem egynemű, hanem különböző törésű sugarakból áll, NEWTON állapította meg. NEWTON (ISAAC 1643—1727) a matematikai fizika megalapítója és többek között a nehézkedési törvény felfedezője volt. Alapvető vizsgálatait diákéveiben szerzett üveghasábjával végezte s úgyszólván ezzel a szerény eszközzel végzett kísérleteivel rakta le 25 éves korában a modern optika alapjait.

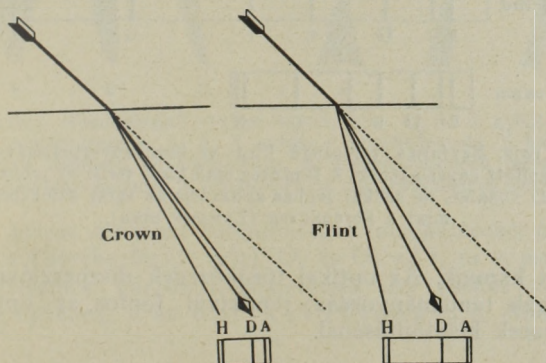
képe. A szilárd és folyékony izzó testek fényének szétbontásakor ú. n. folytonos színekép keletkezik, amelyben a színek enyhe átmenettel olvadnak össze egymással. Az izzó gázok színeképe csak egymástól kisebb-nagyobb távolságban álló színes csíkokból, ú. n. Fraunhofer-féle⁹ vonalakból áll (vonalas színekép). E csíkok helyzete a színeképben állandó és jellemző arra az anyagra, amely kibocsátotta. A vöröstől a kék felé haladva felfedezőjük nyomán az ABC betűivel jelölik őket. A nevezetesebb Fraunhofer-féle vonalak a következők:

Vonal	Hullám-hossz	Rezgésszám mp.-enként	Elem
A	759	395 billió	oxygén, O
B	686	473 „	oxygén, O
C	656	457 „	hydrogen, H
D	589	509 „	natrium, Na.
E	527	569 „	vas, Fe.
F	486	617 „	hydrogen, H
G	431	696 „	vas, Fe.
H	397	755 „	calcium Ca.

A színszóródásnál két fényösszetevő szétterése annál nagyobb, minél nagyobb különbség van a törő-

⁹ FRAUNHOFER JÓZSEF német fizikus és asztronómus (1787—1826) a színekép róla elnevezett vonalainak felfedezője (1814). Az üvegek törésmutatójára és fényszóróképességére vonatkozó vizsgálatai alapvetőek. (Bestimmung des Brechungs- und des Farbenzerstreuungsvermögens verschiedener Glasarten, in Bezug auf die Vervollkommnung achromatischer Fernröhre. Denkschr. d. Münchener Akad., 1814—15, Bd. 5.) FRAUNHOFER apja üveges volt és ő maga nagy szegénységből küzdött fel magát az akkoriban híres Utzschneider-féle optikai intézet tudományos vezetőjévé és társtulajdonosává. A lencsék és különösen a távcsövek optikájának tökéletesítése körül szerzett hervadhatatlan érdemeire céloz sírfeírata: „Approximavit sidera.“

közegnek erre a két színre vonatkozó törésmutatója között. A színek két külső sugarára vonatkozó törésmutatók különbségét ($n_H - n_A$) ABBE nyomán az illető anyag totális diszperziójának nevezzük. A színek két másik tagjára vonatkozó törésmutató

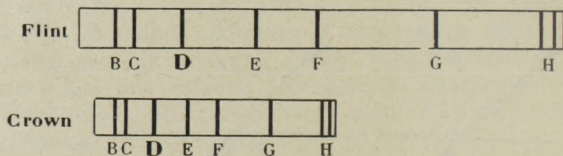


6. rajz. Korona- és flintüveg szétszórása közti különbség. A flintüveg csak kissé töri jobban a fényt (a D vonalat tekintve), mint a koronaüveg, de ehhez képest feltűnően nagyobb mértékben szórja szét az egész színeképet.

különbség a parciális diszperzió. (Pl. $n_H - n_D$ a színek kék részére vonatkozó, $n_D - n_A$ pedig a színek vörös felére vonatkozó parciális diszperzió.) A színek legvilágosabb középső részére, vagyis a C és F vonalak közti szakaszra vonatkozó parciális diszperziót ABBE közepes diszperzióknak nevezte el ($n_F - n_C$).

A flintüvegnek (52. old.) nagyobb a totális diszperziója, mint a koronaüvegé, a flintüveg nagyobb szögben szórja szét a színeket, mint a koronaüveg (6. és 7. rajz).

Az üvegek színszórását akkor tanulmányozhatjuk a legjobban, ha hasábot csiszolunk belőlük. A prizma törőfelszínén szétbontott fény szóródása még tovább fokozódik a másik törőfelszín után és így hosszú szín-



7. rajz. Egyforma törőszögű flint- és koronaüvegprizmával készített napszínképek. A flintüveg csak kissé téríti el jobban a D vonalat, de sokkal jobban szétszórja az egész színképet, mint a koronaüveg (*Lummer* után).

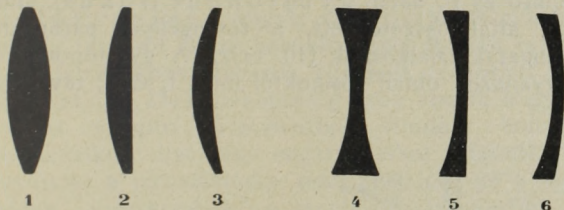
képet kapunk. Az optikai törőközegek diszperzióviszonyainak tanulmányozása rendkívül fontos az optikai műszerek kiszámításánál.

B) Az optikai lencsék törvényszerűségei.

a) A lencsék fajtái és állandói.

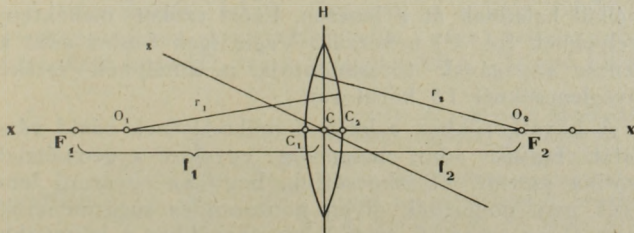
Az optikai lencse szabályos görbe felszínének által határolt átlátszó test. A továbbiakban csak a gömbfel-színű lencsékkel fogunk foglalkozni. Ezeknek hat faj-táját ismerjük (8. rajz). A bikonvex, plánkonvex és konkávkonvex lencséknek az a jellemző sajátsága, hogy vastagabbak a közepükön, mint a szé-lükön és ennél fogva fokozzák a rájuk eső fénysugarak összetérését, konvergenciáját. Ezeket pozitív vagy gyűjtőlencséknek nevezzük. A bikonkáv, plánkonkáv és konvexkonkáv lencsék viszont szórólencsék, vagy negatív lencsék. Ezek a közepükön vékonyabbak, mint a szélükön és a rájuk

eső sugarak összetérését csökkentik, illetve szétterőkké teszik őket.



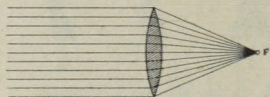
8. rajz. Gömbfelszínű optikai lencsék fajtái. 1., 2., 3. gyűjtő- v. pozitív-lencsék; 4., 5., 6. szóró- v. negatív-lencsék. 1. kétoldalt domború, 2. síkdomború, 3. homorú-domború lencse, 4. kétoldalt homorú. 5. sík-homorú, 6. domború-homorú lencse.

A lencse fénytani tulajdonságait meghatározó állandók a következők (9. rajz). O_1 és O_2 az r_1 és r_2 sugarú törőfelszínnek görbületi központjai. Az ezeket összekötő egyenes, x az optikai főtengely. Ahol ez



9. rajz. A lencse jellemzői: x a főtengely. Ezen fekszik F_1 elülső és F_2 hátsó gyújtópont, amelyek a lencse fősíkjaitól f_1 ill. f_2 távolságban vannak. Végtelenül lapos lencsének a fősíkjai egy közös fősíkban olvadnak össze, amely a számításkor az egész lencsét helyettesíti. Ebben fekszik a csomópontok összeolvadásából keletkezett C csomópont is. Erre jellemző, hogy rajta minden irányból eltérés nélkül haladnak át a sugarak. Ezért ezeket melléktengelyeknek is nevezhetjük (pl. x'). O_1 és O_2 az r_1 és r_2 görbületi sugarú lencse görbületi központjai.

a törőfelszíneket metszi, ott vannak a lencse csúcspontjai (C_1 , C_2). Ugyancsak az optikai tengelyen van F_1 elülső és F_2 hátsó gyújtópont (fókus), ahol a lencse által összetérített, a főtengellyel párhuzamos fénysugarak találkoznak (10. rajz). A gyújtópontoknak az ugyanazon oldali fókusoktól mért f_1 és f_2 távolságait



10. rajz. A gyújtópont (fókus.)

gyújtótávolságunk nevezzük. Ha a lencse mindkét oldalán ugyanaz a közeg van, akkor a két gyújtótávolság azonos. C optikai középpont, amely igen lapos lencsénél az egybeolvadó csúcspontok helye, szintén az optikai tengelyen fekszik és az a nevezetes sajátossága van, hogy a rajta keresztülmennő sugarak irányváltoztatás nélkül haladnak át a lencsén. Ezért ezeket melléktengelyeknek (pl. x') nevezzük. Végül igen fontos adat a lencse anyagának törésmutatója, n , amelynek értéke üveglencsénél 1,5 körül van.

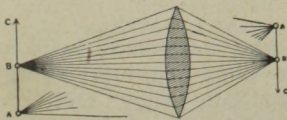
A következőkben a lencsék működésének rövid vázlatát fogjuk adni, mégpedig egyelőre a geometriai optika szerint. Előrebocsátjuk, hogy az egyszerű lencsék nem dolgoznak olyan pontosan és sugármenetük nem olyan egyszerű, mint a következőkben a könnyebb érthetőség kedvéért feltüntetjük, hanem a geometriai sémával szemben különböző eltérések mutatkoznak. De ezektől az ú. n. lencsehibáktól egyelőre eltekintünk és azt sem vesszük figyelembe, hogy a fény a lencse anyagában alkatrészeire bomlik, hanem a következőkben tárgyalandó sajátosságok ú. n. ideális (nagyon lapos) lencsékre és homogén (egyféle hullámhosszúságu sugarakból álló) fényre vonatkoznak.

b) *A kép viszonyai.*

A lencsék legfontosabb optikai tulajdonsága az ábrázoló képesség, vagyis az a tulajdonságuk, hogy valamely tárgyról hozzá hasonló képet tudnak rajzolni. Ezen sajátáguknak köszönik kiterjedt gyakorlati alkalmazásukat. Az ábrázolóképeség azon alapul, hogy egy bizonyos világító tárgypontból kiinduló homogén, homocentrikus, divergens sugárnyalábot képesek összegyűjteni a tér valamely pontjában és ott a tárgypontnak „megrajzolják“ a megfelelő képpontját (11. rajz).¹⁰ Ezen sajátáguk gyakorlati jelentősége abban áll, hogy ez nemcsak pontszerű, hanem véges kiterjedésű tárgyakra is vonatkozik. A tárgy minden egyes részletpontjának megrajzolásával a lencse véges kiterjedésű képet tud alkotni.

Az optikai lencse által létrehozott képvizonyait vizsgálva azt látjuk, hogy az ehelyt egyedül figyelembe veendő domború lencsénél a következő.

A végtelenben fekvő tárgynak a lencse túldoldali gyújtópontjában keletkezik valós, azaz vetítőernyőn felfogható képe (11. rajz). S megfordítva, a lencse fóku-



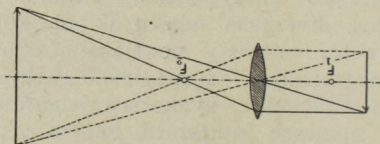
11. rajz. A pontszerű ábrázolás. A tárgy valamely B pontjából a lencsébe kerülő sugárnyalábot ez ismét egy pontban egyesíti, ahol annak pontszerű képe B' keletkezik. Minthogy ez AC tárgy minden pontjára vonatkozik, a lencse „megrajzolja“ ennek $A'B'$ képét.

sában elhelyezett tárgy képe a lencsén túl a végtelenben jön létre (optikai reciprocitás).¹¹

¹⁰ A pontszerű ábrázolás korlátozásait l. a lencsehibák tárgyalásánál (33. o.).

¹¹ Az optikai viszonyosság elve szerint a tárgy és a kép felcserélhető.

A végtelenből a gyújtópont felé közeledő tárgy fordított és valós képe a túloldali fókustól a végtelen felé távolodik és eközben folyton növekedik. A gyűjtőlencsék a kétszeres gyújtótávolságban álló tárgy képét a tárggyal azonos nagyságban és a túloldali kétszeres gyújtótávolságban állítják elő. Ha a tárgy tovább köze-



12. rajz. A kétszeres gyújtótávolságon belül a gyújtópont felé közeledő tárgy képe nagyított, fordított és valós. Ezt az elrendezést használjuk a vetítéshez.

ledik a fókushoz, képe már nagyított lesz (12. rajz). Ezt az elrendezést fel is használjuk nagyításra a vetítéskor (projekció). Minthogy az így nyert nagyított kép valós (reális), az eljárást objektív nagyításnak nevezhetjük, a mindjárt megemlítendő szubjektív vagy lupa-nagyítással szemben.

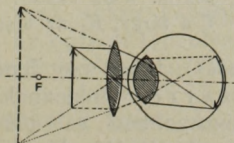
Amint a tárgy a gyújtópontba, vagy azon belül kerül, nem keletkezik róla többé valós kép, mert a tárgyból érkező sugarak párhuzamosan, vagy széttérően hagyják el a lencsét. Valós kép csak akkor keletkezik, ha a széttérő sugarak útjukban egy másik gyűjtőlencsén haladnak át, amely összetérővé teszi őket. Ilyen gyűjtőlencse-rendszer a szemünk, melyet a lencséhez közelően közelítve elérhetjük azt, hogy a széttérő sugarakat ideghártyánkon valós képpé egyesítse. Ez azt a látszást kelti a szemlélőben, mintha a lencse ugyanazon az oldalon, ahol a tárgy fekszik, ennek egyenesen álló,

nagyított képe volna (13. rajz). Minthogy ez a kép a valóságban nem létezik, ernyőn nem fogható fel, képzetes (virtuális) képnek nevezzük. Ezt az elrendezést alkalmazzuk az egyszerű nagyító lencse, a lupa alkalmazásánál. A nagyítás eme módját, minthogy hozzá a szemlélő szeme okvetlenül szükséges, s a képet csak a vizsgáló személy maga láthatja, szubjektívnek nevezhetjük (a 3. rajz érzékíti a lupa nagyító hatását a látószög megnövelése által).

A nagyítás (N) mértékét a kép méretének a tárgy méretéhez való viszonya adja meg. A lencse nagyítóképessége gyújtótávolságával fordított arányban van. Adott gyújtótávolságú lencse pedig annál jobban nagyít, minél közelebb áll a tárgy a gyújtóponthoz. Aszerint, hogy a tárgy és a kép összehasonlításánál ezek milyen mértékét vesszük figyelembe, a nagyítást területi, vonalas (lineáris) vagy szögmértékben fejezhetjük ki. A gyakorlati mikroszkópiában a nagyítást vonalas értékben szokás megadni.

Az egyszerű domború lencse csak egészen gyenge nagyításra alkalmas. A nagyítás fokozásának igen sok

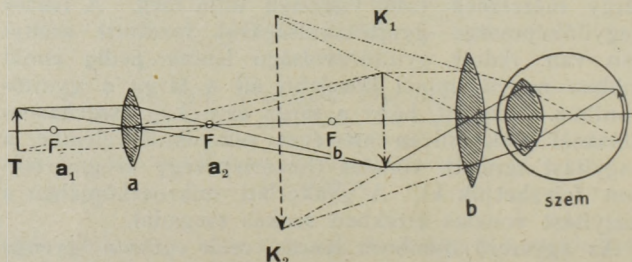
13. rajz. A kép keletkezése a lupe használatánál. A tárgy a lencse gyújtópontján belül áll. A lencsébe kerülő sugarak széttérően hagyják el ezt. Ideghártyánkon mégis valós kép keletkezik, mert szemünk törőközegei ismét összetérítik a sugarakat. Ez az ideghártyakép azt a látszatot kelti, mintha a nyugodt látás távolságában álló nagyított képet néznénk.



körülmény állja útját. Azt gondolhatnánk, hogy a legnagyobb akadály a nagyon rövid gyújtótávolságú, apró üveglencsék előállításának technikai nehézsége volna. Ez nagyon valószínűnek is látszik, ha meggondoljuk, hogy pl. az 1 mm gyújtótávolságú, kb. 250-szeres lupa nagyítású bikonvex üveglencse görbületi sugarai már

csak 1 mm-esek. Valójában pedig nem ezen múlik a dolog, mert már LEEUWENHOEK is készített ilyen erős nagyítású lencséket, a 18. században pedig még erősebb nagyítású lencsét is készítettek (214. o.). Az egyszerű lencsével való nagyítás fokozását inkább az ú. n. lencsehibák (l. 33. o.) rohamos fokozódása és a fényerő csökkenése akadályozza meg.

Ezeket a nehézségeket úgy segítik, hogy több nagyobb gyújtótávolságú lencsét helyeznek el egymás után egy közös optikai tengelyen (központosítás, cent-



14. rajz. A mikroszkópi kép szerkesztése szemmel való használatkor. a az objektív, melynek F_{a_1} és F_{a_2} a két gyújtópontja. b az okulár, amelynek F_b az elülső gyújtópontja. T a tárgy, K_1 az objektív-rajzolta kép, K_2 a végleges kép.

rálás), tehát egy lencse helyett egész lencserendszerrel dolgoznak (48. rajz). Így nagyobb, tehát könnyebben és tökéletesebben elkészíthető lencsék kombinációjával elérhetjük a rendszer közös gyújtótávolságának nagyfokú csökkenését, ami a nagyítás jelentős fokozásával jár.

A lencserendszer gyújtótávolságának csökkentése folyamán azonban csakhamar újabb akadály tűnik fel, amennyiben végül már alig tudjuk a tárgyat kellően közelíteni a lencserendszerhez. Különösen akkor válik ez kellemetlenné, ha lencserendszerünket lupa gyanánt

kívánjuk használni, midőn a tárgyat az amúgy is nagyon közeli gyújtóponton belül kellene elhelyezni.

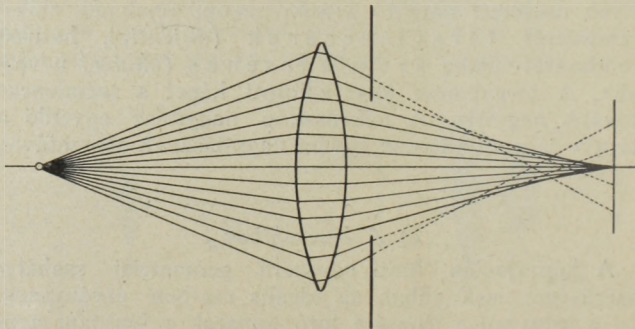
A nagyítást mármost úgy fokozhatjuk tovább, hogy az első nagyítórendszer által rajzolt képet egy másikkal nagyítjuk tovább, azaz összetett nagyítót szerkesztünk (14. rajz). Az összetett nagyító össznagyítása a két rész egyéni nagyításának szorzata. Ilyen összetett nagyító a mikroszkóp, amelynek elülső rendszerét tárgylencsének (*objektív*), hátszó rendszerét pedig szemlencsének (*okulár*) nevezük. A tárgylencse által alkotott képet a szemlencse tovább nagyítja. A mikroszkóp nagyítása egyenlő a tárgy- és a szemlencse egyéni nagyításának szorzatával.

c) *A lencsehibák.*

A képrajzolás fenti egyszerű geometriai szabályszerűségei csak abban az ideális esetben érvényesek, ha a tárgyból a lencsére jutó sugarak a fénytani tengelyhez közel és vele nagyjából párhuzamosan haladnak (ú. n. nullsugarak), vagyis ha a lencse kisnyílású és lapos. Ez azt jelenti a gyakorlatban, hogy jó képet csak kis nagyítóerejű lencsével s csak akkor kapunk, ha a tárgy igen kis kiterjedésű és az optikai tengelyen fekszik, meg ha a sugarakat szűk fényrekesztőn (diagramán) bocsátjuk át a lencséhez. A gyakorlat követelményei azonban ellenkeznek ezekkel a feltételekkel. A fényerősség kedvéért és egy másik egyelőre nem részletezhető ok miatt nagynyílású lencsákat kell használni. A fénysugarak sem esnek mind az optikai tengellyel megközelítően párhuzamosan a lencsére, mert a tárgynak többnyire jelentékeny oldalsó (laterális) kiterjedése van és legtöbb részletpontja kívül esik az optikai tengelyen. A nagyítás fokozása azt kívánja, hogy a lencsék felszíneinek erős legyen a görbülete. Ezen kö-

rülményekből az egyszerű lencse ill. az általa rajzolt kép hibáinak egész sora ered.¹²

Ezek a hibák két csoportra oszthatók. Az egyik csoportba a lencsének a pontszerű ábrázolástól való azon eltérései tartoznak, amelyek egy hullámhosszúságú, azaz egynemű fény esetén is bekövetkeznek. Ezek a monokromatikus aberrációk. A legfontos



15. rajz. Gömbi eltérés. A lencse az egy pontból kiinduló sugarakat nem egyesíti egy pontban, hanem a szélein áthaladó sugarak közelebb találkoznak. A hibát némileg javíthatjuk azáltal, hogy a leginkább eltérő szélső sugarakat fényrekesztővel visszatartjuk. A javítás ezen módja a fényerősség rovására megy.

sabb monokromatikus hiba a gömbi eltérés. A mikroszkópiában alig játszik szerepet ennek rokona a kóma és az asztigmatizmus. Fontos azonban két másik monokromatikus hiba, a valódi képdomborodás és a képtorzulás (latszólagos képdomborodás).

A lencsehibák egy másik csoportja azon a jelenségen alapul, hogy a fénytörésnél a törőfelületre eső fény sugar nem térül el egyszerűen (refrakció), hanem egy

¹² ABBE a lencsehibákat a fókushibák és a nagyítási hibák csoportjába sorolta.

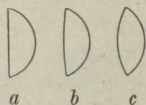
úttal összetevőire is bomlik (diszperzió) és ezek a komponensek különböző fokban törnek meg (l. 23. old.). Ezek a kromatikus aberrációk. Legfontosabb a színi eltérés. Idetartozik még a nagyítás kromatikus differenciája és a gömbi eltérés kromatikus differenciája. Ezekkel a lencsehibákkal a mikroszkóp megértéséhez nagyjában meg kell ismerkednünk.

1. A gömbi eltérés (*szferikus aberráció*) lényege az, hogy a tárgynak az optikai tengelyen fekvő részletpontjából kiinduló homocentrikus, divergens sugárnyaláb azon sugarai, amelyek a lencsén az optikai tengelyhez közelebb haladnak át, távolabb egyesülnek képponttá, mint a lencse széle felé áthaladó sugarak (15. rajz). Ez azért van, mert a gömbfelszínű lencse szélső zónái erősebben térítik össze a sugarakat, mint az optikai tengelyhez közelebb fekvők. Ez a hiba úgy demonstrálható, hogy az optikai tengelyen fekvő világító pont képét vetítőernyőn fogjuk fel. Ilyenkor azt látjuk, hogy éles képpont helyett szélei felé elhalványuló keszerek foltocská jelenik meg vagyis a tárgynak ú. n. szóródási körök által elhomályosított képét kapjuk. S ez így van, bárhol is állítjuk fel az ernyőnket. Azonban nemcsak a tengelyen fekvő tárgypontra, hanem a tárgy többi oldalsó részletpontjaira vonatkozóan is mutatkozik hasonló hiba¹³ (még akkor is, ha a tárgy oldalt

¹³ Ez a gömbi eltérés rokonjelenségének, az ú. n. „színuszfeltételtől“ való eltérésnek a következménye. Ahhoz, hogy az optikai tengelyen kívül, de hozzá még közel fekvő tárgypontról kiinduló homocentrikus divergens sugárnyaláb is egy pontban egyesüljön a lencse mögött, szükséges, hogy a lencse megfeleljen a színuszfeltételnek. (Ennek a lencsehibák tekintetében alapvető törvénynek, valamint az ú. n. tangensfeltételnek az ismertetésétől is el kell tekintenünk e könyv szűk keretei miatt.) A gömbi eltéréstől mentesített és a színuszfeltételnek is megfelelő lencsét ABBE aplanatikusnak (*πλαναίω*, eltéríték), az említett két pontot pedig konjugált aplanatikus pontnak nevezte.

aránylag egészen kis kiterjedésű,¹⁴ aminek következtében a kép egész terjedelmében homályos lesz.¹⁵

A gömbi eltérés annál nagyobb fokú, minél domborúbb a lencse. Nagysága még attól is függ, hogy a lencse melyik felszínével fordul a tárgy felé. Általában akkor kisebb, ha a domborúbb felszín az, amelyik a tárgy felé fordul. Plánkonvex lencsénél pl. közel 4-szer kisebb, ha a domború felszín néz a tárgy felé, mint az ellenkező esetben. De a lencsének az alakja is befolyás-



16. rajz. Alakjuknál fogva kicsiny gömbi eltérésű lencsék. *a* síkdomború lencse, *b* legjobb alakú lencse, *c* emberi szemlencse (term. nagys.).

sal van a hiba fokára. A gömbieltérés akkor a legkisebb, ha a két felszín görbületi sugarai úgy viszonylanak egymáshoz, mint 1:7 és a domborúbb felszín néz a tárgy felé (ú. n. legjobb alakú lencse,¹⁶ 16. rajz).

¹⁴ Ha a tárgy az optikai tengelytől oldalt nagyobb kiterjedésű, akkor megint újabb hibák: a kóma és az asztigmatizmus jelentkeznek (l. 40. és 41. old.).

¹⁵ Néhol azt a hibás állítást olvassuk, hogy a mikroszkópi kép, azaz a látómező széleinek a középső részletekhez képest feltűnően homályosabb volta a gömbi eltérés következménye. Ez tévedés, mert a széli részek homályát leginkább a később tárgyalandó képdomborodás okozza. A széli homály a mikroszkóp finom beállítócsavarának (mikrométer) elforgatásával kiküszöbölhető, ami nem volna lehetséges akkor, ha azt a lencse alakjából következő gömbi eltérés okozná. Minthogy azonban a szélső részek homályos voltát a képdomborodás okozza, a mikrométer elcsavarása közben viszont elhomályosodik a látótér közepe.

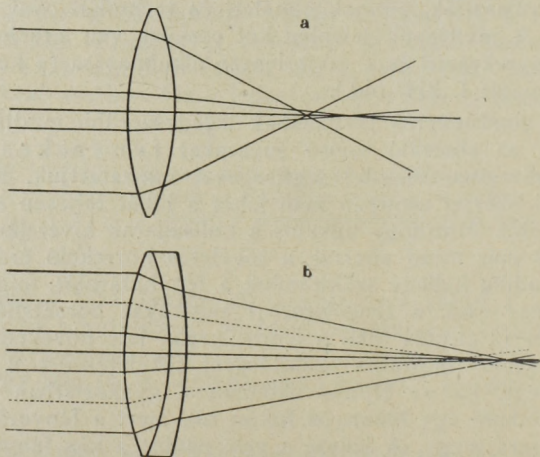
¹⁶ Ilyenféle a szemlencsénk, amelynek elülső felszíne 10 mm, hátulsó felszíne pedig 6 mm görbületi sugárral bír. Ez a laposabb felszínével néz előre.

Minthogy a gömbieltérés a lencsefelszínek gömbölyűségének a következménye,¹⁷ egészen okszerű az a gondolat, hogy a törőfelszínek alakjának megfelelő megváltoztatásával kellene megkísérelni a hiba javítását (DESCARTES). A gyakorlatban azonban nem ezt a módot választják, aminek elméleti és technikai okai vannak. A javításnak jelenleg két eszköze van elterjedve: a fényrekesztő és a javítólencse alkalmazása (e kérdés történetét l. 214. old.).

A gömbieltérés javításának legegyszerűbb módja az, hogy az aberráló szélső sugarakat fényrekesztő (diaphragma, Blende) segítségével visszatartjuk. Ezzel a módszerrel azonban nem lehet a hibát teljesen kiküszöbölni. Minthogy ugyanis a nullsugarak kivételével a többi már mind aberrál, a tökéletes korrekció érdekében addig kellene szűkíteni a fényhatárolót, mígnem ez már csak a tengelymenti sugarakat bocsátaná át. Mivel az eltérés foka a lencse szélei felé növekedik, a diafragma fokozatos szűkítésével tökéletesedik a kép élessége. Ez az eljárás azonban a gyakorlatban nem erőltethető egy bizonyos fokon túl, mert a fényerősség rovására megy. A lencse s vele együtt a kép fényerőssége is tudvalevően egyenes arányban csökken a diafragmanyílás átmérőjének négyzetével. Később látni fogjuk, hogy az ú. n. feloldás miatt sem elégedhetünk meg szűk sugárnyalábbal, hanem minél nagyobb nyílású lencsével kell dolgoznunk (l. 117. old.). Ezért a lencsék szerkesztői a diafragmázásban csupán a legszélső részekre szorítkoznak és a gömbi hiba fennmaradó részét inkább a hibás lencséhez illesztett javító (korrekciós) lencsével igyekeznek kiküszöbölni.

¹⁷ Nemcsak gömbfelszínű, hanem parabolikus és hiperbolikus stb. lencséknek is van „gömbi”-eltérése, sőt sík törőfelszínek esetén is jelentkezik hasonló hiba (l. a fedőlemeznél, 94. old.).

A gömbi hibában szenvedő (aberráló) gyűjtőlencséhez olyan javító (korrekciós) szórólencsét ragasztanak kanadabalzsam és dammárlakk keverékével,¹⁸ amelynek azonos mértékű, de ellentétes irányú gömbi eltérése van (17. rajz). Ezt a javítóencse felszíni görbületének



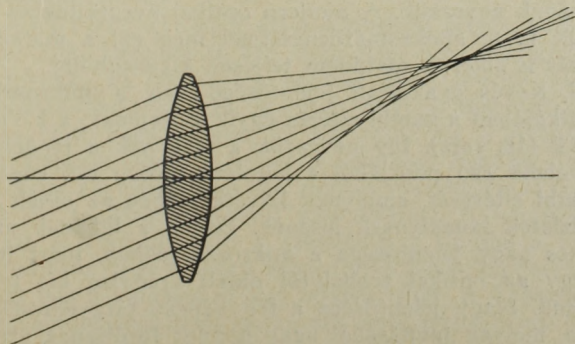
17. rajz. A gömbi eltérés javítása korrekciós lencsével. A koronaüvegből készült gyűjtőlencse gömbi hibáját flintüveg szórólencsével korrigálják. A javítás a lencse törőerejének rovására megy. A javítás csak a középső és szélső sugarakra sikerült teljesen, a többi övek sugarai még aberrálnak egy kissé (zónahiba).

megfelelő megválasztásával lehet elérni. Hogy a javítóencse kiszámítása milyen bonyolult, az mindjárt érthető lesz, ha meggondoljuk, hogy a lencsetervező optikusnak a gömbi eltérésen kívül még egy egész sereg

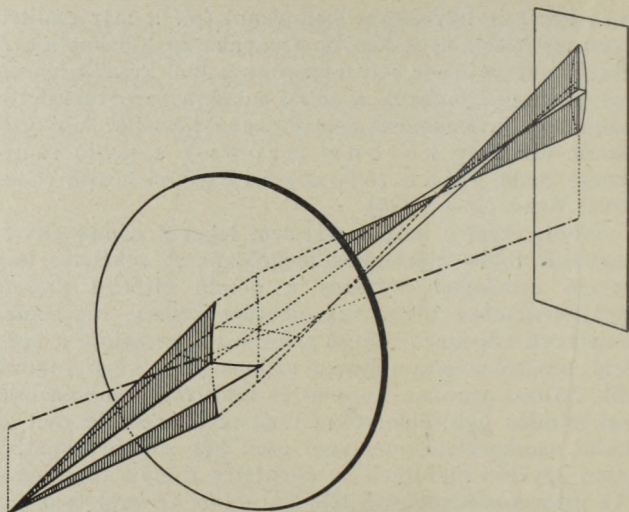
¹⁸ Üveghez hasonló törésmutatójú anyaggal először BREWSTER (Sir David angol fizikus 1781—1868) ragasztott össze lencsákat. Kanadabalzsamot A. és Ch. CHEVALIER használt először erre a célra (1823).

más hibát is figyelembe kell venni (pl. a már említett színuszfeltételt és a később tárgyalandó hibákat is). A gömbi eltérés maga ugyanazon anyagból készült lencsével is kiküszöbölhető, a többi hibákra való tekintettel azonban a javítólencsét más anyagból készítik. A gyűjtőlencse általában korona- (crown-), a javító szórólencse pedig flint- (ólom-) üvegből készül (CHESTER MORE HALL 1722).

Sajnos ezzel a módszerrel sem lehet a gömbi eltérés javítását teljes mértékben megoldani. A tökéletes korrekció érdekében ugyanis a gömbi eltérést mutató gyűjtőlencséhez olyan szórólencsét kellene ragasztani, amelynek ellenkező irányú szferikus aberrációja a széle felé zónárólzónára teljesen azonos mértékben fokozódik. Sajnos azonban korona- és flintüveg kombinációjával minden gyűjtőlencséhez csak olyan szórólencsét sikerül szerkeszteni, amelynél csak két zónára vonatkozóan egyenlő méretűek az ellentétes irányú aberrációk. Az ilyen kombinációval tehát a gömbi eltérést csak két zónára lehet javítani (pl. a középső és valamely szélső zónára (17. rajz b). A lencsekombináció többi zónája



18. rajz. Ferde sugárnyaláb gömbi eltérése, a kóma.



19. rajz. Asztigmatizmus.

továbbra is aberrál, ezt a fennmaradó kis hibát zóna-
hibának nevezzük. A modern optikai üvegfajtákból ké-
szült ú. n. apokromát-lencsénél még ezt a maradék-
hibát is sikerült majdnem teljesen kiküszöbölni.

2. Kevés gyakorlati jelentősége van a mikroszkóp
optikájában a gömbi eltérés egyik válfajának, a k ó m á-
n a k (18. rajz). Így nevezzük a tárgynak a tengelytől
távolabb eső pontjából a lencsére ferdén eső sugarak
gömbi eltérését, amelynek következtében az oldalt eső
részletek homályosak lesznek. Ennek a hibának azért
nincs nagy jelentősége a mikroszkópiában, mert itt a
tárgy az optikai tengelytől oldalt aránylag kis terje-
delmű. Nagy jelentősége a fényképező tárgylencsénél
van, melyek javításánál nagy gondot fordítanak erre a
hibára.

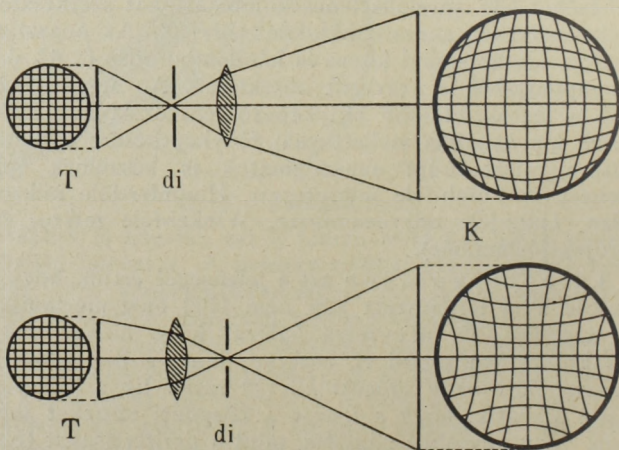
3. Szintén a széli részek életlenségét okozza az asztigmatizmus is. Ennek az a lényege, hogy az optikai tengelyhez képest ferdén beeső kerek sugárnyaláb a lencsén való áthaladásában olyanféleképpen torzul el, mint az a 19. rajzon látható. Az eredmény az, hogy a sugarak nem találkoznak egy pontban.

Ennek a jelenségnek szintén főként csak a fényképezésben van jelentősége, ahol nagy a tárgyak oldalsó kiterjedése az objektívtől való távolsághoz képest. Míg a kóma diafragmázással csökkenthető éppúgy, mint az egyszerű gömbi eltérés, az asztigmatizmus javítása nem sikerül ilyen egyszerűen. E hiba kiküszöbölésére több lencséből álló speciális lencsekombinációkat szerkesztettek, melyeket anasztigmátoknak hívnak. Az anasztigmátok egyszersmind kóma és képdomborodás (l. 42. o.) szempontjából is korrigált objektívek. Az anasztigmátok a legtökéletesebb fényképező lencsék. Nagy látóterek kis nagyítás mellett való fényképezésére és vetítésére mikroszkópi anasztigmátok is készülnek (pl. Bausch & Lomb-féle microtessar, Himmler-féle mikroplan, Leitz-féle mikrosummare, Winkel-féle mikro és projekciós lüminár).

4. Képtorzulás on azt a jelenséget értjük, hogy a lencse által létrehozott kép nem felel meg mértanilag a tárgynak. Pl. négyzetes hálózat képe hordó vagy vánkosszerűen torzul el, aszerint, hogy a diafragma a lencse előtt vagy mögött áll (20 rajz). Ez a jelenség azon alapszik, hogy a lencse a központi részeket jobban, vagy kevésbé nagyítja, mint a perifériásakat (ok: az ú. n. „tangensfeltételtől“ való eltérés). A képtorzulás azt a látszatot kelti a szemlélőben, mintha a kép domborodna vagy homorú volna (látszólagos képdomborodás) bár a valóságban egy síkban lehet. A képtorzulás szempontjából javított lencsét orthoszkopiásnak nevezik. A mikroszkóp objektívje sokkal csekélyebb mértékben torzít, mint az okulár. A mikroszkópban a tor-

zítás enyhítésére a Huygens-féle okulárokban a kollektív lencse szolgál, amely úgy van a sugarak útjába iktatva, hogy ellenkező értelemben torzít. Ez a tárgylencse által létrehozott torzított képet még túl is korrigálja annyira, hogy ezáltal már eleve kompenzálja az utána következő szemlencse erős torzítását is. Az erős torzításról meggyőződhetünk, ha a kollektív-lencsét kicsavarjuk a foglalatából és egyedül a szemlencsével mikroszkópizálunk.

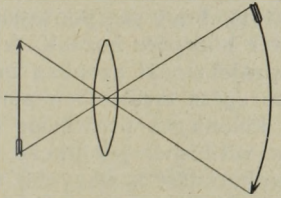
5. A kép valódi domborodása abban áll, hogy az optikai tengelyre merőlegesen álló síkfelületű tárgy képe nem síkfelületű, hanem a lencse



20. rajz. Képtorzulás.

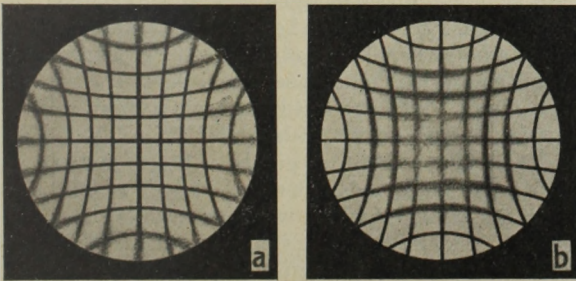
felé homorú gömbfelszínen keletkezik (21. rajz). A képdomborodás oka az, hogy az optikai tengelytől távolabb — s így a lencsétől is távolabb — eső tárgypontokból érkező sugarak előbb egyesülnek, mert mint tudjuk, távolabb fekvő pontok képe a len-

cséhez közelebb keletkezik. A dolgok lényegéből következik, hogy ez a hiba leginkább ott észlelhető, ahol a síkfelszínű tárgynak nagy a kiterjedése az optikai tengelyre merőleges irányban (szemünk, fotográfia, mikroszkóp okulárja). A képdomborodás szempontjából ja



21. rajz. Valóságos képdomborodás.

vített lencserendszert aplanatikusnak vagy komplana-
tikusnak szokták nevezni.



22. rajz.

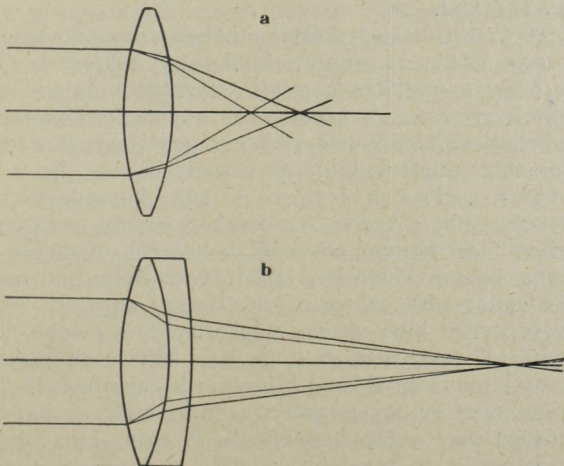
A kép valódi domborodása a mikroszkópban abban nyilvánul, hogy ha a látótér közepét állítjuk be élesen, akkor a periféria homályos és viszont. Az egész látóteret csak úgy vizsgálhatjuk át, hogy folyton forgatjuk a mikrométert (22. rajz). Az egyszerű mikroszkópizá-

lásnál is nagy szerepe ennek a hibának, különösen ha Huygens-féle okulárt használunk, amelynek kollektív-lencséje a torzítással együtt ezt a hibát is jelentősen korrigálja (l. 98. old.), mert a mikrométer segítségével módunkban van a tárgy minden részét egymásután külön-külön élesen beállítani és megvizsgálni. Ezenkívül megtehetjük azt is, hogy a pontosan megfigyelendő részletet a látótér közepére hozzuk. A mikrofotográfiánál és a mikroprojekciónál azonban már elsőrendű érdek, hogy a kép egész területében pontosan egy síkba essék. Evégből különleges projekciós okulárok készülnek, amelyek a vetítésnél jelentkező egyéb hibákkal együtt a képdomborodást is nagyobb mértékben korrigálják, mint a szubjektív mikroszkopizáláshoz használatos egyszerű okulárok: kisimítják a képet (Bildfeldeb-nung, Ebnungsokulare). De az egészen szélső részék még így is homályosak, amin vetítés közben a mikrométer mozgatásával kell javítanunk. Mikrofotografálás szempontjából újabban igen jelentős haladást jelent a Boeghold-Köhler-féle „Homal“-okulár (Zeiss), amelynek alkalmazása esetén egészen a szélekig teljesen éles felvételeket készíthetünk.

Ezen ú. n. monokromatikus, azaz a fény törése alkalmával fellépő színszóródás jelenségétől független hibák letárgyalása után a gömbi eltérés mellett legnagyobb jelentőségű másik lencsehibának, a színi eltérésnek és rokonjelenségeinek vizsgálatára térünk.

6. A színieltérés (*kromatikus aberráció*) a lencse üveganyagának színszóró, azaz a beléje jutó összetett fényt alkatelemeire bontó tulajdonságának következménye. Az üveglencse a rövidebb hullámhosszú sugarakat erősebben téríti el, mint a lassúbb rezgésűket. Az egyszerű üveglencsének tehát minden különböző hullámhosszúságú (színű) sugárféleségre vonatkozóan más gyújtópontja, illetve gyújtó távolsága van (kromatikus fókusz-differencia, 23. rajz). A vörös gyújtó-

pont van a lencsétől legtávolabb, a kék, ill. az ibolyánál a legközelebb és a kettő között az ismert sorrendben helyezkednek el a színek többi színeire vonatkozó gyújtópontok.¹⁹ Ez a jelenség a pontszerű ábrázolás rovására megy, mert az egy pontból kiinduló fehér fény komponensei a lencsén áthaladva más és más pontban találkoznak.²⁰ Bárhol állítjuk fel felfogó ernyőnket, se-



23. A színi eltérés és javítása. A koronaüvegből készült gyűjtőlencse színi hibáját flintüveg szórólencsével javítják. A korrekció a törőképesség rovására megy.

¹⁹ Mikor általánosságban valamely lencse gyújtópontjáról beszélünk, akkor a nátrium színekének D-vonalára vonatkozó gyújtópontot értjük. Ez a spektrumnak látászervünk számára legvilágosabb sugara.

²⁰ Egyszerűség kedvéért most eltekintünk attól, hogy minden komponensre vonatkozólag még külön jelentkezik a gömbi eltérés is.

hol sem kapunk éles fehér képpontot, hanem az ernyőn színes szóródási körökből álló elmosódott folt jelenik meg. Természetesen ez nemcsak pontszerű, hanem véges kiterjedésű tárgyakra is vonatkozik, azaz a lencse a tárgyról különböző helyeken annyi képet rajzol, ahány komponensből áll a tárgytól érkező fény. Az eredmény az, hogy a színi hibával dolgozó lencse képe egész kiterjedésben homályos lesz, mert a színes képek fedik egymást.

7. Itt említjük meg a színi hibában szenvedő lencséknek egy másik, az említettekben folyó hibáját is. Tudjuk, hogy a nagyítás a gyújtótávolságtól függ s ezzel fordítva arányos. A kromatikus aberráció következtében keletkező különböző színű komponensképek a fókusz-differencia miatt különböző nagyításúak is. Ez a nagyítás színi hibája. A kék komponens kép nagyobb, mint a vörös. Az összkép, amely az egymást részben fedő komponensekből keletkezik, nemcsak homályos, hanem különösen a látótér szélein, ahol az eltérés legnagyobb, színesen szegélyezett is.

A kép színi hiba okozta tökéletlenségét kisebb, lupa nagyításnál észre sem vesszük. Ez a hiba csak nagyobb, mikroszkópos nagyításnál jelentkezik zavaróan. De szemünket nem is bántja annyira, mint amilyen nagy jelentősége van a fényképezésnél. A színi hibával bíró tárgylencse t. i. távolabb rajzolja a szemünkre élénk világosan ható színek komponensekből (sárga, zöld) álló képet, mint a sötétebb, de a fényképezőlemezre erősen ható kémiai (kék, ibolyántúli) részletképet. Ezért azután a homályos üvegen élesen beállított kép helyett a fényképezőlemezen homályos fotogramm keletkezik. A homály oka az optikai és kémiai sugarakra vonatkozó fókusz-differencia. Ezt a hibát bizonyos mértékben kiküszöböljük, ha a homályos üvegen való éles beállítás után a helyébe tett fényképező lemezt valamivel közelebb töljük a lencséhez.

Az említett sokféle zavaró jelenség miatt érthető, hogy az optikusok mindent elkövetnek a kromatikus aberráció és szövedményeinek kiküszöbölésére.²¹

A színi eltérés kiküszöbölése végett megfelelő javító²² lencsét ragasztanak az aberrálóhoz. A legegyszerűbb kombináció az, amely korona²³ (crown²⁴) üvegből készült gyűjtőlencséből és erősebb színszoróképeségű, de gyengébben törő flintüveg szórólencséből áll. Természetes, hogy a korrekciós lencse negatív törőerejének kisebbnek kell lennie, mint a gyűjtőlencséé, mert különben ennek a nagyítóképeségét megsemmisítené. Az a korona²⁵ és flintüveg kombinációjából álló lencse, amelynél a látható színek két színére nézve nincsen fókusz-differencia, azaz erre a két színre kromatikusán korrigálva van, *akromatikus*. A régebbi üvegfajtákból készült ilyen lencserendszereket egyszerű vagy Fraunhofer-féle akromátoknak nevezzük.²² A komponens lencsék optikai állandóinak kiszámítása a Fraunhofer-féle képletek alapján történik. Ezek segítségével tetszésszerűen két színre (hullámhosszra) korrigált akromátok szerkeszthetők. Így pl. készíthető a színek két szélső színére, a vörös és a kék sugárra javított lencse. A szemmel való vizsgálatra szánt műszerek lencséjét a szem számára leginkább hatékony (legvilágosabb) színekre, a sárgára (nátrium D-vonala!) és a zöldre való tekintettel szokták javítani.

A színi hibák egyszerű, régi korona²⁶ és flintüveg²⁷ kombinációival kettőnél több színre nem lehet javítani.

²¹ Csak két különleges esetben nincs erre szükség. Az egyik az arcképfényképezés, ahol szinte előnyös ez a hiba, mert a kép kellemes légységát okozza. Továbbá nincs szükség a színi hiba kiküszöbölésére mindazon optikai berendezéseknél sem, amelyeket egynemű (homogén monokromatikus) fénnel használnak.

²² Az első akromátot (távcső számára) CHESTER MORE HALL készítette (1722), az első mikroszkóp²⁸akromát pedig DOLLONDtól (1752) származik.

Az ilyen lencsénél a többi szín tekintetében továbbra is fennáll a fókusz-differencia. A színi eltérés ezen maradvékát „szekundér spektrumnak“ hívják.

Mint láttuk, a szferikus aberráció kiküszöbölését is úgy oldják meg, hogy az aberráló gyűjtőlencséhez megfelelő kompenzáló szórólencsét illesztenek. Az ilyen lencsekombinációkat úgy igyekeznek megszerkeszteni, hogy az egyszerre a gömbi és a színieltérés tekintetében is javított legyen.

Abból, hogy a gömbi és színi hibát szórólencsével javítják, az következik, hogy a korrekció a javítás rovására megy. Ezt a veszteséget több, külön-külön korrigált lencséből álló rendszerrel pótolják.

Az egyszerű crown-flintüvegből álló ú. n. régi akromátok akromáziája nem tökéletes, mert a korrekció csak a látható spektrum két színére nézve van meg, a többi színek pedig még mindig eltérnek. Ez az ú. n. másodlagos színi eltérés (szekundér spektrum). Ezen kívül még az említett mértékű korrekciót is csak a lencse egy bizonyos zónájára vonatkozólag lehet tökéletesen megvalósítani.

A további tökéletesítés a lencsehibák javítása terén új lencseanyagok bevezetésével vált lehetővé. Ilyenek az új optikai üvegek (pl. a jénai Schott-gyár borát-, foszfát-, szilikát- stb. üvegei) és a fluorit (54. old.). Az új lencseanyagoknak a régi akromát-konstrukciókba való beépítésével sikerült a két színre való tökéletes korrekció mellett még egy harmadik szín eltérését is nagy mértékben csökkenteni. Így készülnek az ú. n. novakromátok, szemisapokromátok, fluoritrendszerek, holoszkópikus objektívek (Watson) stb. Azonban ez a magasabbrendű korrekció még mindig csak egy lencsezónára vonatkozott. Abbenak új szerkesztésbeli elvek bevezetésével és újfajta üvegyanyagok felhasználásával sikerült a három színre való korrekciót is elérni, sőt ezt a lencse összes zónáira

is kiterjeszteni. Ezek a manapság is legtökéletesebb lencsekombinációk az apokromátok. Az első apokromátot ABBE számításai alapján C. ZEISS jeni optikus készítette (1886).

Az apokromátoknál a kromatikus hibát egyszerre három spektrális színre korrigálják. A többi színre nézve azonban még mindig fennáll a színi eltérés: ez a terciér spektrum. E hiba csekély zavaró hatását a mikroszkópnál úgy lehet kiküszöbölni, hogy az apokromatikus objektívekkel kompenzációs okulárokat használunk, melyeket úgy szerkesztenek meg, hogy hasonló mértékben, de ellentétes értelemben szenvedjenek a harmadlagos színi eltérésben. Ezek ugyan csak ABBE számításai alapján C. ZEISS gyárában készültek először az új Schott-féle üvegekből.

A kompenzációs okulárok hatása főként a nagyítás kromatikus különbségének javításában nyilvánul. Ez a hiba még a legtökéletesebb objektív-apokromázia esetén is jelentkezik és, mint tudjuk, abban áll, hogy a különböző színű képelemek (melyeket az apokromátok megközelítően egy síkban rajzolnak), kissé különböző nagyságúak. Minthogy a színes részletképek ennél fogva nem fedik egymást tökéletesen, a körvonalak, különösen a látótér szélein színes szegélyt kapnak. Ez a hiba szabad szemmel való vizsgálatnál nem is vehető észre, de igen zavaróan nyilvánul a mikrofotográfiában, mert a kémiai sugarak térnek el leginkább. Itt tehát okvetlenül kompenzációs okulárt vagy más, hasonló szempontból javított különleges fényképező okulárt kell használni. Minthogy az objektív által rajzolt színes részletképek közül a kék a legnagyobb és a sárga a legkisebb, a kompenzációs okulárokat úgy szerkesztik meg, hogy azok éppen fordítva szenvedjenek ebben a hibában, vagyis a sárga komponest nagyítsák jobban mint a kéket és így kompenzálják az objektív hibáját. Ezért van az, hogy a kompenzációs okulárba nézve

sárga szegélyt látunk a látótér szélén. (Közönséges okulárban a látótér szegélye kék.)

Ezen lencsék kiszámításakor arra is ügyelnek, hogy az összes kompenzációs okulárok, akármilyen nagyításúak, azonos mértékben rendelkezzenek ezzel a mesterséges kompenzáló hibával (ez természetesen csak ugyanazon gyár készítményeire vonatkozik). Viszont az apokromátok szerkesztésénél is arra törekszik a gyár, hogy összes apokromátjai azonos mértékben szenvedjenek az említett hibákban. Csak így lehetséges, hogy bármely apokromátobjektívhez ugyanazon gyár akármelyik kompenzációs okulárját használhatjuk és a kompenzáció egyenlően tökéletes fokú.

8. A gömbi eltérés színi különbsége:

Ez a hiba szintén az üveganyag színszóró (diszperziós) képességéből ered. A gömbi eltérés tárgyalásánál nem voltunk tekintettel arra, hogy a tárgypontból kiinduló fénysugarak különböző hullámhosszúságú komponensekből állanak, hanem az egyszerűség kedvéért meg gondolásunkban homogén (azaz egyetlen hullámhosszúságú, a nátrium D vonalát képező) sugár sorsát vizsgáltuk. Ha azonban figyelembe vesszük azt is, hogy összetett (pl. fehér) fény esetén a fénytörés mindig színszóródással jár együtt, akkor azonnal érthetővé válik az, hogy a lencse különböző zónáinak különböző mértékű törőképesége folytán az egyes zónákban különböző fokú a színi eltérés is. Ezt a gömbi eltéréssel kapcsolatos színi hibát nevezzük a gömbi eltérés színi különbségének. A régi crown-flintüvegkombinációból álló akromátoknál a gömbi eltérés csupán a színkép legvilágosabbnak látszó középső sugarterületére van javítva. A látható színkép szélső sugaraira nézve azonban még fennáll a szferikus aberráció. Az apokromát

tok ebben is tökéletesebbek. Ezeknél egyszerre több színre nézve sikerült javítani a gömbi eltérést, azaz sikerült bizonyos mértékben kiküszöbölni a gömbi eltérés színi különbségét.

C) *Az optikai lencseanyagok.*

A legrégebb ismeretes lencse (l. 208. old.) hegyikristályból készült. Nero szemüvege smaragdból (?) való volt. A görögök és rómaiak állítólag már ismerték az üveglencsét is és később lencsék készítésére sokáig kizárólag csak üveget használtak. A nagyítóval való foglalkozás elterjedése idején eleinte csupán a nagyítás fokozása utáni vágyból próbálkoztak ismét más anyagokkal. A vízen kívül különböző folyadékok (kénsav, különböző olajok, kanadabalzsam) cseppjeit próbálták nagyításra használni és az erre a célra szinte önként kínálkozó drágakövekből is készítettek lencsákat. Már LEEUWENHOEK is csiszolt nagyítólencsét hegyikristályból. Később a lencsehibák javítása céljából kísérleteztek átlátszó ásványokkal és drágakövekkel. BREWSTER volt az első, aki ilyen célból foglalkozott különböző anyagokból készült lencsékkal. Az ő számára készített először rubin- és gránátlencsét HILL s ő ajánlotta lencsekészítésre a gyémántot is, amelynek fénytörése erősebb ($n = 2.47$), színszórása azonban kisebb az üvegénél. Az első gyémántlencsét PRITCHARD készítette 1824-ben. Azóta többen is készítettek gyémánt, szafir, rubin, topáz stb. lencsákat, de ezek elterjedését különféle körülmények meggyúsították (előállítási nehézségek, hibátlan anyag ritkasága, ennél fogva drága volta, továbbá, hogy egyes drágakövek kettős törésűek, erősen színezettek stb.). A lencsekészítésre kipróbált ásványok közül csak kettő tudott polgárjogot szerezni az üveg mellett: a fluorit és a kvarc.

a) Régebbi üvegfajták.

Az üveg az alkáli-fémek (kálium, K; nátrium, Na) kalcium (Ca) szilikátja (SiO_2 és SiO_3). Az ablaküveg nátrium-kalciumszilikát. Az optikai üvegek káliumüvegek. A gyengébben fénytörő korona-(crown-)üveg kálium-kalciumszilikát. Az erősebben fénytörő flintüvegben* a kalciumot részben vagy egészben ólom (Pb) helyettesíti.

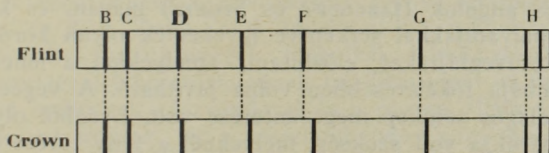
A régi koronaüveg-fajták törésmutatója a színeké *Fraunhofer*-féle D vonalára vonatkozóan n_D : 1.51—1.52 között mozog. Ezen üvegek fajsúlya 2.5 körül van. Az egyszerű flintüvegek törésmutatója, n_D : 1.55—1.75-ig terjed, fajsúlyuk pedig 3—5 között változik. Ezen értékek szerint könnyű és nehéz flintüvegeket különböztetnek meg. A két üvegfajta diszperziója között kétféle különbség áll fenn.

Az egyik az, hogy flintüveg színszóróképesége, vagyis totális diszperziója ($n_H - n_A$) nem a törésmutatójával (n_D) arányosan nagyobb a koronaüvegénél, hanem aránytalanul sokkal nagyobb. Ez a jelenség teszi lehetővé, hogy a koronaüveglencse színihibáját flintüveglencsével javíthassuk. Az említett sajátság következtében ugyanis valamely koronaüvegből készült gyűjtőlencsével azonos értékű (de ellenkező irányú) színszórást mutató flintüveg-szórólencse az előbbinél sokkal laposabb és jóval kisebb törőképeségű. Ez tehát meg fogja semmisíteni a koronaüveg-gyűjtőlencse színszórását, de nem semmisíti meg a gyűjtőerejét.

b) A másik különbség a két üvegfajta színszórása között az előbbivel ellentétben hátrányos a színieltérés javítása szempontjából. Ez a különbség abban áll, hogy a két üvegfajta színekének megfelelő szakaszai nem arányosak, hanem a vonalak elosztása a kétféle szín-

* Flint a kvarc egyik válfajának, a tüzkönek angol neve.

képben más (FRAUNHOFER, I, 24. rajz). Ez a különbség akkor tűnik fel leginkább, ha korona- és ennél megfelelően kisebb törésszögű flintüvegprizmával két egyforma hosszúságú színeképet állítunk elő egymás alatt. A flintüveg színeképének a D-vonaltól jobbra eső része relatíve hosszabb a baloldalihoz képest, mint a koronaüvegé. Ezt az optikusok úgy fejezik ki, hogy más a két



24. rajz. Flint- és koronaüveghasábbal előállított azonos hosszúságú színeképek (Lummer). A flintüvegprizma sokkal kisebb törésszögű volt, mint a koronaüveghasáb. Ha ezt a két prizmat fordítva egymás mellé tennők, akkor a színi eltérés a B és H vonalakra javítva volna. A többi sugarak aberrálnának és másodlagos színeképet képeznének.

színekép vagy a két diszperzió menete. A kétféle üvegnek más az egyes szakaszokra vonatkozó relatív parciális diszperziója. Akárhogy húzzuk szét a két színeképet, mindig csak két vonalat tudunk fedésbe hozni (pl. a 24. ábrában a B és a H vonalakat), a többi nem egyezik. S ennek megfelelően csak olyan korrekciós lencsepárok készíthetők, amelyeknél a színieltérés két színre nézve szűnik meg. A többi szín még kissé eltér: ez a másodlagos színekép (secundaer spectrum).

Az ideális kívánság a színieltérés javítása szempontjából olyan üvegpár volna, melynél a diszperzió menete teljesen azonos (FRAUNHOFER). Ezt még nem sikerült elérni. Bizonyos újabb jeni optikai üvegpárok, vagy egyes ilyen üvegek és a fluorit színeképmenete annyira hasonló, hogy kombinációjukkal három színt sikerül fe-

désbe hozni. Ezeket a kombinációkat használják fel az apokromátok készítésekor. A többi szín azonban még ezeknél is eltér egy kissé: ez a harmadlagos színekép (tertiaer spectrum).

b) Újabb optikai üvegek.

A mult század második felében németek (FRAUNHOFER és UTZSCHNEIDER), franciák (GUINARD, atya és fiú, és angolok HARCOURT és STOKES) magán- és kormánypályadíjakkal serkentve igyekeztek olyan korona- és flintüvegfajtákat előállítani, amelyekkel a lencsék színihibája tökéletesebben volna javítható. A végcél a másodlagos színekép megszüntetése volt. Evégből olyan üvegpárokra volt szükség, melyeknél a fény törése különböző (a D-vonalra nézve), de a színekép menete hasonló. Tudós optikusok és kiváló üvegtechnikusok vállaltak fáradozása eredményezett is néhány újabb üvegfajtát, amelyek optikai sajátságaikban a régiekkel szemben némi haladást mutattak. A legkomolyabb munka azonban akkor indult meg, amikor ABBE ösztönzésére SCHOTT 1881-ben Witten i. W.-ben rendszeres üvegovasztási kísérleteket kezdett végezni azon kérdés megvizsgálására, hogy újabb vegyi alkatrészek bevitelével miként lehet meghatározott irányban befolyásolni az üvegek optikai sajátságait. A kísérletek eleinte csupán kicsinyben, laboratóriumi keretek közt folytak, 20—60 gr-os próbaolvasztásokat végeztek annak megállapítására, hogy mely alkatrészek minő befolyással vannak az üveg fizikai (keménység, rugalmasság, szilárdság, termikus sajátságok), kémiai (tartósság, vegyi behatásokkal szemben való ellenállóképesség) és optikai (fénytörés, színszórás, sarkítás) sajátságaira. ABBE szemelőtt eleinte csupán a távcsőhöz és mikroszkóphoz használható optikai üvegek tökéletesítése lebegett, de SCHOTT-nál csakhamar jelentkeztek az üvepipar egyéb irányainak képviselői is, akik ösztönzésére ő más irá-

nyú kísérleteket is felvett munkaprogramjába (pl. hőmérőüveg, hőálló laboratóriumi üvegek stb.). SCHOTT, aki laboratóriumát 1882-ben Jenába helyezte át, ezeket a kérdéseket is fényesen megoldotta s a különböző jénai ipari üvegek is világhírűek lettek.

Az újonnan előállított optikai üvegféleségek fénytani sajátságait (fénytörés, színszórás, fényssarkítás stb.) a beküldött próbadarabokon ABBE és asszisztensei vizsgálták meg. Ehhez a társasághoz később csatlakozott KARL és ROD. ZEISS, akik jénai optikai műhelyükben megkezdték az új üvegek technikai feldolgozását is. SCHOTT jénai laboratóriumának felállítása már az összes eddig említettek részvételével és a porosz állam támogatásával történt. Itt a kísérletek már nagyobb árnyokban folytak, úgy, hogy 1884-ben már megkezdték az új üvegek gyári előállítását nagyban is. A gyár fejlődésének ütemére jellemző, hogy már 1888-ban nemcsak fedezte Németország egész optikai üvegszükségletét, hanem már ki is vitt.

Annak megvilágítására, hogy a kísérleteknek milyen nehézségekkel kellett megküzdeni, álljon itt néhány példa. Gyakran előfordult, hogy a reményteljes keverék megtámadta az olvasztótégelyt s azáltal, hogy belőle nem kívánatos anyagokat vett fel, használhatatlanná vált. Külön fáradságos mellékkísérleteket kívánt a megfelelő tégelyanyag előállítása. Máskor bizonyos alkatrészek az olvasztóhőmérséklet emelkedésekor gázzá válva buborékaikkal megzavarosították az üveget. Más alkatrészek a kihüléskor való kicsapódásuk vagy kikristályosodásuk által hiúsították meg a kísérletet. Sok jól sikerült üveg akkor ment tönkre, mikor technikai feldolgozás céljából másodszor olvasztották meg. Egyes kitűnő optikai sajátságokat mutató üvegfajtákról kiderült, hogy higroszkoposak, az állás folyamán a levegő nedvessége megzavarosította őket. Mindezen zavarok kiküszöbölése hosszú mellékkísérleteket

igényelt. Így pl. teljesen új lehűtési eljárást kellett kidolgozni, mert sok üvegben a kihűléssel járó összehúzó-dás kapcsán olyan feszültségkülönbségek léptek fel, melyek következtében az üveg kettősen törővé s így hasznavehetetlenné vált. Így érthető, hogy egyes keverékekből sokszor még olyan kis próbadarabkát sem sikerült nyerni, amely az optikai sajátságok kivizsgálására alkalmas lett volna.

De a tervszerű szívós munka mégis mind eredményesebbé vált. 1886-ban már 44, 1888-ban pedig 70 gyakori felhasználásra alkalmas optikai üvegfajtát állítottak elő. Ez a szám azóta a gyár legújabb katalógusa (No. 2047) szerint 116-ra emelkedett.

Az éveken át folytatott rendszeres olvasztási kísérletek kapcsán az üvegtéző elemek számát a régen ismeretes hatról (Si, K, Na, Ca, Pb, O) 28-ra sikerült emelni. Pontosán megállapították ezen elemek hatását az üveg optikai sajátságaira. Lássunk néhány példát arra vonatkozóan, hogy egyes elemek milyen hatással vannak az üveg színszóró képességére s hogy ennek ismerete milyen gyakorlati haszonnal jár.

Kiderült, hogy az üvegbe került bór hatására a színeknek a D-vonaltól a kék felé eső része a másikkal képest megrövidül. A régi akromátokban használt közönséges flintüveg (szilikát-ólomüveg) színszórása abban tért el a crown-étől, hogy a színeknek kék része aránytalanul hosszabb volt. Megfelelő mennyiségű bór bevitelével a flintüveg (borátfliint) diszperziójának kék részletét nagyon hasonlónak lehetett tenni a crown-éhoz, miáltal javítani lehetett a másodlagos színekben. De ugyanaz az eredmény, ha fluor bevitelével a koronaüveg színeknek kék részét a vöröshöz képest megrövidítjük. Az említettekén kívül még különösen kitűnő optikai sajátságokkal rendelkeznek a könnyű foszfátkoronaüvegek, a nehéz báriumfoszfátkorona és a barytflintüvegek.

A fluorittal való kísérletezés közben rájött ABBE, hogy nem érdemes ennek az anyagnak az üvegbe való bevitelével járó nehézségekkel küzdelem, mert ez önmagában is kitűnően használható lencsekészítésre. Az üvegnél alacsonyabb törésmutatója és diszperziójának menete lehetővé teszi, hogy megfelelő borátflinttel kapcsolatban, mint a koronaüveg helyettese a másodlagos színeképet szinte teljesen eltüntessük vele. Ezért az apokromátok felépítésében igen fontos szerepe van.

C) Ásványi anyagok.

1. A fluorit (folypát, Flussspat, kalciumfluorid, CaF_2) átlátszó, kristályos ásvány. A szabályos rendszerbe tartozó kristályai hexaeder (kocka) vagy oktaeder alakúak, vagy ezeknek egymással, esetleg más kristályalakokkal való kombinációjából állanak. A szintelen fluorit ritka. Ilyen található pl. a Schwarzwaldban. Színes alakjai halványsárgák, zöld vagy ibolyaszínűek. A színeződés vegyi tisztátalanságoktól származik. Optikai célra csakis a teljesen szintelen, vegyi és mikroszkópos szennyeződésektől teljesen mentes kristályok használhatók. A fluorit jellemző tulajdonsága a fluoreszkálás. Ez a jelenség, amely nevét éppen ettől az ásványtól kapta, abban áll, hogy az anyag más színben tűnik fel áteső, mint ráeső fényben. Az áteső fényben ibolyaszínű cumberlandi folypát pl. ráeső fényben zöld. A fluorit eme sajátossága legfeltűnőbbben akkor mutatkozik, ha láthatatlan ibolyántúli sugarakkal „világítjuk” meg: sötétben zöldes színben csillan fel. Ezért nem lehet ibolyántúli sugarakkal való vizsgálatokhoz folyóatlensét használni. A fluorit melegítés alkalmával is világít: foszforeszkál. A fluorit izotróp, azaz a fényt minden irányban egyszerűen törli, mint az összes szabályos rendszerbeli kristályok. Törésmutatója valamivel kisebb az üvegnél: $n = 1.435$. Keménysége a Mohs-

féle skála szerint csak 4. Fajsúlya 3·2. Kénsav fluorsav felszabadítása közben bontja, ezért savaktól óvni kell a folypátlencsüket.

2. A kvarcot terméshalakban (hegyikristály) már nem használják optikai célokra, mert kettőtörésű és nem elég nagyok a hibátlan darabok. 1904 óta megtudják olvasztani elektromos kemencében és tetszésszerű nagyságú darabokat tudnak belőle előállítani. Az olvasztott kvarc optikailag egynemű (nem kettőtörésű). A kvarc optikai alkalmazása azon tulajdonságán alapul, hogy átbocsátja az ibolyántúli sugarakat (egészen 150 μ -ig). A fluorittal szemben ibolyántúli sugarak hatására nem fluoreszkál. Magas olvadási hőfoka miatt mindenütt helyettesíti az üveget, ahol nagy hőmérsékleten dolgoznak (hevítőcsészék, kvarclámpás csöve).

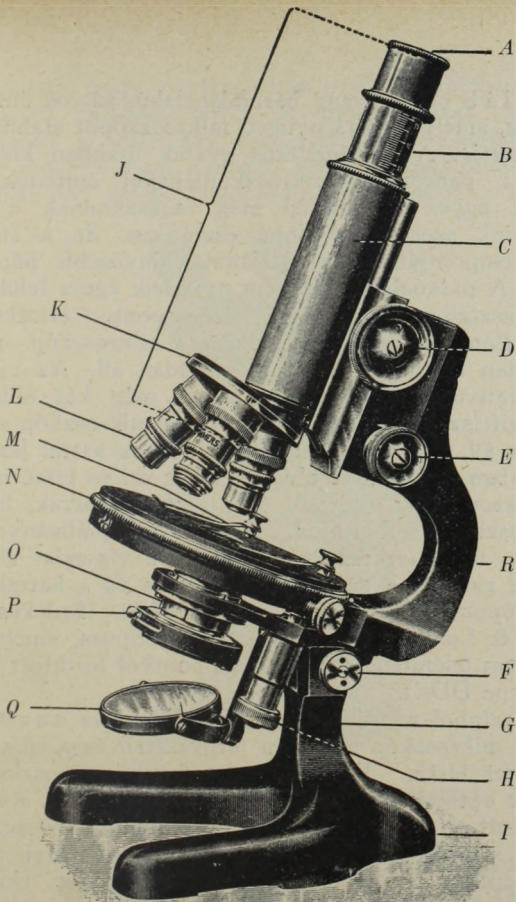
III. A mikroszkóp leírása.

A mikroszkóp komplikált optikai műszer, melynek mechanikai és optikai részei vannak. A különböző vizsgálati irányok szerint nagyon sokféle szerkezetű mikroszkópot hoznak forgalomba. Ha általánosságban beszélünk a mikroszkópról, akkor mindig az ú. n. biológiai típusu mikroszkópra szoktunk gondolni, mert ez a mikroszkópok legelterjedtebb fajtája. Ezért a következőkben ennek a leírását fogjuk adni és a különleges szerkezeteket a megfelelő helyen ismertetjük. (25. rajz.)

A) A mikroszkóp mechanikai szerkezete.

A mechanikai részek a mikroszkóp optikájának tartására és mozgatására szolgálnak.

A mikroszkóp mechanikai váza az állvány (*stativum, stativ, Stand, monture*), amely rendszeren a lábból vagy talpból (Fuss, foot, base) és az ebből kiemelkedő oszlopból áll.



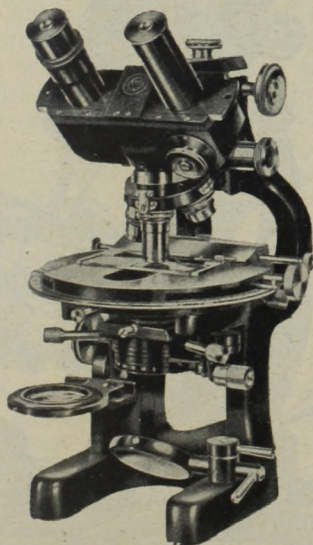
25. rajz. A mikroszkóp részei. Steindorf nyomán.

A szemlencse, *B* milliméterbeosztás, *C* tubus, *D* durvacsa, *E* mikrometerszár, *F* csukló, *G* oszlop, *H* kondenzortemelőcsavar, *I* talp, *J* mechanikai tubushosszúság, *K* revolverfoglat, *L* tárgylencse, *M* szorító, *N* tárgyasztal, *O* kondenzor, *P* írisz-diafragma, *Q* tükör, *R* fogantyú.

1. A láb patkós vagy háromláb alakú, súlyos öntöttvas rész, amely a rajta nyugvó mikroszkópot stabilisan alátámasztja. A kontinentális gyárak újabban kizárólag csak patkótalpú mikroszkóplábakat építenek, az angolok egyes típusaiknál még ragaszkodnak a mi fogalmaink szerint kevésbé esztétikus, de a stabilitás szempontjából kétségtelenül előnyösebb háromlábhoz. A patkóalakú talp sem nyugszik egész felületével az asztalon, hanem csak három ponton érintkezik azzal. Ennek köszönhető, hogy a mikroszkóp, még egyenetlen felszínű alapon is szilárdan áll. Az újabb nagy statívumok patkóalakú talpán még két oldalsó támasztófelszín is találunk alul. Ha a mikroszkóp síma asztalon áll, akkor ezek nem érik el az asztal lapját, ha azonban az állványt oldalról lökés éri és kissé megbillen, azonnal hozzáérnek és megakadályozzák, hogy a mikroszkóp felboruljon. A mikroszkóp-állványokat általában úgy szerkesztik meg, hogy a vizsgálat alkalmával a patkó két szára előre nézzen és a harmadik támasztópont forduljon a vizsgáló felé. Érdekes a Bausch & Lomb amerikai gyár egyik típusa, amelynél a statívum felépítése ebből a szempontból fordított (26. rajz, Type DDE).

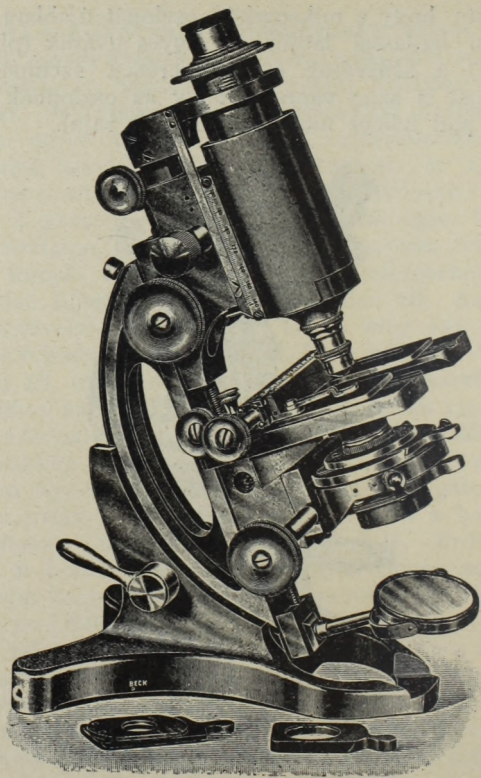
2. A talpból merőlegesen emelkedik ki az oszlop, amely a mikroszkóp csövét, a tárgyasztalt és a világító készüléket tartja. Ezeket úgy erősítik az oszlopra, hogy az optikai tengelyük közös legyen. (Ezt a központosított elrendezést az összetett fénytani műszereknél úgy szokták megoldani, hogy az egyes részeket az ú. n. „optikai padra“ állítják. Ezen a padon elmozdíthatjuk őket anélkül, hogy eközben kimozdulnának a közös optikai tengelyből. A régebbi mikroszkópokon még fel lehet ismerni ezt a rendszert, az idők folyamán azonban annyira megváltozott az oszlop alakja, hogy a mostani mikroszkópokon már alig lehet az optikai padot felismerni. A legfeltűnőbb változást

az okozta, hogy a mikroszkóp oszlopát újabban fogantyúalakú hajlással látták el. Egyes gyárak (pl. Beck, Watson) a szilárdság és egyszerűség szempontjából még most is azon vannak, hogy az oszlopnak ez az optikai pad jellege megmaradjon (27. rajz).



26. rajz. Bausch & Lomb fordított állású mikroszkópja. (D. D. E.)

A jobb mikroszkópok oszlopának felső része elhajlítható a talphoz képest, ami a mikroszkopizálást kényelmesebbé teszi és előnyös a mikroszkópos vetítésnél és fényképezésnél is. A hajlítás többnyire csuklóban történik. A csukló elhelyezésénél két szempont mértékadó. Az egyik az, hogy a hajlítás alkalmával az egész optikai padnak kell megbillenni, hogy egyönte-



27. rajz. Beck mikroszkópja.

tűn mozduljanak el az oszlopra erősített összes részek. A másik szempont az egyensúly kérdése. Az oszlop mozgó részét evégből mérleg karjához hasonlóan készítik el és a csuklót a tárgyasztal magasságába helyezik. A teljes kiegyensúlyozás azonban nem minden szerke-

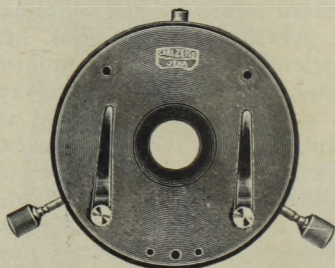
zetnél sikerül; az ilyenek lehajtott állapotban könnyen hátrabillennek. Ezért kell a talpat súlyosra készíteni. Egyes gyárak a stabilitás szempontjából ragaszkodnak még mindig a háromlábhoz. Az egyik angol gyár (Beck) a tökéletes egyensúly céljából bölcsőalakú hajlítószerszemet vezetett be, amelynél az egész optikai pad elfordul egy, az optikai tengelyben fekvő pont körül (27. rajz). Az egyszerű mikroszkópok csuklója csak 45° -nyi hajlítást tesz lehetővé, aminek csak kényelmi szempontból van jelentősége. Az ilyen mikroszkópot vetítésre, vagy fényképezésre csak álló helyzetben használhatjuk. Ezért a mikroszkópvásárlásnál célszerű olyan típust választani, melynek felső része egészen a vízszintesig hajlítható. Folyékony készítmény vizsgálata alkalomával nem hajlíthatjuk le a mikroszkópot, hanem kénytelenek vagyunk a függőlegesen álló mikroszkóp fölé hajolni, ami hosszadalmas vizsgálatnál nagyon fárasztó. Újabban ezen is segítettek: az optikai tengelyt törik meg prizmás szemlencsével.

3. A t á r g y a s z t a l (*Objektisch, stage, platine*) az oszlopra merőleges és a vizsgálandó készítmény elhelyezésére szolgál. A preparátum megerősítésére két szorító van rajta. Közepén kerek nyílás van az alulról jövő átvilágító sugarak számára. A tárgyat az asztal nyílása felett kell elhelyezni.

A tárgyasztalt többnyire sárgarézből készítik és felső felszínét feketére lakkozzák. Bizonyos vegyszerek azonban a lakkot és a sárgarézet megtámadják. Ezért a finomabb kivitelű mikroszkópok asztalára saválló keménygumi fedőlapot erősítenek.

Szabad kézzel még a legnagyobb óvatosság mellett is csak olyan finoman tudjuk mozgatni a tárgyat, ami éppen csak kis nagyításnál felel meg. Nagyobb nagyításnál azonban már a legkisebb zökkenés is elég ahhoz, hogy a vizsgálandó részlet kicsússzék a látótérből, ami lehetetlenné teszi a készítmény rendszeres átvizsgálá-

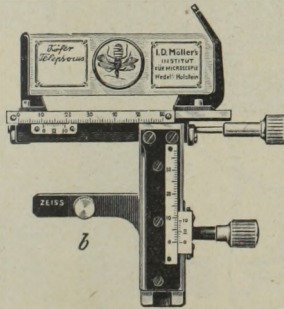
sát. Ezért a pontosabb vizsgálatokhoz olyan berendezéseket szerkesztettek, amelyek a tárgyasztalra helyezve a készítmény mechanikus úton való finom és zökkenésmentes mozgására alkalmasak (mozgatható, mechanikai tárgyasztalok). Legegyszerűbb a központosítható és forgatható tárgyasztal (28. rajz). Ez egy alsó,



28. rajz Forgatható és központosítható tárgyasztal.
Zeiss nyomán.

fix tárgyasztalvázra szerelt második tárgyasztalból áll, amely az első felett körben forgatható és két állítócsavar segítségével oldalt is elmozdítható. Ez a berendezés rendkívül kényelmes és hasznos a mindennapi gyakorlatban, mert lehetővé teszi a készítmény egyenletes és finom mozgását a tárgyasztal síkjának minden irányában (kb. 10 mm-nyire). Ha azonban a készítményt egészen rendszeresen akarjuk átvizsgálni, akkor olyan berendezésre van szükség, amely lehetővé teszi azt, hogy egymásután áttekinthessük a készítmény minden egyes látóterét, de viszont kétszer se nézzünk meg semmit. Ez csak úgy lehetséges, ha a preparátumot derékszögű koordináta-rendszerben mozgatjuk tova. Erre szolgálnak az ú. n. keresztasztalok (Objektführer, Kreutztisch, mechanical stage, platine a chariot). Két, egymásra merőlegesen csúszó szánka-

szerkezetből állanak ezek. A két szorító közé befogott készítményt mindkét irányban egyenletesen mozgathatjuk egy-egy finom csavarral. A legújabb szerkezeteken ezt a két csavart közös tengelyre szerelik, hogy vizsgálat közben ne kelljen ide-oda nyulni (29. és 30. rajz). Mindkét száнка mentén nóniuszbeosztás van. Ha fontos helyet fedeztünk fel a készítményben és ezt meg akarjuk jegyezni, akkor följegyezzük a két száncia nóniuszállását ebben a helyzetben. A kérdéses helyzet

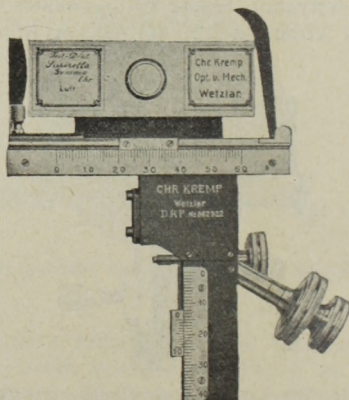


29. rajz. Tárgyasztalra szerelhető keresztasztal.
Zeiss nyomán.

bármikor azonnal megtaláljuk, ha a száncákat ismét a följegyzett helyzetbe hozzuk. Ezen előny mellett a keresztasztal nagobbmértékű elmozdítást tesz lehetővé, mint a közönséges forgatható tárgyasztal. Ezen előnyökkel szemben nem lényegesen drágább. A mindennapi vizsgálatokhoz azonban nehezkesebb kezelése miatt mégsem használjuk. A keresztasztallal úgy dolgozunk, hogy az egyik szán egyenletes tovamozgatása közben végignézzünk egy látótérnyi csíkot s ha a végére értünk, a másik csavar segítségével eltoljuk a preparátumot egy látótérnyi szélességgel. Most visszafelé haladva egy újabb, az előbbivel párhuzamos csíkot vizs-

gálunk végig és ilyen meandervonalban haladva, pontosan átvizsgáljuk az egész készítményt.

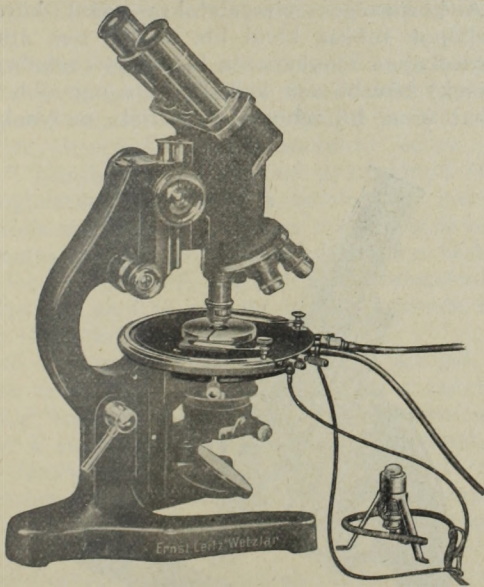
A koordináta-asztalok igen sokféle kivitelben készülnek. Az egészen nagy statívumokba már a gyárban beépítik a keresztasztalt. Készülnek azonban olyanok is, amelyeket szorítócsavarokkal utólagosan fel lehet szerelni bármely mikroszkóp tárgyasztalára. E kettő között



30. rajz. Keresztasztal, melynek két mozgócsavarja közös tengelyen van. Kremp nyomán.

áll az a típus, melyet csak az illető gyár állványára lehet felerősíteni, mert csak ezen vannak meg a szükséges foglalatok. Nagy különbségek vannak a készítmény elmozdíthatóságának mértékében is. Utólagos beszerzésnél a statívumunkra szerelhető keresztasztalok közül azt válasszuk ki, amely a készítménynek minden irányban (de különösen haránt) a lehető legnagyobb mértékű elmozdítását engedi meg.

Élő szervezetek vizsgálatához, mikroszkóp alatt végzett vegyi kísérletekhez fűthető és hűthető tárgyasztalt hoznak forgalomba (31. rajz). A fű-

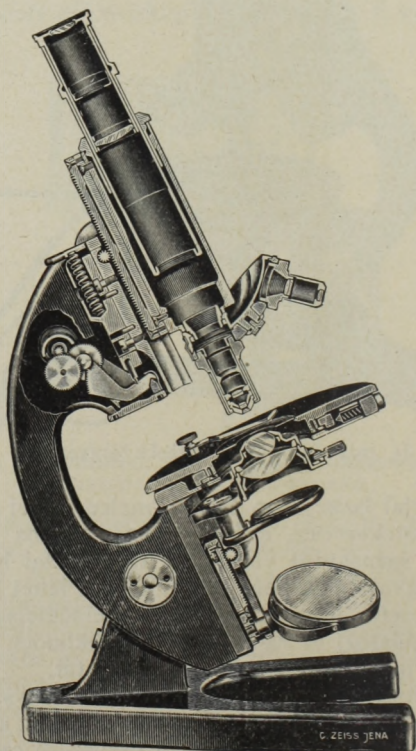


31. rajz. Fűthető és hűthető tárgyasztal.
Zeiss nyomán.

tést az asztal belsejében áramló meleg vízzel vagy villamos fűtőtekerccsel, a hűtést az asztalba eresztett folyékony szénsavval végzik. A tárgyasztal hőmérsékletét a tárgyasztalba beépített hőmérőn lehet leolvasni. A tökéletesebb szerkezetekben hőmérsékletszabályozó (thermoregulator) is van, amely önműködően a kívánt fokon tartja a tárgyasztal hőmérsékletét.

4. Igén fontos része a mikroszkópnak a cső (tubus, Rohr, Tubus, tube)) (32. rajz), mert ez tartja a nagyító-lencsét. Sárgarézcső ez, mely a daruszerű csőtartókar által függ össze az oszloppal. A cső alsó végére erősítjük a tárgylencsét, felső végére pedig a szemlencse

kerül. A közönséges vizsgálatokra szánt középnagy mikroszkópok tubusa kívül kb. 32—34 mm átmérőjű. A mikroszkópos fényképezés bizonyos eseteiben (plánár-lencsék) bővebb cső kell. Ezért a nagyobb mikroszkópokat ú. n. bő tubussal szállítják, melynek külső



32. rajz. A mikroszkóp hosszmetzete.
Zeiss nyomán.

átmérője 45—52 mm (angol méret, 2 angol hüvelyk = 51 mm).

A cső alsó végében csavarmentet van a tárgylencse számára. Ez a menet újabban már minden gyártmány-nál egyenlő nemzetközi méretű (angol menet, universal R. M. S. objective thread, standard screw, society screw).²³ Minthogy a különböző gyártmányú tárgylencsék foglalatain is ugyanez a nemzetközi menet van, mindenféle mikroszkóp tubusába minden gyár objektív-jét becsavarhatjuk. Az okulárt egyszerűen bedugjuk a tubus felső végébe. A legtöbb gyár tubusának belső átmérője ott, ahol az okulárt felveszi, szintén nemzet-közileg elfogadott méretű.²⁴

A cső nemcsak a lencsék tartására szolgál. Fontos hivatása az is, hogy visszatartsa azokat a zavaró fény-sugarakat, amelyek kívülről kerülhetnének a lencsék közé. Viszont a sárgarézcső belső falán is keletkezhetnének zavaró fényvisszaverődések. Azonban ennek megaka-dályozására fekete homályos koromlakkal vonják be a tubus belső felszínét, amely elnyeli a rája vetődő suga-rakat.

A cső hosszát a felső végének peremétől az alsó vég széléig számítjuk. Ez az ú. n. mechanikus tubushosszúság (25. rajz, J).²⁵

²³ 1857-ben ajánlotta ezt a menetet a Royal Microscopical Society. Először az angol és amerikai cégek fogadták el, később pedig átvették a kontinentális gyárak is. A tárgylencse foglalatain lévő csavar átmérője 20·4 mm. A régebbi német és francia mikroszkópok tubusára HARTNACK híres német mikroszkópgyáros nyomán 13·2 mm átmérőjű külső csavarmentet vágtak és erre kellett rácsavarni az objektívet.

²⁴ Universal small or Student's size: 0·9173 hüv. 23·3 mm. Egyes angol mikroszkópok tubusa bővebb (1·27 hüv. 32·26 mm), ezekhez vastagabb okulárokat kell használni.

²⁵ Ezzel szemben az optikai tubushosszúság (Δ) az objektív felső gyújtópontjának az okulár alsó gyújtópontjától való távolsága. Ezt az értéket ABBE vezette be a mikroszkóp mate-matikájába (55. rajz és 106. o.).

A jobb mikroszkópok csöve két egymásba tölhető részből áll, hogy meg lehessen változtatni a tubushosszúságát, azaz a szemlencsének a tárgylencsétől való távolságát. A mindenkori tubushossz a felső ki- és betölhető csőrész milliméterbeosztásán olvasható le. A csőhosszúság változtatására több okból lehet szükség. Így pl. hasznát látjuk akkor, ha különböző gyárak lencséit akarjuk mikroszkópunkhoz használni. Az egyes optikai gyárak t. i. különböző csőhosszúságokhoz készítenek lencserendszereiket, melyek használatához előírják ezt a csőhosszúságot.²⁶ Minthogy a lencsék hibáit úgy javították, hogy csak emellett a tubushossz mellett adnak jó képet, ezt az előírást ajánlatos betartani. Ezért kell megváltoztatni a tubus hosszát akkor is, ha a tárgy, vagy szemlencsét nem illesztjük közvetlenül a cső végére, hanem valami segédberendezést iktatunk közbe, amely meghosszabbítja a lencsék egymástól való távolságát. Leggyakoribb eset az, hogy több tárgy-lencse tartására és kényelmes cserélésére szolgáló ú. n. revolverfoglatot erősítünk a tubus végére s ebbe csavarjuk az objektíveket. Ilyenkor a cső felső részét annyival kell betölteni, amilyen vastag a revolver, hogy az egész cső a revolverrel együtt az előírt hosszúságú legyen. A Reichert- és Zeiss-gyár újabb revolverei 15 mm vastagok, a Zeiss-féle u. n. szánska váltófoglat (34. rajz). 15 v. 22 mm vastag (az utóbbi kétféle

²⁶ A mikroszkópgyárak általában 160 vagy 170 mm csőhosszúságra korrigálják lencséiket. Az angolok sokáig ragaszkodtak a 10 angol hüvelykes (250 mm) tubushosszúsághoz, az amerikaiak pedig 216 mm-es tubussal dolgoztak. Különleges esetekben szerkezetségi okokból néha eltérnek a rendes csőhosszúságtól. Így pl. a Reichert-féle fémmikroszkóp tubusa 250 mm hosszú és ehhez képest különleges lencséket kell hozzá használni. — 160 mm-es tubust ír elő Bausch & Lomb, Beck, Koristka, Reichert, Spencer, Watson, Winkel, Zeiss. — 170 mm-es tubushosszúságot kíván Busch, Himmler, Leitz (Messter), Seibert, Steindorf (Voigtländer).

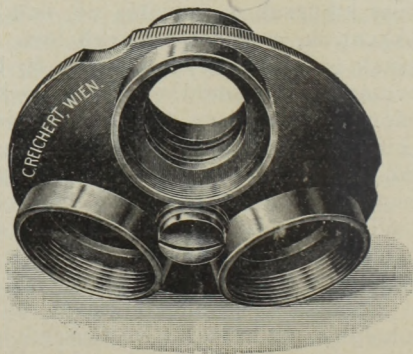
nagyságban készül). Az újabb mikroszkópok felső tubusrészének milliméter-beosztása már a revolver hozzászámításával mért csőhosszúságot jelzi (Bausch & Lomb, Leitz, Reichert, Steindorf, Zeiss stb.). Ezt azért vezették be, mert ma már úgysem dolgozik senki objektívcserélő szerkezet nélkül. A Bausch & Lomb és a Zeiss-művek egyes újabb mikroszkópjaiknál már el is hagyták a kihúzható tubust s csak külön ráfizetés mellett szállítanak ilyet.

Ha a tubust kihúzzuk, a nagyítás nő, míg ha a cső hosszát csökkentjük, a nagyítás kisebb lesz. A nagyítás fokozásának ez a módja azonban a kép tökéletességének rovására megy, minthogy a lencsék csak a gyár által előírt csőhosszúság pontos betartása esetén működnek kifogástalanul. Bizonyos esetekben azonban mégis élnünk kell ezzel a lehetőséggel. Így pl. akkor, ha olyan nagyításra van szükségünk, amelyet a rendelkezésre álló lencsék kombinációjával szabályos tubushossz mellett nem tudunk előállítani (pl. az okulármikrométer beállításánál, l. 146. old.).

Végül a csőhossz megváltoztatásával módunkban van kiküszöbölni a szabálytalan vastagságú fedőlemez használatából eredő hibát is (l. 94. old.). Ha a fedőlemez vékonyabb, mint amilyent a lencséhez a gyár előír, akkor ki kell húzni a tubust, vastagabb fedőlemez esetén pedig meg kell rövidíteni. A javításra vonatkozólag számszerű adatot nem közölhetünk, hanem a tubus hosszúságát addig kell változtatni, míg a legjobb képet kapjuk.

5. Említettük, hogy a cső alsó végébe kell csavarni a tárgylencsét. Mivel a vizsgálatnál egymásután több különböző erős nagyítású objektívvel szoktunk dolgozni, nagyon sok időt kellene elvesztegetnünk, ha ezeket mindig ki-be csavargatással akarnánk cserélni. Az objektívcseré gyorsítására különböző tárgylencseváltókészüléket (nosepiece) szerkesztet-

tek. Leghasználatosabb a revolver-foglatat. Ezt a cső tárgylencsefoglatába kell csavarni s azután 2, 3, vagy 4 objektívet csavarhatunk bele. A gyakorlatban leginkább a 3-as revolver válik be (33. rajz). Nem olyan kényelmes, de a tárgylencse pontosabb központosítását teszi lehetővé a Zeiss-féle szánkaváltókészülék (34. rajz). Ennek az a nagy hátránya, hogy minden tárgylencséhez egy külön objektívreszt



33. rajz. Revolver három tárgylencse számára.
Reichert nyomán.

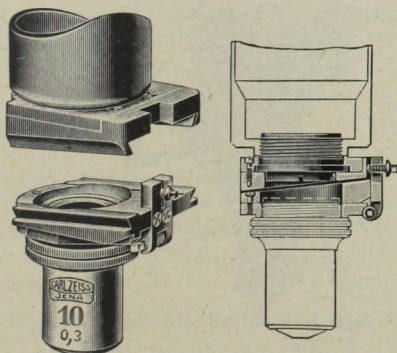
kell venni s azt pontos központosítás után rajta is kell hagyni az illető tárgylencsén. Ez a kényelmetlenség az általános használatban nem ért fel a hajszálpontos centrálás nyújtotta előnnyel, ezért a közönséges használatban inkább a revolvert kedveljük. A szánkaváltókészülék igazi területe a mikrofotográfia, ahol igen pontos központosításra van szükség.

Szintén jó központosítást és gyors cserét tesz lehetővé a csíptető-foglatat (Zangenwechsler), melyet WINKEL használt legelőször s egyes gyárak (Leitz, Reichert) most újra forgalomba hoznak. Különösen a

polarizációs és felsőmegvilágítású mikroszkópoknál használják (35. kép).

Ismételten idézzük emlékezetünkbe, hogy váltókészülék használata esetén megfelelő mértékben kell utánaigazítani a cső hosszúságát!

A mikroszkópos kép éles beállításához a lencsét a csővel együtt mozgatjuk és pedig addig közelítjük vagy távolítjuk a tárgyhoz képest az optikai tengely

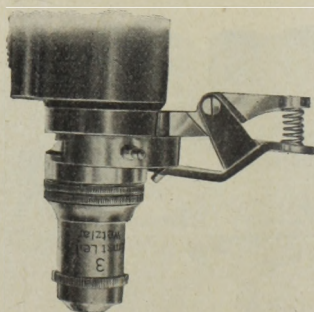


34. rajz. Szánkaváltó. Zeiss nyomán.

ben, amíg éles képet kapunk. Ezt a mozgatást az egészen egyszerű mikroszkópnál, ahol a cső a karon lévő hüvelybe van dugva, egyszerűen kézzel való ide-odatolással végezzük. Ha közben óvatosan csavarjuk is a csövet a hüvelyében, akkor meglehetősen finoman tudjuk beállítani. Nagyobb nagyításoknál azonban, ahol igen finom elmozdításokra van szükség, ez a rendszer már nem felel meg. A modern mikroszkópok tubusát csavarszerkezettel lehet mozgatni. A durvább elmozdításra a durvacsavar, az egészen finom beállításra pedig a finom (mikrométer) csavar szolgál.

Egyik-másik kis zsebmikroszkópot a tubusban lévő recézett gyűrű forgatásával lehet finoman beállítani.

6. A **durva csavar** (Grobbeuwegung, grobe Einstellung durch Zahn u. Trieb, coarse adjustment by rock and pinion, mouvement rapide) fogaskerékből áll, mely forgása közben a tubus hátsó oldalára erősített fogasrúdha kapaszkodik és ennél fogva emeli vagy süllyeszti azt. A fogaskereket a kar oldalán kiálló recé-



35. rajz. Központosítható objektív csiptető.

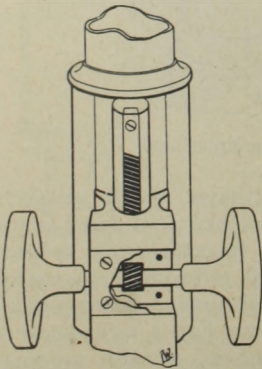
zettperemű tárcsákkal forgatjuk. A forgás ferde, hogy a cső ne süllyedjen le magától a súlyánál fogva (36. rajz). Az egyik angol gyár durva beállító szerkezetében nincs fogazás, hanem síma kerék dörzsölődik síma rúdhoz (Watson-féle „Myral“ mikroszkóp).

7. A **finom csavar** (mikrométer, Feinbewegung, fine adjustment, mouvement lent micrométrique) a cső igen finom emelésére vagy süllyesztésére való. Erre a nagy nagyításoknál való finom beállításhoz, valamint a készítmény különböző rétegeinek átvizsgálásakor van szükség. Ilyenkor a cső ezredmilliméternyi elmozdulásai kívánatosak.

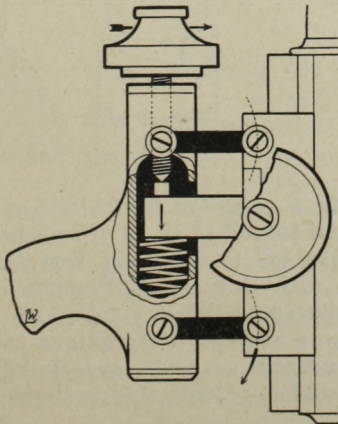
A technikai kivitel szerint egyszerű és összetett mikrométerszerkezetet különböztetünk meg. Az egy-

szerű, vagy direkt mikrométernél a tubust a hozzáerősített karnál fogva közvetlenül tölja lefelé egy finomenetű csavar. Ennek az óramutató járásával egyező irányban való forgatásakor a cső süllyed. Ha a csavart az óramutató járásával ellentétes irányban, azaz kifelé csavarjuk, akkor a csövet egy rugó felfelé tölja. Az összetett mikrométer finom csavarja áttétel (csavar, emelőkar, excenter stb.) közvetítésével mozgatja a csövet.

Az egyszerű mikrométer legprimitívebb kivitele a Roberval-féle paralellogramm-vezetésű mikrométer. Szerkezete a 37. rajzon látható. A csapok körül forgó karok arra valók, hogy a tubust az optikai tengellyel párhuzamos helyzetben tartsák a mikrométercsavar működése közben. Ennek a berendezésnek az a hátránya, hogy működése közben lelapul a paralellogramm, aminek következtében a cső párhuzamosan marad ugyan az optikai tengellyel, de oldalt elmozdul

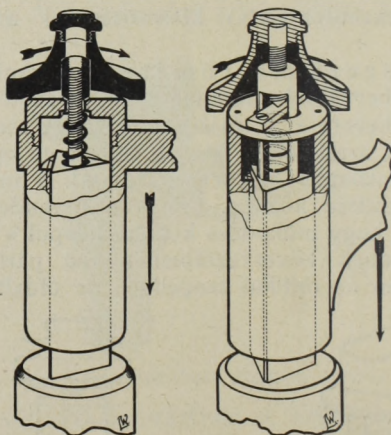


36. rajz. A durvacsavar szerkezete.



37. rajz. Roberval-féle mikrométer paralellogramm s vezetéssel.

egy kissé, ami egészen nagy nagyításoknál már zavar. A tubusnak pontosan az optikai tengelyben való finom mozgásait a prizmás mikrométer valósítja meg (a 38., 39. rajz).²⁷ Ez az oszlopnak a tárgyasztalfeletti, háromoldalú prizmává kiképzett részétől kapta a nevét. A kar haromszög alakú furattal ellátott része pontosan rá-

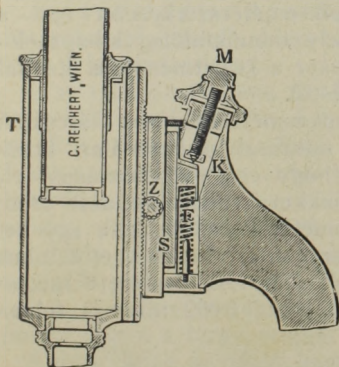


38. és 39. rajz. Prizmás mikrométerek.

illik a prizmára és felfelécsúszhat rajta, oldalt azonban nem fordulhat el. A prizma belsejében lévő rugó állandóan felfelé nyomja a kart és a hozzáerősített csövet. A rúgóval szemben finommenetű mikrométercsavarral süllyesztjük lefelé a tubust. A mikrométer kicsavarásakor a rúgó ismét feltolja a csövet. Ezt a mikrométerrendszert az egyes gyárak különböző apróbb módosításokkal régebbi típusú állványaikon alkalmazták.

²⁷ Ilyen volt az első mikrométer is, amelyet 1831-ben Ross készített.

A modern mikroszkóp-állványok felső része alkalmazkodik hajlásával a mikroszkóp fölé hajló kutató testének görbületéhez (u. n. müncheni típus). Ez a görbített rész egyúttal fogantyú is. (Egyik-másik gyár — pl. Busch — külön fogantyúval látja el állványait). Felső részében, a csövet tartó karban van elrejtve a mikrométer-szerkezet. Azáltal, hogy a finomcsavar a karba s így a tubushoz közelebb került, ennek tartása szilárdabbá vált. A karnak ez a része két részből áll (T, K). A mozgó rész a durvacsavar közvetítésével a csőhöz csatlakozik és a kar álló részébe vajt, fecskefark-szerűen kivágott sínben csúszik a mikrométer hatására.



40. rajz. Steinach-féle mikrométer.

Egyes ilyen típusú olcsóbb statívumokba direkt-hatású mikrométert építenek be. Ilyen pl. a Reichert-féle H (régábban C jelzésű) statívum Steinach-féle mikrométere (40. rajz). A legtöbb modern állvány mikrométere azonban áttételezett. Rengeteg ilyen mikrométer szerkezet van forgalomban, mert nemcsak minden gyár készít másfajta, hanem egyazon gyár is többfélét épít be különböző típusú állványába. Ez a sokféleség abból ered, hogy a szerkesztőnek igen sok követelményre kell tekintettel lenni. Ezek: az elmozdu-

lás finomsága és egyenletessége, az „üres járás“ kiküszöbölése, a mikrométer tehermentesítése a cső és a rászerezelt dolgok súlyától stb. Ezen érdekes kérdések technikai tárgyalásába nem bocsátkozhatunk. Annyit mindenesetre sejthetünk, hogy tág teret nyújtanak a szerkesztői találékonyágnak és érthetővé teszik azt is, hogy az optika mellett miért éppen a mikrométer a mikroszkóp legdrágább és legérzékenyebb része. Ezért a mikrométerre nagyon kell vigyázni és az összetett mikrométereket nem szabad házilag szétszedni. Ha akadozik, ne erőltessük, hanem küldjük javítás végett egyenesen a gyárba.

Néhány gyár olyan mikrométerszerkezetet épít a finomabb állványába, amely önműködőleg kikapcsolódik, ha a tárgylencse hozzáér a készítményhez. Ezáltal megkiméli ezeket a sérüléstől.

A finomabb kivitelű mikrométercsavarok tárcsáján fokbeosztást találunk. A mikroszkóp használati utasításában a gyár megadja, hogy egy fokbeosztásnyi elcsavarás a mikrométer mekkora tubuseltolódást eredményez. A prizmás mikrométerek csavarjának egy beosztásnyi elfordítása a finomabb szerkezeteknél a tubus 0.01 mm-nyi elmozdulásával jár. Az összetett mikrométerek egy beosztása általában 0.002 mm-nyi tubuseltolódásnak felel meg.

B) A mikroszkóp optikai berendezése.

A mikroszkóp optikája az összetett nagyítórendszerből és a világítókészülekből áll. A világítókészülék ugyancsak mellékberendezése a mikroszkópnak, de mégis összeépítik vele. Tulajdonképpen nem is az egész világítóberendezést szokták a mikroszkópra szerelni, hanem csak azt a részt, amely a fényt közvetlenül a készítményre veti. Újabban azonban egyes esetekben már a lámpást is összekapcsolják a mikroszkóppal. Na-

gyon sokféle világítókészülék van, mert a világítási irány és a fény minősége szempontjából sokféleképen lehet a tárgyat megvilágítani. A mikroszkópi kutatás legelterjedtebb ágában, a biológiai vizsgálatokban többnyire közönséges fényvel való áteső megvilágítással szoktunk dolgozni, ezért elsősorban ennek a berendezését ismertetjük s hogy a mikroszkóp leírásának áttekinthetőségét ne zavarjuk, a többi megvilágítási eljárást külön fejezetekben fogjuk tárgyalni (l. 162. old.).

a) Átvilágítókészülék.

Az átvilágítókészülék részei: a tükör és a fényrekesztő, amelyekhez nagyobb mikroszkópoknál még a kondenzor járul.

1. A tükör feladata az, hogy a mikroszkóp optikai tengelyén kívül álló fényforrás sugarait az optikai tengelyhez térítse és az ebben elhelyezett tárgyra vesse. Ecélből a tükröt úgy erősítik meg, hogy a tér minden irányában el lehessen mozdítani (Cardan-rendszer). A rendes, nagy mikroszkópok tükre 50 mm átmérőjű és kétoldalú szokott lenni: egyik oldala parabolikusan vájtt, a másik pedig síkfelületű. A tükröt olyan mélyen helyezik el a tárgyasztal alatt, hogy a vájtfelszín gyújtópontja éppen a tárgyasztalon fekvő készítményre essék.

Ahhoz, hogy a tükör használatának alapelveit megállapíthassuk, szemügyre kell vennünk az itt szóba jövő három tényező, a tükör, a fényforrás és a tárgy viszonyait. Ami a tükröt illeti, ismeretes, hogy a síktükör a párhuzamos sugarakat újra párhuzamos nyaláb alakjában téríti el, a homorú tükör pedig összehajlóvá teszi. Az utóbbi tehát alkalmas arra, hogy a fényt a tárgyra összpontosítsuk vele. A fényforrás szempontjából főbenjáró kérdés, vajjon párhuzamos avagy divergens sugarakat bocsát-e ki? A nap és a fehér felhők fénye párhuzamos sugarakból áll. A mesterséges fényforrás

sok többnyire széttérő sugarakat bocsátanak ki. Ezeket kollektor-lencsével tehetjük párhuzamossá, ha azonban nincs szükség nagyon erős fényre, akkor elég, ha homályos üveget teszünk a fényforrás elé, amely diffúzzá teszi a fényt. Egyébként homályos üveget még kollektorlencse esetén is célszerű használni, mert különben a fényforrás képe zavaróan jelentkezik a mikroszkópban. Végül a tárgyra vonatkozóan azt kell megjegyeznünk, hogy a megfigyelt terület, a látómező annál kisebb, minél nagyobb a nagyítás. A látómező egyenletes megvilágítása érdekében a rendelkezésre álló fény mennyiségét a nagyítás növekedésével mind kisebb felületre kell összpontosítani. Ezek alapján adott esetben a következőképen járunk el a világítás beállításánál.

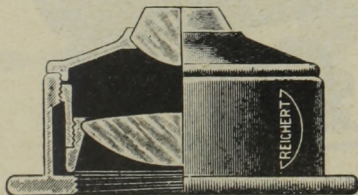
Kis nagyításnál, midőn nagy felület megvilágítására van szükség, széttérő, párhuzamos vagy csak gyengén konvergens sugarakat kell a tárgyra vetítenünk. Ezt a síktükörrel érjük el. Nagyobb nagyításoknál, midőn kisebb felületet kell erősen megvilágítani, a homorú tükört használjuk. Ha a tükört nem magában, hanem a kondenzorral (l. alább) együtt használjuk, akkor párhuzamos sugarú fényforrást (napfény, fehér felhő, lámpásnál kollektor vagy homályos üveg) keresünk és a síktükört választjuk, mert a kondenzor párhuzamos sugarakat kíván az optimális működéséhez.

2. A fényhatároló vagy fényrekesztő (*diaphragma*) hivatása az, hogy a tükör felől érkező sugárnyaláb felesleges széli részeit visszatartsa és csak annyi fényt bocsásson a tárgyra, amennyi az észlelt felület kellő megvilágításához éppen elegendő. A fényrekesztő kivitelében három típus van: a betoló (cserélhető), a revolver és az *irisz-diaphragma*, amelyek közül az utolsó a legtokéletesebb. Ez vékony sarlóalakú acéllemezekből áll (J. H. BROWN, 1867). A lemezek szellemes mechanikai berendezéssel mind egyszerre



úgy mozgathatók el, hogy a koszorú által határolt kerek nyílás (a pupilla) koncentrikusan szűkül illetve tágul. Az iriszdiafragmát egy oldalt kiálló gombocskával lehet beállítani.

3. Erős nagyításnál igen nagy fénymennyiséget kell kis látómezőre összpontosítani, amit úgy érünk el, hogy a tükör és a tárgy közé gyűjtőlencsrendszerrel iktatunk. Ez a **k o n d e n z o r**.²⁸ A kondenzor több, közös foglatba erősített gyűjtőlencséből áll. Nagy nyílásszöge, nagy fényereje és ehhez képest egyszerű és olcsó előállítására miatt legjobban az **A b b e f é l e k o n d e n z o r** terjedt el. (ZEISS, 1872.) (41. rajz.)



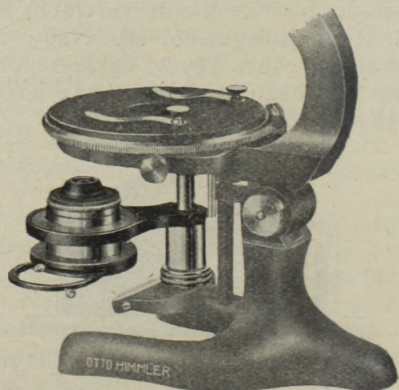
41. rajz. Kétlencsés Abbe-féle kondenzor (num. ap. = 1'20).

A kondenzort úgy erősítik meg a tárgyasztal nyílása alatt, hogy emelni és süllyeszteni lehessen az optikai tengelyben. A legegyszerűbb megoldásnál ezt a tartóhüvelyben való fel-leletőlással kell végezni. A gyakorlatban leginkább használatos közép nagyságú laboratóriumi mikroszkópok világítókészülékének csavaros mozgatószerkezete van. Ez az ú. n. hatszoros csavar úgy működik, hogy teljes felcsavarás mellett a kondenzor front-

²⁸ A megvilágítást a fényforrás erősítésével is fokozhatnánk és hogy mégis kondenzort használunk ilyenkor, annak a rendelkezésre álló fény gazdaságos kihasználásán kívül más, elméleti okai is vannak. Egyszerűbb kondenzorokat már régen alkalmaztak (l. BONNANI mikroszkópját a 216. o.-on); a múlt század második felében nagyon elterjedt, különösen az angol mikroszkópokon.



lencséje a tárgyasztal felszínének síkjába kerül, a lecsavarás végén pedig az egész kondenzor automatikusan kicsapódik oldalt az optikai tengelyből (42. rajz). A nagyobb mikroszkópok kondenzora fogaskerékre jár (43. és 44. rajz). A kondenzort úgy szerkesztik meg, hogy az alulról beléeeső párhuzamos sugarakat frontlencséjének síkfelszíne fölött 1,5—2 mm-nyire egyesítse.

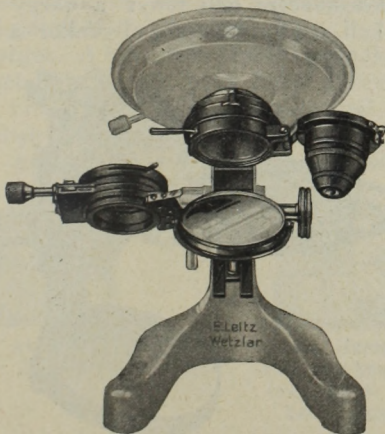


42. rajz. Oldalt fordítható kondenzor. Himler nyomán.

Gyújtópontja tehát teljes felcsavarás és kellő vastagságú tárgylemez használata esetén éppen a tárgyra esik. Ha a kondenzort süllyesztjük, akkor a tárgy a szettérő sugarak kúpjába kerül, a megvilágított felület növekszik (de a megvilágítás ereje csökken). Így kisebb nagyítással is dolgozhatunk anélkül, hogy a kondenzort el kellene távolítani.

Egészen kis nagyításoknál azonban, midőn igen nagy látómezőt kell megvilágítani, ki kell iktatnunk a kondenzort az optikai tengelyből s ilyenkor a készítményt csak a tükörrel világítjuk meg. Evégből egyszerűbb mikroszkópoknál kihúzzuk a foglalatból, a nagyobbaknál pedig addig forgatjuk lefelé az említett hatszoros

csavart, míg a kondenzor oldalt kifordul az optikai tengelyből. Ennek a szerkezetnek azonban megvan az a hibája, hogy ilyenkor a kondenzorral együtt eltávolítjuk a foglalatába épített iriszdiafragmát is. Ezért a nagyobb világítókészülékeket (pl. az Abbe-félet.²⁹ 43., 44. rajz) úgy szerkesztik meg, hogy a fényrekesztő a helyén maradjon, amikor a kondenzort kivesszük.



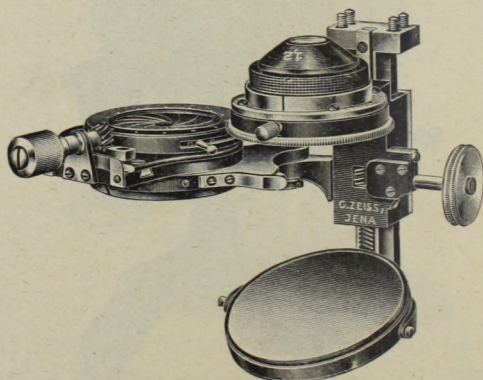
43. rajz. Abbe-féle nagy világítókészülék.
Zeiss nyomán.

Kis nagyítással való szubjektív mikroszkópozásnál elegendő szokott lenni a tükörrel való megvilágítás, de a vetítésnél és a fényképezésnél kis nagyítás esetén is olyan erős megvilágításra van szükség, amelyet a tükör

²⁹ Az Abbe-féle nagy világítókészülék kondenzoralatti iriszdiafragmája fogaskerékkel oldalt eltolható az optikai tengelyből, az ú. n. ferde megvilágításhoz. Ezt a berendezést ma már alig használjuk, mert az ilyen módon elérhető megvilágítási hatást újabban sokkal tökéletesebb eszközzel, a sötétlátóterű kondenzorral szoktuk létrehozni (l. 171. o.).

egymagában nem tud szolgáltatni. Minthogy ilyenkor nagy látóteret kell megvilágítani, kicsavarjuk a kondenzor frontlencsáját és csak a nagyobb hátsó lencsét használjuk. Nagy tárgyfelületek erős megvilágítására különleges ú. n. szemüvegekondenzorokat (*Brillenglaskondenzor*) hoznak forgalomba.

Mondottuk, hogy igen nagy nagyításnál lehetőleg minden rendelkezésre álló fényt a tárgy egészen kis területére kell összpontosítani. Ilyenkor a kondenzort

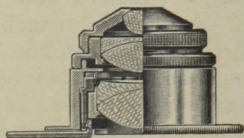


44. rajz. Abbe-féle világítókészülék. Az irisdiaphragmát oldalt ki lehet billenteni az optikai tengelyből, miáltal a kondenzor hüvelyéből behúzható.

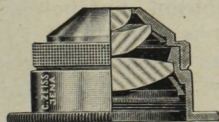
egészen felcsavarjuk és pontosan olyan vastag tárgylemezt használunk, amilyent a gyár a kondenzorhoz előír (többnyire 1,2 mm), hogy a kondenzor gyújtópontja éppen a tárgylemez felszínén fekvő tárgyra kerüljön. Ha a kondenzor és a tárgylemez között levegőréteg van, akkor a kondenzor a szélső sugarakat nem tudja a frontlencséjéhez nagyon közel fekvő gyújtópontba összpontosítani, mert ezek nagyon ferdén érkeznek a frontlencse felső felszínéhez. Koronaüvegből

pedig 41° -nál ferdebb sugarak nem tudnak a levegőbe kilépni, hanem a határfelületen teljes visszaverődést szenvednek. Ez azután nemcsak a fényerősség szempontjából jelent veszteséget (ezt a fényforrás erősítésével kompenzálhatnánk), hanem főként azért káros, mert csökkenti egyben a tárgylencse feloldóképességét. Itt csak úgy segíthetünk, ha a frontlencse és a tárgylemez alsó felszíne közé az üveggel azonos törésmutatójú immerziósolajat (133. o.) teszünk.

A közönséges A b b e-féle kondenzornak nagyfokú gömbi- és színihibája van. Ezek közül főként a színieltérés káros. Finom szerkezetek vizsgálatánál és a mikro-fotografálásban különleges akromatikus kondenzort kell használni (45. kép). A sötétlátóterű



45. rajz. Akromatikus kondenzor. Zeiss nyomán.



46. rajz. Háromlencsés Abbe-féle kondenzor (num. ap. = 1'40). Zeiss nyomán.

vizsgálathoz használatos tükörkondenzoroknak színihibája nincsen.

A kondenzor gyújtópontjában található legferdebb sugarak egymással képezett szögét a kondenzor nyílásszögének (apertura) nevezzük. Később ki-tejtendő oknál fogva a kondenzor aperturáját nem ennek a szögnek az értékével, hanem az ú. n. numerikus aperturájával (l. 92. o.) szokták megadni. A közönséges Abbe-féle kondenzorok num. aperturája 1'2. A nagy num. aperturájú apokromátobjektívekhez nagyobb nyílású (num. ap. = 1'4) kondenzort kell használni, különben ezek a nagyon tökéletes és drága tárgy-

lencsék nem tudják képességeiket a teljes mértékben kifejtteni (46. rajz).

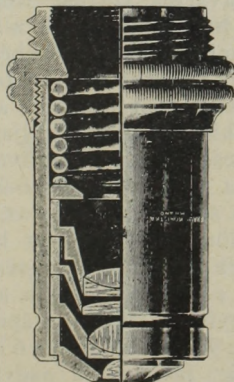
Mikrofotografálásnál nagyon fontos a mikroszkóp összes lencséinek, tehát a kondenzornak is, a leggondosabb központosítása. Erre a célra központosítható kondenzorfoglalatot hoznak forgalomba. Van ezeknek olyan fajtája is, amelybe tárgylencsét foghatunk be kondenzor gyanánt, amit akkor teszünk, ha valami nagyon finom vizsgálat miatt a lencsehibák szempontjából nagyon jól javított kondenzorra van szükség.

b) Nagyítórendszer.

A nagyítórendszer két részből áll, a tárgylencséből (objektív) és a szemlencséből (okulár), amelyek a tubuson nyernek elhelyezést. Mindegyik magábanvéve is komplikált gyűjtőlencserendszer. Kettejük közül az objektív fordul a gyújtópontján kívül elhelyezett tárgy felé s róla fordított, nagyított és valós képet alkot (14. rajz). Ezt a valós képet az okulár nagyítja tovább. Ha a cső hosszúságát úgy választjuk meg, hogy az objektív-alkotta valós kép az okulár gyújtópontján kívül essék, akkor a szemlencse erről a képről ismét fordított (tehát végeredményben egyenesállású) képet készít, melyet vetítőernyőn vagy fényképező lemezen fel lehet fogni. Ezt az elrendezést használjuk a mikroszkópos vetítésnél (mikroprojekció) és a mikroszkópos fényképezésnél (mikrofotográfia). De úgy is eljárhatunk, hogy az okulárt annyira közelítjük az objektívrajzolta képhez, hogy ez a szemlencse gyújtópontjába, vagy azon kissé belül essék. Ebben az esetben az okulár egyszerű nagyító (lupa) gyanánt viselkedik s beleértve fordított, nagyított, virtuális, tehát ernyőn fel nem fogható képet látunk. A fénysugarak ilyenkor párhuzamosan, vagy enyhén széttérően lépnek ki a mikroszkópból és szemünk teszi konvergenssé, a retinán

valós képpé egyesítve őket. A közönséges, szemmel való mikroszkópos vizsgálatnál tehát három optikai rendszer szükséges a kép keletkezéséhez: tárgylencse, szemlencse és jól látó szem.

1. A tárgylencse (objectiv, Objektív, objective, objectif) több, közös foglalatba erősített lencséből álló gyűjtőlencserendszer. Eglencsésű objektivet ma már



47. rajz. Tárgylencsék foglalata.

alig hoznak forgalomba. Az ilyen csak egész kis nagyításra alkalmas és valójában nem is áll egy lencséből, hanem a lencsehibák javítása végett több lencséből ragasztják össze. A legtöbb gyár csavarmenettel egyesíti a tárgylencse egyes tagjait. A Zeiss-gyár néhány éve a tökéletesebb központosítás érdekében úgy jár el, hogy az egyes lencsék foglalatát betölja egy csőszerű főfoglatba, ahol rugó tartja őket a helyükön (47. rajz). Ujabban Bausch & Lomb és Koristka is ezt a megoldást alkalmazza. A tárgylencse foglalatát a tubus alsó végébe csavarjuk. Minden gyár egyforma menettel

készíti el az objektívjeit úgy, hogy mikroszkópunkhoz mindenféle gyártmányu tárgylencsét használhatunk.

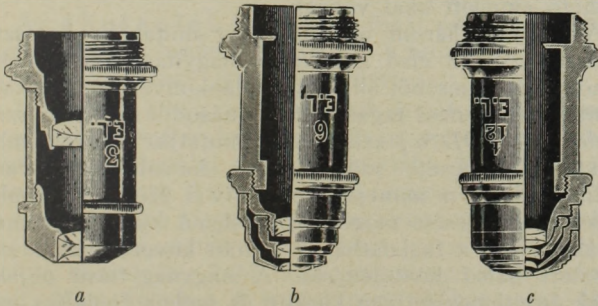
A tárgylencse egyes tagjai önmagukban tökéletlenek, a korrekció csak valamennyi tag együttműködése esetén áll fenn. Az egyes részek megfelelő méretén és szerkezetén kívül nagyon fontos az egymástól való távolságuk is. Ezért szigorú szabály az, hogy a tárgylencse egyes részeit sohase csavarjuk széjjel. Régen olyan tárgylencsék is voltak forgalomban (pl. a Merz-félék), amelyeknek egyes részei is többé-kevésbé javítottak voltak és a mikroszkóphoz szállított készlet tagjainak különféle kombinációjával lehetett változtatni a nagyítást. Ujabban inkább csak kis nagyítások céljaira hoznak forgalomba ilyen összecsavarható objektíveket (pl. Hensoldt kettős objektívje a „Tami“ elnevezésű zsebmikroszkóphoz). Az általános szokás ellenben az, hogy a különféle nagyításokhoz külön tárgylencséket készítenek.

A tárgylencsének a tárgy felé néző első lencséjét frontlencsének nevezzük. Ez a rendszer legfontosabb tagja. Nagyító és feloldó képességét főként ennek köszönheti (l. 91. o.). A hátsólencsék főhivatása a lencsehibák javítása; a nagyítás fokozásához ezek csak kis mértékben járulnak. Minél nagyobb nagyítású az objektív, annál kisebb a frontlencse görbületi sugara és így átmérője is. Ennélfogva kisebb a fényerősség is, mert a kisebb frontlencsébe kerülő sugárnyaláb a nagyítás folytán igen nagy képfelületen oszlik meg.

Minél nagyobb az objektív nagyítása, annál kisebb a látótér, mert a frontlencsét igen közel kell vinni a tárgyhoz. A tárgytávolságra vonatkozólag a következőket kell tudnunk. A beállított objektív frontlencséjének a fedőlemez³⁰ felszínétől mért távolságát s a b a d

³⁰ A tárgyat védő vékony koronaüveglemez,

tárgytávolságnak nevezzük. A szabad tárgy-
távolság annál kisebb, minél nagyobb az objektív nagyítá-
tása, mert kapcsolatban van a gyújtótávolsággal. A
gyakorlat szempontjából különösen erős tárgylencsék-
kel való dolgozásnál fontos tudni, hogy a szabad tárgy-
távolság kisebb, mint a gyújtótávolság, ami az árjegy-
zékben (és esetleg a lencsefoglalaton is) fel van tűn-
tetve. Ez azért van, mert a lencserendszer gyújtótávolsá-
gát nem a frontlencsétől, hanem a rendszer elülső
fósiójától számítják, ez pedig többnyire a tárgylencse
belsejében van. Így érthető azután, hogy pl. a Reichert-



48. rajz. a) középérső száraz tárgylencse, b) nagynagyítású száraz tárgylencse, c) immerziós lencse.

féle 7a jelzésű, 60-szoros egyéni nagyítású tárgylencsének 3,2 mm gyújtótávolsága ellenére a szabad tárgy-távolsága csak 0,4 mm.

Különböző erősségű objektívek egymásután való használata esetén igen sok időt venne igénybe, ha mind-egyiknél külön-külön kellene beállítani a tárgytávolságot. Ezért a vizsgáló kényelmére való tekintettel az egyes gyárak úgy méretezik objektívfoglalataik hosszát, hogy ha az egyiket élesen beállítottuk, akkor a

revolver segítségével helyébe fordított másik tárgy lencse már nagyjából szintén a helyes távolságba kerüljön. Objektívcsere esetén tehát csak a finomabb beállításról kell gondoskodnunk. A nagyobb nagyítású objektívek foglalata emiatt hosszabb, mint a gyengébbeké.

Kis- és középnagyítású tárgylencsék frontlencséje akromatikus lencsekombináció, melynek pozitívlencséje esik a tárgy felé. A nagynagyítású objektívek frontlencséje rendszeren egy kis koronaüveg félgömb (A m i c i), amely síkfelszínével fordul a tárgy felé. A félgömb alkalmazásának és ilyenén elrendezésének itt nem részletezhető elméleti okai vannak.

A 48. rajz három objektívtípust mutat be keresztmetszetben. Az első a közepes nagyítású tárgylencse típusa. Két lencséből áll; úgy a plánkonvex frontlencse, mint a hátsólencse ragasztott. A második rajz erős szárazlencse (l. 97. o.) szerkezetét mutatja. Kis félgömb alakú frontlencséje mögött több hátsólencséje van. A harmadik ú. n. immerziós objektív (l. 97. o.). Félgömb alakú frontlencséje mögött közvetlenül kis pozitív meniszkusz van a foglatban s azután következnek a ragasztott hátsó javítólencsék. A nagynagyítású objektívek frontlencséje igen kicsiny és széleik foglálása nagyon finom és gyenge. Minthogy a nagynagyítású lencsék szabad tárgytávolsága rendkívül kicsiny, a beállításnál nagyon kell vigyázni a frontlencsére. Elég, hogy hozzáérintsük a fedőlemezhez és máris benyomódik a foglatba, miáltal az egész rendszer hasznavehetetlenné válik. Ilyenkor az objektívet az előállító gyárba kell javítás végett beküldeni, ahol a frontlencsét újra foglalják.

A tárgylencse optikai teljesítő képessége a következő tulajdonságokból tevődik össze: nagyítás, definiálóképesség, ábrázolóképeség, penetráció, fényerősség és feloldóképesség.

A tárgylencse nagyítóképesége a rendszer gyújtótávolságának a függvénye, mint a lencséké általában. A legkisebb gyújtótávolságú mikroszkópobjektív gyújtótávolsága $f = 1.3 \text{ mm} = \frac{1}{18}$ angol hüvelyk; egyéni nagyítása kb. 180-szoros.

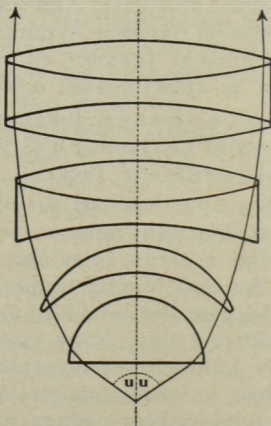
Rajzoló vagy definiáló képességen a tárgylencse azon tulajdonságát értjük, hogy milyen éles képet ad. Ez azon múlik, hogy milyen mértékben közeliíti meg a pontszerű ábrázolást. Ami viszont attól függ, hogy mennyire sikerül javítani a pontszerű ábrázolást meghíúsító lencsehibákat (gömbi és színieltérés). Ebben a tekintetben az apokromátok a legtökéletesebbek.

Az ábrázolóképeség fokát az méri, hogy a kép mennyire hasonlít mértanilag a tárgyhoz. Ez a képzortizálás hibájának javításától függ.

Penetráción általában azt értjük, hogy a mikroszkópi vizsgálat kapcsán milyen mértékben tudunk optikailag behatolni a tárgy belsejébe. Ez nagyon sok tényezőtől függ. Az első feltétel természetesen az, hogy a tárgy átlátszó legyen. Ilyenkor kitűnően tudunk penetrálni a mikrométerrel úgy, hogy egymásután beállítjuk a készítmény különböző mélységben fekvő részleteit. Most azonban a lencse penetrálóképessége érdekel. Ez azonban tulajdonképpen nincs, mert a lencse egy bizonyos beállításkor csak egy síkról készít teljesen éles képet. Szemünk azonban olyan tökéletlen, hogy még a teljes éles beállítás síkja felett és alatt egy bizonyos határon belül fekvő részletek — matematikai értelemben véve már kissé homályos — képét is élesnek látja. Ezt a mélységkülönbözetet nevezik a lencse mélységének. Ez a gyújtótávolság és a numerikus apertúra (l. 92. o.) függvénye.

Az objektív feloldóképessége annál nagyobb, minél részletdúsabb a kép, azaz egymáshoz minél közelebb fekvő részletpontokat tud különállók

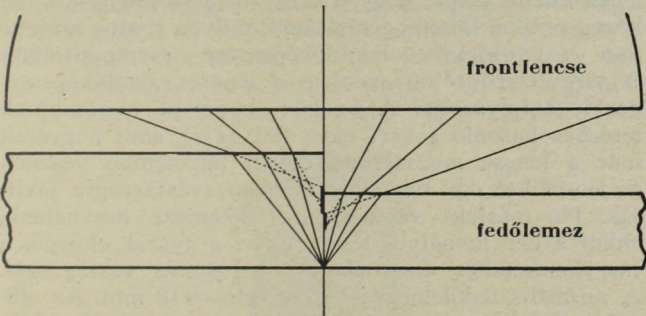
gyanánt feltüntetni. A feloldás részleteibe itt nem bocsátkozunk (l. 114. o.). Ehelyt csak annyit említünk meg, hogy a tárgylencse feloldóképessége az u . n. numerikus aperturájától függ (ABBE, 1873). Ezt az $n \cdot \sin u$. szorzat adja, amelyben n a fedőlemez és a frontlencse közti közeg törésmutatója, u pedig a lencse



49. rajz. A nyílásszög ($2u$) a legszélső négy felhasznált sugarak szöge.

nyílásszögének a fele (49. rajz). A numerikus apertura (num. ap. vagy egyszerűen $n \cdot a$.) száralencsénél, ahol levegő van a fedőlemez és frontlencse között, legfeljebb 1 lehet (l. 119. o.). Ha a fedőlemez és frontlencse közé vizet teszünk, akkor az ilyen vízimmerziós tárgylencse num. aperturája elérheti az 1.25-öt. Ha pedig a fedőlemezre az üveggel azonos törésmutatójú ($n = 1.51$),

tehát vele optikailag homogén cédrusolajat³¹ cseppentünk és a beállításnál ebbe mártjuk bele a frontlencsét, akkor 1·4-es num. aperturát érhetünk el.³² A gyakor-



50. rajz.

³¹ A cédrusolaj a *Juniperus virginiana* fájának párlata. A megtisztított olajat (*oleum ligni cedri rectificatum*) addig szárítják be, míg törésmutatója 1·515 lesz. A törésmutatót az Abbe-féle refraktométerrel lehet meghatározni. Hogy a cédrusolaj immerzióra alkalmas, ahhoz nem szükséges tudni a törésmutatóját, elég, ha megállapítjuk, hogy optikai sűrűsége azonos a frontlencse üvegével. Erre szolgál a Köhler-féle eljárás, mely szerint a cédrusolaj fénytörését a frontlencsével azonos anyagú üvegdarabkák (szállítja Zeiss) fénytörésével hasonlítjuk össze.

³² Már a régi mikrológusok gyakorlatában előfordult, hogy vizsgálat közben megpróbálták a tárgylencsét vízbe mártani. A kép ezzel természetesen nagyon romlott, mert a sugármenet egészen megváltozik, ha a lencse egyik felszíne levegő helyett vízzel érintkezik. Immerziós vizsgálatához egészen külön kell kiszámítanunk a lencsét. A kép javítása érdekében BREWSTER (1813) próbálkozott először olajimmerzióval, de ő még nem ismerte a kérdés elméleti feltételeit. Tudományos alapon először AMICI (1850) kísérletezett a vízimmerzióval. Utána mások is kezdtek az immerzió kérdésével foglalkozni és ezen a téren különösen STEPHENSON vizsgálatai voltak nagy jelentőségűek. Az ő tanácsai és buzdítása alapján számította ki ABBE (1878) az első homogénimmerziós objektívet, melyet ZEISS készített el.

latban használatos tárgylencsék között ezeknek a homógenimmerziós objektíveknek van a legnagyobb feloldóképessége.

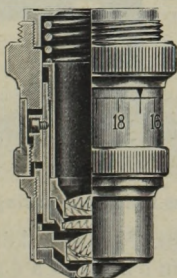
Az imént láttuk, hogy a tárgy és a frontlencse közti közeg optikai inhomogenitásának milyen fontos szerepe van az objektív feloldóképessége szempontjából. A tárgyfeletti réteg azonban a lencse rajzolóképességét is befolyásolja. A fedőlemez pl. a gömbi eltéréshez hasonló zavart okoz (50. rajz), amit a gyárak már a lencse megszerkesztésénél figyelembe vesznek és lencséiket egy bizonyos fedőlemezvastagságra javítják. Ha másféle vastagságú fedőlemezt használunk, akkor a kép homályos lesz.³³ Ezért a gyárak előírják a tárgylencséikhez használandó fedőlemez vastagságát. A normális fedőlemezvastagság 0.16—0.18 mm. Az előírttól eltérő vastagságú fedőlemez zavaró hatása különösen az erős száraz lencsénél jelentkezik feltűnően.

A preparátumok elkészítésénél figyelemmel kell lennünk arra is, hogy a metszet és a fedőlemez közé éppen csak a legszükségesebb mennyiségű kanadabalzsam kerüljön. A fedőlemezvastagság előírásánál, vagyis a lencsék kiszámításánál t. i. feltételezik, hogy a tárgy a fedőlemez alsó felszínén van, azaz a fedőlemez közvetlenül a tárgyon fekszik. Ha nem így van, hanem a tárgy fölött még vastag kanadabalzsamréteg következik, akkor ez tulajdonképpen optikailag növeli a fedőlemezvastagságot.

Ha olyan preparátumot kell megvizsgálni, amelynél a fedőlemez vastagsága nem felel meg az előírásnak, akkor természetesen már nincs módunkban ezen változtatni. Ha mégis súlyt helyezünk arra, hogy a hibát kiküszöböljük — és erre akkor van szükség, ha nagyítású szárazlencsével akarunk dolgozni —, akkor

³³ A fedőlemez hatását már AMICI (1829) észrevette, de jelentőségét csak később (1837) ismerte fel ROSS.

nem marad más hátra, mint a lencsén változtatni. Ilyen célra az erős szárazlencséket kívánatra korrekciós foglalat³⁴ szállítják (51. rajz). A foglalatban lévő gyűrű elforgatásával megváltoztathatjuk a leghátsó lencsének az előtte lévőtől való távolságát, miáltal a lencse javítása a fedőlemez vastagságához alkalmazkodik. A csövet az előírt hosszúságra állítjuk be és a gyűrűt addig forgatjuk, míg a legélesebb képet kapjuk. Ha a



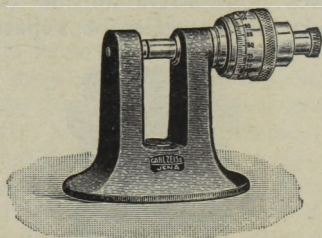
51. rajz. Korrekciós foglalat. Zeiss nyomán.

fedőlemez vastagságát ismerjük, akkor nem is kell kísérletezni, hanem a gyűrűn lévő jelzővonalat egyszerűen beállítjuk erre a fedőlemezvastagságra. Hogy a különböző fedőlemezvastagságokhoz mennyire kell a gyűrűt elfordítani, az fel van tüntetve a foglalatban.

Homogénimmerziónál a kanadabalzsamréteg és a fedőlemezvastagság optikai szempontból mellékes. Ezek túlságos vastagsága azonban mechanikai akadály lehet az igen kis szabad tárgytávolságú, erős immerz

³⁴ Az első korrekciós foglalatot a híres angol mikroszkópkészítő, Ross készítette (1837). Az ő foglalatán a frontlencse volt felcsavarható. Ezzel természetesen mindig megváltozott a beállítás, ezért WENHAM úgy alakította át a korrekciós foglalatot, hogy igazítás közben a frontlencse a helyén maradjon és a hátsó lencse mozduljon el.

ziós objektívek kellő mértékű közelítésével szemben. A mondottak értelmében és mindenféle zavar elkerülése végett legjobb, ha következetesen mindig szabályos vastagságú fedőlemezeket használunk. A kereskedelemben különböző vastagságú fedőlemezek vannak forgalomban,³⁵ ezekből a válogatott normálvastag-



52. rajz. Fedőlemez vastagságmérő.

ságút kell beszerezni. Meglévő készletünkből az alkalmasakat fedőlemez vastagságmérő műszerrel (Deckglastaster) válogathatjuk ki (52. rajz).

Egyes különleges vizsgálatokhoz nem használunk fedőlemezt. Kőzetek és fémek csiszolatainak fedőlemez nélkül való vizsgálatára különlegesen erre a célra javított rövidfoglalatú tárgylencsék készülnek. A vérvizsgálatban és a bakteriológiában előforduló ú. n. „kikent készítményeket” szintén fedőlemez nélkül vizsgáljuk, de csakis immerzióval, mikor a fedőlemezt optikai szempontból az immerziós olaj helyettesíti.

Az objektíveket többféle szempont szerint osztályozhatjuk. Nagyításuk mértéke szerint kis-, közép- és

³⁵ Az F. Helige & Co. gyár az összes méretű fedőlemezeit a következő vastagságban hozza forgalomba: a) vastag, 0·19—0·25 mm, b) középvastag, 0·14—0·17, mm, c) vékony, 0·10—0·13 mm. A mi céljainknak a b) minőség felel meg, amelyből a fedőlemezvastagságmérővel kell kiválogatni a lencséinkhez előírt vastagságúakat.

nagynagyítású tárgylencsét különböztetünk meg. Az első csoportba tartoznak az objektívek kb. 30 mm gyújtótávolságig, azaz kb. 5-szörös egyéni nagytávolságig, a másodikba 5 mm gyújtótávolság, illetve 30-szörös egyéni nagytávolságig, míg az ennél erősebb tárgylencsét a nagynagyítású objektívek közé sorozzuk.

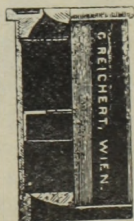
A lencsehibák javításának tökéletessége szerint akromatikus és apokromatikus objektívek készülnek. Mint említettük (48. o.) e két fő-típus között átmeneti konstrukciók, ú. n. félapokromátok is vannak. Speciális vizsgálatokhoz különleges objektíveket hoznak forgalomba. Így pl. az egyszínű fényvel való mikroszkopi vizsgálatokhoz ú. n. monokromátokat (v. ROHR) készítenek, melyeknél a lencsehibákat csak arra az egyféle hullámhosszúságú sugárra javítják, amellyel használni kívánják. Ilyen monokromátok készülnek az ibolyántúli sugárral való mikrofotografáláshoz is. Ezeket kvarcból csiszolják, mert az üveg nem bocsátja át az ibolyántúli sugarakat, a kvarc ellenben igen.

A numerikus apertúra nagysága szerint kis- és nagyaperturájú objektíveket különböztetünk meg. Végül a tárgylencsét még feloszthatjuk a száraz és az immerziós objektívek csoportjára is.

A tárgylencsét általában a nagyítással emelkedő számjegyekkel jelzik, amit a foglalatba vésnék be. Ezeknek a számoknak a nagyításhoz, vagy a lencse bármely más optikai sajátosságához semmi köze sincsen, akár csak a régebben használatos (pl. Zeiss) betűjelzéseknek. Újabban a Zeiss-gyár kezdeményezésére a tárgylencséknek a saját nagyításukat feltüntető számmal való jelzésére térnek át. Az immerziós lencséken fel szokták tüntetni a rendszer gyújtótávolságát és numerikus aperturáját is. A régebbi akromatikus homogenimmerziós lencséken a gyújtótávolságot angol hüvelykben (1 inch = 25.4 mm) tüntették fel. A régebbi

$f = 1/10''$, $1/12''$, $1/16$ és $1/18''$ jelzés 2·4 1·8, 1·4, ill. 1·3 mm gyújtótávolságot jelent, ami a szemlencse alsó gyújtópontjában mérve kb. 75, 100, 130 és 140-szeres tényleges nagyításnak felel meg. Az apokromátokon már régebben is milliméterekben tüntették fel a gyújtótávolságot és újabban így jelzik az akromátokat is.

2. A szemlencse (Okular, eye-piece, oculaire) a tubusba tolható csőfoglatban elhelyezett lencse-rendszer. Ez nagyítja tovább az objektív által létre-



53. rajz. Huygens-Campani-féle okulár.

hozott képet. Szerkezet és fénytani teljesítőképesség tekintetében többfajta okulárt készítenek.

A leghasználatosabb típus a Huygens³⁶—Campani-féle ú. n. negatív okulár. Ez két síkdomború lencséből áll, melyek közül az egyiket a foglat felső végébe, a másikat pedig az alsó végébe erősítik, úgy, hogy mindkettő a síkfelszínével fordul szemünk felé (53. rajz). A felső lencsét tulajdonképeni szemlencsének, az alsót pedig kollektívnek nevezzük.

³⁶ HUYGENS CHR. híres hollandi fizikus és csillagász (1629—1695). Feltalálta az ingaórát, a rúgósórát és ennek szabályozóját, a ketyegőt. Tökéletesítette a teleszkópot és jelentékeny csillagászati felfedezéseket tett vele. 1690-ben hozta nyilvánosságra a fényjelenségeket megmagyarázó híres rezgési elméletét.

A kollektív gyújtótávolsága két-háromszor akkora, mint a szemlencséé, a két lencse közti távolság pedig az egyéni gyújtótávolságok összegének felével egyenlő ($d = \frac{f_1 + f_2}{2}$).³⁷ A szemlencse alsó gyújtópontja helyén fényhatároló van a foglalatban. Itt keletkezik az objektív-rajzolta és a kollektív által módosított kép. Kollektív nélkül az objektív-kép valamivel távolabb keletkeznék, ez azonban kissé összetéríti a sugarakat (kis mértékben kicsinyít) és csökkenti a kép valódi és látszólagos domborodását.³⁸ A fényhatároló képezi a látótér keretét és elfedi a kép feltűnően hibás szélső részeit.

A szubjektív vizsgálathoz való beállításnál a szemlencse lupa gyanánt működik. Tárgya az objektív és a kollektív által közösen a szemlencse alsó gyújtópontjában, vagy azon kissé belül alkotott kép, amelyről nagyított, virtuális képet rajzol. A sugarak párhuzamosan, vagy kissé széttérően (a beállítás szerint) jönnek ki az okulárból, ami szemünkben azt a benyomást kelti, mintha a végtelenben, vagy legalább is a kényelmes látás távolságában fekvő képből érkeznének.

A vizsgáló kényelmére való tekintettel a gyárak úgy méretezik okulárjaikat, hogy a különböző nagyításúak gyújtópontja a tubusba való illesztéskor egyenlő ma-

³⁷ Ilyen elrendezés mellett a rendszer szubjektív használat esetén akromatikus, bár mind a két lencse egyforma üvegből van. Ez azért van, mert a különböző távolságban és nagyságban keletkező színes képelemek azonos látszóg alatt mutatkoznak s így látszólag fedik egymást. Vetítésnél, vagy fényképezésnél természetesen ez nem következik be.

³⁸ A régebben használatos Ramsden-féle ú. n. pozitív okulárok csak szemlencséből állottak, kollektívlencséjük nem volt. A hibákat úgy javították, hogy a szemlencsét két egyenlő gyújtótávolságú lencséből állították össze, melyek egymástól $d = \frac{f_1 + f_2}{2}$ távolságra voltak.

gasságba kerüljön. Ez arra jó, hogy okulárcsere esetén ne kelljen a mikroszkópot mindig újra beállítani. Természetesen ez csak ugyanazon gyár okulársorozatára vonatkozik.

A Huygens-féle okulárokra vonatkozóan jegyezzük még meg a következőket. Ezek szemlencséje annál kisebb, minél nagyobb nagyítású az okulár. A nagyítás t. i. a gyújtótávolsággal, ez pedig a görbületi sugárral együtt csökken, hasonlóan az objektívek frontlencséjénél említett viszonyaihoz. Ugyancsak a gyújtótávolság rövidebb voltából következik — a fenti képlet alapján —, hogy az erősebb nagyítású okulárok foglalata rövidebb. Az okulárokat régebben a tárgylencsékhez hasonlóan, önkényesen választott számokkal jelezték. Újabban áttértek az egyéni nagyítás feltüntetésére.

A közönséges okulárok saját nagyítása csekély és csak ritkán haladja meg a 10-szereset. A gyakorlatban leginkább a 3-as vagy 4-es jelzésű szemlencsét használjuk, melyek kb. 6—8-szorosan nagyítanak. Az okulár-nagyítást azért nem fokozzuk tovább, mert a szemlencse nem hoz új részletet a képbe (üres nagyítás, A kép részletdús volta egyedül a tárgylencse feloldóképességétől függ. Az okulárnagyítás fokozásával mindjobban érvényesülnek a kép hibái és nagyon csökken a fényerősség is.

A kollektívlencsénél említettük, hogy némileg javítja a képdomborodást. Sajnos, nem küszöböli ki egészen, úgyhogy ez a hiba, különösen a nagyobb nagyítású okulároknál, még elég nagy mértékben mutatkozik. Szubjektív vizsgálatnál még csak segíthetünk valahogy a dolgon azáltal, hogy a látómező átnézése közben folytonosan csavargatjuk a mikrométert. Ha ily módon élesen állítjuk be a látótér közepét, akkor a széle válik homályossá, és viszont. Még a vetítéshez is megfelelő ez az eljárás, bár itt már eléggé zavar az, hogy a néző kénytelen mindig azt figyelni, amit a vetítő éppen

élesen állít be. A legkellemetlenebb ez a hiba a mikro-fotografálásnál, mert itt a kép széli homályán felvétel közben nem segíthetünk a mikrométerrel. Ezért itt különlegesen megszerkesztett fényképező okulárokkal igyekeznek segíteni. A legtökéletesebb ezen a téren a Zeiss-féle „Homal“ fényképező okulár, amelyet BOEGEHOLD és KÖHLER számított ki (1922). Ez egészen a széléig teljesen élessé teszi a látóteret, miért is a mikrografálásnál nélkülözhetetlen. Kár, hogy szubjektív vizsgálatra nem lehet használni.

A mikroszkópos vetítéshez is célszerű különleges okulárt használni, mégpedig nemcsak a fentemlített hiba miatt, hanem még a következő okból is. Vetítésnél az objektív-alkotta képnek a szemlencse elülső gyújtópontján kívül kell esnie, hogy a szemlencse valós képet adhasson. Ha közönséges okulárral akarnánk vetíteni, akkor a tárgylencsét kissé fel kellene emelni az éles szubjektív beállítás helyzetéből, hogy képe az okulár gyújtópontján kívül essék. Az objektív lencsehibáit azonban arra a távolságra javítják, amelyben szubjektív vizsgálat alkalmával ad éles képet. Ha tehát ebből a helyzetből kimozdítjuk, azonnal jelentkeznek a lencsehibák. Ezért ABBE olyan projekciós okulárt szerkesztett, melynek szemlencséje a fozalatból kihúzható, amivel elérte azt, hogy az objektív és a kollektív által adott kép a szemlencse gyújtópontján kívül kerül, anélkül, hogy a tárgylencsét a szubjektív beállításnak megfelelő helyzetből ki kellene mozdítani. A közönséges Huygens-féle okulár azért sem alkalmas a vetítésre, mert ennél a lencsehibák csak a szubjektív vizsgálatra vannak javítva.

A szubjektív vizsgálatra szánt okulárok között a kompenzációs okulárok a legtökéletesebbek. Már az apokromátoknál említettük (49. o.), hogy ezek optikai kiválóságai csak a megfelelő kompenzációs okulárokkal együtt való használat esetén érvényesülnek

teljes mértékben. Ezek lencséit újfajta jénai üvegekből és fluoritból készítik. Javításuk olyan tökéletes, hogy nagyításukat egészen 25-szörösre lehet fokozni.

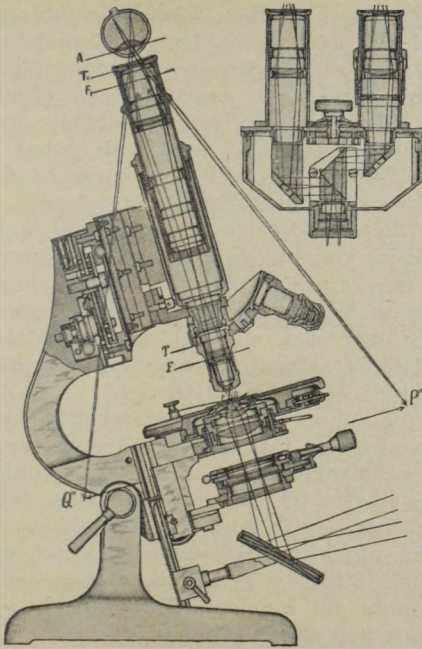
IV. Az egész mikroszkóp fénytani képességei és a kép sajátságai.

Miután megismertük a tárgy- és szemlencse szerkezetét és sajátságait, nézzük, hogy mire képesek ezek együtt és milyen követelményeket támaszthatunk a jó mikroszkóppal szemben.

Az 54. rajz mutatja be a mikroszkóp sugármenetét szubjektív vizsgálat esetén. A beállításnál annyira süllyesztjük a tubust, hogy a készítmény a tárgylencse alsó gyújtópontja közelébe kerüljön. Ekkor az objektív a cső felső végében nagyított, fordított, valós képet ad, amely éppen a szemlencse alsó gyújtópontjába kerül. A szemlencse lupe gyanánt működik: olyan irányú sugarakat továbbít szemünk felé, mintha azok igen távol fekvő képből érkeznének. Az okulár képe, azaz a mikroszkóp végleges képe látszólagos (virtuális) és ugyanolyan állású, mint a tárgylencse alkotta kép, tehát a tárgyhoz képest fordított. Huygens-féle okulár esetén kissé módosul a sugármenet, mert a kollektív lencse az objektívből érkező sugarak útjába áll, mielőtt még képpé egyesülhetnének. Fokozza a sugarak összehajlását és a kép valamivel előbb keletkezik és kisebb is, mintha a kollektív nem volna ott. A kollektív hatása a képdomborodást és képtorzulást javítja. A kép világosabb is lesz és növekszik a szemlencse által áttekinthető látótér.

A kép keletkezésének viszonyait vetítésnél és fényképezésnél részletesen elmondottuk a vetítőokulár ismertetése alkalmával.

A jó mikroszkóptól elvárjuk, hogy a tárgyról a rendszer látótávolságban kellően nagyított, éles, alak és szí-



54. rajz. A mikroszkóp sugármérete. Zeiss nyomán.

nek szempontjából teljesen megfelelő, részletdús és lehetően térbeli képet nyújtson.

A mikroszkóp akkor felelne meg ezeknek a követelményeknek leginkább, ha mind a tárgy, mind a szemlencse már magában véve is tökéletes volna. A lencsehibák tárgyalásakor azonban mondtuk, hogy a lencse rendszereket nem lehet egyszerre az összes hibáktól mentesíteni. A gyakorlatban a lencse különleges céljának megfelelően, bizonyos fontosabb hibák javítására nagyobb gondot kell fordítani s viszont, hogy ezt el-

érhessük, az adott esetben kisebb jelentőségű hibák javítását el kell hanyagolni. Így pl. a mikroszkóp alig van javítva az asztigmatizmus szempontjából. Sőt a bonyolultabb szerkezetű nagynagyítású objektíveknél még az is előfordul, hogy lényeges hibák javítását is el kell hanyagolnunk más fontosabb hibák javítása érdekében. Ilyenkor a szemlencse korrekciójával igyekeznek pótolni a mulasztást. A tárgylencse képeinek tekintélyes domborodását és torzulását pl. a Huygens-féle szemlencse kollektívjével vagy komplanatikus, projekciós és fényképező okulárral javítjuk, amire még a legtökéletesebb apokromátobjektívnek is szüksége van. Említettük, hogy ezek maradék színi hibáját (másodlagos színieltérés, színieltérés nagyításbeli hibája) kompenzációs okulárokkal kell javítani.

Ha meggondoljuk, hogy a sugarakat a tárgylencse kapja közvetlenül a tárgyból és ez dolgozza fel őket először, a szemlencse pedig már csak az objektívadta képet használhatja fel, akkor beláthatjuk, hogy miért fordítják a legnagyobb gondot a tárgylencse tökéletesítésére. Az objektív tökéletességének tényezőit már röviden ismertettük, s a következőkben meg fogjuk vizsgálni, hogy mi a jelentősége ezeknek a végleges mikroszkópos kép szempontjából.

1. A mikroszkóp nagyítását a gyakorlatban vonalas értékben szokták megadni. A nagyítás ilyen értelemben azt jelenti, hogy hányszorosára nagyít meg a mikroszkóp egy bizonyos távolságot.³⁹ A mikroszkóp végleges nagyítása a tárgylencse saját nagyításának a szemlencse saját nagyításával való szorzata. A legerősebb objektívek nagyítása sem haladja meg

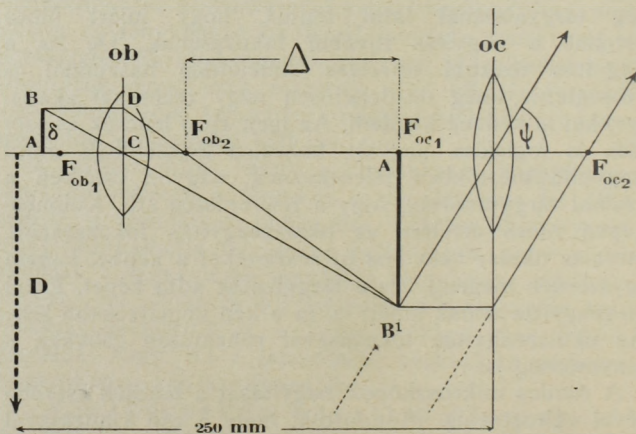
³⁹ Azok a hangzatos hirdetések, melyek néhány pengőért meglepően nagy (néha akár 5—600-szoros) nagyítású mikroszkópot kínálnak, az avatatlant igyekeznek megtéveszteni. Többnyire egyszerű lupák ezek és a nagyhangú hirdetés a területi nagyítást tünteti fel, mely a vonalas nagyítás négyzete.

a 100—150-szerest, a közönséges okulárokat pedig 15-szörös, a kompenzációs okulárokat pedig 25—30-szoros saját nagyításnál erősebbre nem szokták kérszíteni. A jelenleg elérhető legnagyobb nagyítás szubjektív vizsgálat esetén tehát kb. 3000-szeres. Természetes, hogy vetítéssel ennél még sokkal nagyobb nagyítást is létre tudunk hozni ugyanazokkal a lencsékkel, de ezzel nem kapunk új részleteket és a meglévők sem elég élesek a finomabb vizsgálatához. A feloldóképesség tárgyalásánál látni fogjuk, hogy miért nincs értelme a nagyítás további fokozásának. De ha a nagyítás további növelése elméletileg haszonnal is kecsegtetne, még meglehetősen nagy technikai akadályokkal is kellene küzdeni. Az igen apró lencsék csiszolása és foglalása nagyon nehéz, a lencsehibák mind nagyobb mértékben jelentkeznek, nagyon csökken a szabad tárgytávolság, fogy a fényerősség stb. Különösképpen nincs értelme az okulárnagyítás fokozásának, mert az okulár nem hoz új részleteket a képbe, hanem egyszerűen megnagyítja a tárgylencse adta képet. Ezzel megnagyítja annak hibáit is, és a kép homályosabb lesz. Az okulárnagyítás fokozásával rohamosan csökken a fényerősség is.

A rendes mikroszkópok nagyítását a lencsék cserélésével változtatjuk. Mondottuk, hogy a cső kihúzásával is lehet fokozni a nagyítást, de ezt a lehetőséget nem szívesen használjuk ki, mert a kép jóságának rovására megy. A tárgylencse hibáit t. i. egy bizonyos távolságra javítják, ahol előírt csőhosszúság mellett ad képet. Ha a tubust kihúzzuk, a tárgylencsét kissé közelíteni kell a tárgyhoz és ekkor sokkal távolabb ad képet. Ez a kép jóval nagyobb lehet, de már nem olyan jó. Zsebmikroszkópoknál az egyszerűség és kis térfogat érdekében bizonyos engedményt lehet tenni a kép jósága tekintetében. Ezen az alapon az egyik gyár olyan ú. n. pankratikus mikroszkópokat hozott forgalomba, melyek

nagyítását a cső kihúzásával igen tág határok között lehet változtatni (Hensoldt-féle „Tami“, „Metami“ és „Protami“).

Mikroszkópunk nagyítása felől legkönnyebben a tárgy- és szemlencsénket előállító gyár nagyítási táblázatából tájékozódhatunk. Ebből egyszerűen kikeressük a használt lencseösszeállításnak megfelelő nagyítási értéket. Ha ilyen táblázatunk nincs, ha len-



55. rajz.

cséink különböző gyártmányúak, vagy ha a mikroszkóp csőhossza valami okból eltér az előírt mérettől, akkor magunknak kell megállapítani a nagyítást.

A nagyítást ki lehet számítani és le lehet mérni. Az utóbbi a könnyebb és pontosabb. Kétféleképpen végezhetjük:

a) A nagyítás meghatározása tárgymikrométerrel és rajzolókészülékkel. A tárgymikrométer (tárgylemez,

amelyre 1/10 vagy 1/100 mm-es beosztást karcoltak) beosztását a kérdéses tárgy, szemlencseösszeállítással és tetszőleges tubushossz mellett lerajzoljuk az Abbe-féle rajzolókészülékkel. A rajzot a melléje helyezett milliméteres mérőléccel összehasonlítva, megkapjuk a nagyítást. Ha pl. az 1/100 mm beosztású tárgymikrométerről készült rajzon egy beosztás 6 mm nagyságú, akkor a nagyítás 600-szoros. Kisebb nagyításokhoz az 1/10, nagyobbhoz az 1/100 mm beosztású mikrométerlemez használjuk.

b) A nagyítást meg lehet határozni tárgy- és szemlencse-mikrométerrel is (l. a mikrometriánál, 142. o.).

ABBE szerint a nagyítást a következőképen számíthatjuk ki:

a) Az 55. rajz szerint a lineáris nagyítás az F_{ob2} CD és F_{ob2} F_{co1} B' hasonló háromszögekből az objektív saját nagyítása:

$$N_{obj} = \frac{\Delta}{f_{obj}}$$

az okuláré pedig:

$$N_{ok} = \frac{250}{f_{ok}}$$

A mikroszkóp össznagyítása tehát

$$N = \frac{\Delta}{f_{obj}} \cdot \frac{250}{f_{ok}}$$

A képletekben Δ a mikroszkóp ú. n. optikai tubushossza, azaz az objektív hátulsó és az okulár elülső gyújtópontja közti távolság (ABBE). Az optikai tubushossz nagyobb nagyításoknál nagyobb is lehet, mint

a mechanikai és körülbelül 180 mm körül mozog. Képletünk kissé átalakítva így is írható:

$$N = \frac{250}{f_{\text{obj}}} \cdot \frac{\Delta}{f_{\text{ok}}}$$

amelyben $\frac{250}{f_{\text{obj}}}$ azt mutatja, hogy milyen erősen nagyítana az objektív, ha lupe gyanánt használnánk, $\frac{\Delta}{f_{\text{ok}}}$ pedig az úgynevezett okulárszám (ABBE), amely azt jelzi, hogy az objektív nagyítását hányszor fokozza az okulár. Régebben az objektív gyújtótávolságát bevésték a foglalatba, a szemlencsén pedig feltüntették az okulárszámot. Számítási példa gyanánt szolgáljon az 1/12" homogénimmerzió ($f = 1.8$ mm) és egy 10 jelzésű okulár kombinációja. Az előbbieket szerint a tárgylencse saját lupanagyítása

$$N_{\text{obj}} = \frac{250}{f_{\text{obj}}} = \frac{250}{1.8} = 138.8$$

Összeállításunk nagyítása ezen érték 10-szerese, azaz 1388.

b) Ez a számítás csak hozzávetőleges eredményt ad, mert az optikai tubushossz a különböző objektívek és okulárok használatánál változik. Az eltérések különösen kisebb nagyításoknál (hosszabb gyújtótávolságú tárgylencséknél) jelentékenyek. Az okulárszámban azonban Δ állandó értékkel szerepel (amely csak nagyobb nagyításoknál közelíti meg a valóságot). Szinte érthetetlen, hogy ez a tökéletlen számítási eljárás a gyakorlatban elterjedhetett. Sokkal logikusabb és pontosabb az az újabb módszer, amelyre a Zeiss-művek kezdeményezésére lassan az összes gyárak rátérnek. A nagyítás pontos meghatározása végett t. i. újabban feltüntetik a tárgylencse foglalatán azt, hogy hány-szoros nagyítású a tárgylencse által alkotott kép az

okulár elülső fókusza magasságában (a gyár által előírt tubushossz és eltávolított okulár mellett. Az okulár kollektív lencséje t. i. befolyásolja az objektív adta kép nagyítását). A szemlencsén viszont igen logikusan az okulár lupanagyítását tüntetik fel. A két érték szorzata megadja a lencsekombináció nagyítását az előírt tubushossz mellett.

2. A mikroszkópi kép élessége elsősorban a mikroszkóp ú. n. definiáló képességétől függ. Ez annál tökéletesebb, minél jobban sikerült a lencséknek a pontszerű ábrázolással szemben fennálló hibáit (gömbi és színi eltérés kóma stb.) javítani. A lencsehibák tárgyalásánál, ahol a javítás módjait is ismertettük, láttuk, hogy csak a hibák csökkentése áll módunkban, teljes kiküszöbölésüket azonban ezideig elérni még nem sikerült. Szerencsére nincs is erre minden esetben szükség. Így pl. a szubjektív mikroszkópozás (és a többi mindenféle vizsgálati eljárás folytonos tökéletesedése ellenére is manapság még mindig ezen van a főszó) még olyan tökéletességet sem igényel, mint amilyen technikailag már elérhető.

A szubjektív vizsgálatnál a lencséknek korántsem kell matematikai élességgel dolgozni, mert szemünk az élesség hibáival szemben meglehetősen érzéketlen. Ez az előnyös jelenség látószervünk két sajátjának alapul. Az egyik szemünk feloldóképességének már említett tökéletlensége, amennyiben mindazon határokat még élesnek látja, amelyek homályos szegélye keskenyebb, mint a szem feloldóképességének alsó határa ($1'$, azaz 0.07 mm). Másik sajátja látószervünknek, amely itt szerepet játszik, az, hogy valamely feltűnően világos folt szomszédságában a kevéssel sötétebbet már nem veszi észre, mert a világos folt „elvakítja”. Mint hogy a szóródási körök fényessége már csak valamenynyire is jó korrekció esetén is rohamosan csökken a szélek felé, a homályos szegély nem érvényesül.

Ez a magyarázata annak, hogy a szubjektív vizsgálatnál már a közönséges akromátok is teljesen éles képet nyújtanak. Ama sugárféleségek iránt pedig, amelyek ezeknél jelentékenyebben aberrálnak, szemünk alig, vagy egyáltalán nem érzékeny.

Az apokromátok fölénye, szubjektív használat esetén csak különlegesen nehéz vizsgálati tárgyakkal vehető észre. Ilyen pl. a kovamoszatok igen finom rajzolatú szintelen páncélja (*Pleurosigma angulatum*, *Suriella gemma* stb.), melynek vizsgálatához igen nagy apertura és nagyon erős nagyítás kell.

Sőt még a mikrofotográfiánál sincs abszolút élességre szükség, mert hiszen a fényképező lemezek emulziójának ezüst-szemcsenagysága az élességnek úgysis határt szab. Itt inkább a szem számára láthatatlan kémiai sugarak lehető javítása fontos, hogy a szemmel való éles beállítás után a fényképező lemezen is éles képet kapjunk. A fényképezésnél tehát, mint azt már több alkalommal hangoztattuk, okvetlenül apokromátikus objektíveket és kromatikusan javított okulárokat (kompenzációs vagy fényképező okulárt) kell használni, amelyeknél az optikai és kémiai fókuszdifferenciát a lehető legkisebbre csökkentették s amelyeknél a színi hibák javítása több más szempontból is magasabb fokú.

A mikroszkóp definiálóképességét bármilyen készítményen ki lehet próbálni, de a legalkalmasabb az Abbe-féle próbalemez. Ezüstözött üveglemezbe karcolt vonalakból áll ez, melyek fekete alapon fehéren tűnnek fel a mikroszkóp alatt. A karcolások szakadozott szélét kell megfigyelni.

Az imént azt mondtuk, hogy a kép már az egyszerű akromátikus objektívek használatánál is kielégítően éles, mégis, ha a mikroszkópba nézünk és a látómező közepét élesen beállítjuk, feltűnik, hogy a látómező széle egészen homályos. Ennek az oka a képdomborodás, vagyis az, hogy a mikroszkóp a sík készítmény

éles képét nem sík, hanem görbe felszínen hozza létre, melynek szélső és középső részei a szemünktől való különböző távolságok miatt nem láthatók egyszerre élesen. A látótér tehát nem lehet egyszerre az egész kiterjedésében éles, hanem, ha a közepét állítjuk be élesen, akkor a széle, ha pedig a szélső zónáját állítjuk be élesen, akkor a középső területe homályos. A képdomborodást némileg javítja a Huygens-féle okulárok kollektív lencséje, a leghomályosabb szélső részeket pedig elfedi az okulár-diafragma. A fennmaradó hiba a szubjektív mikroszkópozásnál nagyobb zavart nem okoz. A szemmel való vizsgálat alkalmával egyszerre úgyis csak egy egészen kis kiterjedésű részletet tudunk pontosan megfigyelni, ezt pedig a képdomborodás ellenére is meg tudjuk tenni, ha a mikrométerrel a különböző részleteket egymásután állítjuk be élesen. Vizsgálat közben egyik kezünk úgyis állandóan a mikrométercsavarral foglalkozik, mert ezzel állítjuk be a különböző mélységű részleteket, hogy a tárgy mélységbeli elrendeződéséről plasztikus képet nyerjünk. A széli részek homálya azért sem zavar nagyon a megfigyelésben, mert többnyire úgyis csak a látótér középső részét szoktuk pontosan megfigyelni s a többi részleteket a készítmény megfelelő mozgatásával egymás után hozzuk a középre.

A képdomborodás hibája sokkal jobban zavar a vetítésnél. Azonban itt is módunkban van a különböző zónákat a mikrométer segítségével egymás után élesen beállítani. A hiba csak ott van, hogy ez nem történhetik a nézők mindegyikének tetszése szerint. Ezért a mikroprojekciónál a képdomborodást kiküszöbölő ú. n. projekciós okulárokat kell használni.

Világos dolog, hogy a képdomborodás hibája legkellemetlenebbül a mikroszkópos fényképezésnél érvényesül, mert a lemez a képet egy bizonyos beállítás mellett rögzíti. Ha tehát a látótér közepét állítottuk be

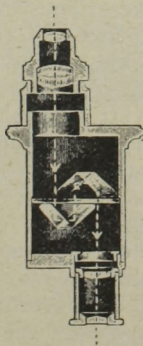
élesen, akkor a szélső részek okvetlenül homályosak lesznek a felvételen. Ezen hiba kiküszöbölésére tehát különösen a mikrofotográfiánál kell nagy súlyt fektetni, tehát okvetlenül speciális fényképező okulárt kell alkalmazni. Tudunkkal ez időszerint a legtökéletesebb a Zeiss-féle „H o m a l”.

Nagy kiterjedésű készítmények kis nagyítással való fényképezése okulár nélkül csupán objektívvel történik. Minthogy ebben az esetben az említetteken kívül még egy lencsehiba, az asztigmatizmus is nagy mértékben jelentkezik, ilyenkor speciális anasztigmatikus mikroszkópi fényképező objektíveket kell alkalmazni (pl. Himmler-féle mikroplan).

3. A kép alak i h a s o n l a t o s s á g a a t á r g y h o z, a geometriai optika szerint attól függ, hogy a lencsék milyen tökéletesek a képtorzítás (elrajzolás vagy látszólagos képdomborodás) szempontjából. Mint említettük, ez a hiba még a legkitűnőbb objektíveknél is nagy mértékben jelentkezik és az okulárral szokták javítani. A közönséges okulároknban a kollektív-lencse javítja ezt a hibát is.

Itt említjük meg, hogy a szubjektív vizsgálatnál a mikroszkópi kép az irányok (jobb, bal, fenn és lenn) szempontjából teljesen fordított. Ez azért van így, mert a tárgylencse fordított képet ad a tárgyról s az okulár ezt nem fordítja vissza, hanem ugyanolyan állásban nagyítja tovább. Ez a hiba egyáltalán nem zavar akkor, ha a finomabb részletek alakját és elrendeződését vizsgáljuk, mert ebből a szempontból az irányok mellékesek. A kép fordított volta csak a durvább szerkezet térbeli elrendezésének megértésénél (mikrotopográfia) okoz nehézséget, vagyis azon a határon, ahol a finom szerkezetnek a durvábbal való összefüggést kutatjuk. Ilyen esetben célszerű egyenes képet adó lupát használni. Különösen akkor zavar nagyon ez a hiba, ha a tárgyat a mikro-

szkóp alatt preparáljuk, pl. finom tűkkel szétbontjuk. Ilyenkor természetesen a jobbfelől közelített bontótű a látótér baloldalán jelenik meg és ellentétes irányban halad, mint amerre mozgatjuk. Ez eleinte teljesen megzavar és ügyetlenné tesz, de a fordított mozdulatokat idővel éppúgy megszokjuk, mint pl. a tükörben való fésütködést. Mégis, ha durvább dolgok kipreparálásáról van szó, ahol kisebb nagyítás is megfelel, célszerűbb preparáló lupát használni. A finomabb, mikroszkópos nagyítást igénylő preparálásnál prizmával lehet megfordítani a mikroszkópos képet (Porro-féle prizma, 56. rajz).



56. rajz. A Porro-féle prizmarendszer belseje.
Reichert nyomán.

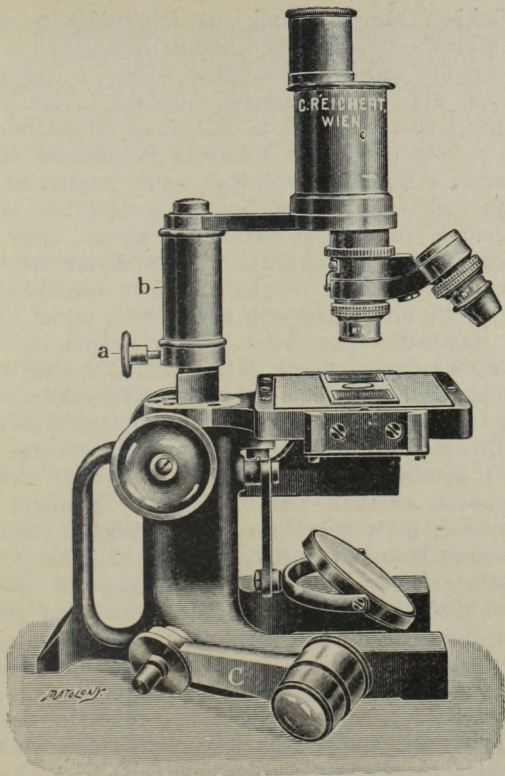
A kezdő mikroszkópizálót rendkívül zavarja és bosszantja az, hogy a készítmény eltolása alkalmával a kép teljesen ellentétes irányban mozog, mint ahogy kívánatos volna. Idővel azonban ezt teljesen meg lehet szokni és végül minden figyelem nélkül, teljesen auto-

matikusan ellenkező irányban mozgatjuk a preparátumot, mint ahogy a kép elmozdulását kívánjuk (57. rajz).

4. A kép színei akkor azonosak a tárgy színeivel, ha az egyes részletpontokból kiinduló különböző színű sugarak mind találkoznak a megfelelő képpontokban azaz, ha nem vesznek el eltérés vagy elnyelés útján egyes színek komponensek és ha nem kerülnek oda idegen színes sugarak. Ez tehát a színeltérések javításának tökéletességétől és a lencsék anyagának teljes és színtelen átlátszóságától függ. A színhibák tárgyalásánál említettük, hogy a szemmel való vizsgálódás számára már az akromátok javítása is teljesen kielégítő. Csekély hibájukat csak nagy gyakorlattal rendelkező szakember veszi észre ilyen irányú próbákra alkalmas készítmények (pl. finom rajzolatú színtelen kovamoszatpáncélok) vizsgálatával. Még ez a teljesen jelentéktelen kis hiba is elmarad az apokromátoknál, különösen akkor, ha ugyanazon gyár kompenzációs okulárjával együtt használjuk. A látható sugarak elnyelése is teljesen jelentéktelen mértékű a mikroszkóp törőközegeiben. A mikroszkópos kép tehát a látható színek szempontjából teljesen megfelel a tárgynak.

Ez azonban a láthatatlan sugarakra már korántsem áll. Ezekre vonatkozóan még az apokromátok javítása is tökéletlen, aminek a mikrofotográfiában van jelentősége. Ebből a szempontból szinte szerencse, hogy az üveg nem bocsátja át a nagyon eltérő ibolyántúli sugarakat. Ezek szemmel való vizsgálat esetén (a fluoreszcenciavizsgálatoknál) nagyon zavarhatnak akkor, ha a tárgy vagy szemlencsében véletlenül folyópátkomponens van, mely az ibolyántúli sugarakban sárgás színben fluoreszkálni kezd.

5. A mikroszkópos kép részleteiben való bősége a mikroszkóp feloldóképességétől függ. Ez annál nagyobb, minél közelebb eső tárgy részleteket tüntet fel



57. rajz. Egyenesállású képet adó preparáló mikroszkóp.
Reichert nyomán.

a mikroszkóp különállók gyanánt. Első pillanatban min-
denki azt hinné, hogy a mikroszkóp annál jobb, minél
nagyobb a nagyítás. Ez a felfogás azonban téves, mert
a geometriai optika, melynek tanítására ebben a véle-

ményünkben támaszkodunk, itt felmondja a szolgálót. Eszerint ugyanis a kép részletdússágának a nagyítással együtt kellene növekednie, hiszen a nagyítás fokozásával arányosan megnagyobbodnak a részletek és a köztük levő távolságok is. Ebben az értelemben a nagyítás s vele a feloldás fokozása is pusztán technika kérdése és a fejlődés lehetősége szinte határtalan volna. Minden csak azon múlna, hogy a lencsehibák javítását megfelelően tudjuk tökéletesíteni ahhoz, hogy a kép élessége a nagyítás fokozásával csorbát ne szenvedjen. Az optikusok sokáig tényleg minden erejükkel azon voltak, hogy minél nagyobb nagyítású s minél tökéletesebben javított lencserendszereket állítsanak elő. E gondolat szüleménye volt pl. a Lendl-féle összetett mikroszkóp is. Ez lényegében az egyik mikroszkóp fölé helyezett második mikroszkópból állott, amelyik az első mikroszkóp képét tovább nagyította. LENDEL-nek (1891) sikerült ily módon 6—10.000-szeres nagyítást elérni. Ez a szerkezet azonban nem váltotta be a hozzá fűzött reményeket, mert finom szerkezetű tárgyak (diatomeák héja) vizsgálatánál kiderült, hogy a nagyítás fokozása nem járt a feloldás megfelelő növekedésével.

Különböző konstrukciók összehasonlítása kapcsán feltűnt, hogy egyformán jól javított és egyforma nagyítású mikroszkópok közül az tüntetett fel finomabb részleteket, amelyik tárgylencséjének nagyobb volt a nyílásszöge. Kitűnt, hogy a mikroszkóp tökéletessége a lencsék nagyítóképességén és hibamentesítésük fokán kívül még a tárgylencse nyílásszögétől is függ. A nyílásszögnek a feloldóképességre való befolyását már LISTER (1842) és AMICI (1850) is ismerték és a nyílásszög nagyságát vízimmerzió létesítésével igyekeztek növelni. Ez a jelenség Gauss-féle geometriai optikai elgondolás szerint teljesen érthetetlen s csak a fény rezgésmélete, a fényelhajlás és az interferencia jelensége alapján magyarázható meg (ABBE).

A nyílásszög eme különös szerepét kutatva ABBE (1873) és HELMHOLTZ (1874) rájött, hogy a feloldóképesség még más tényezőktől is függ. Kutatásai eredményét ABBE a következő képletben fejezte ki:

1. egyenes átvilágításnál

$$\delta = \frac{\lambda}{n \cdot \sin u}$$

2. ferde átvilágításnál

$$\delta = \frac{\lambda}{2 \cdot n \cdot \sin u}$$

Ezen képletekben δ annak a két egymáshoz legközelebb eső részletpontnak a távolságát jelenti, amelyeket a nagyítórendszer még különállóknak tüntet fel a képen, λ a kép alkotásában szereplő fény hullámhossza, n a fedőlemez és a frontlencse közti közeg törésmutatója, u az objektív nyílásszögének a fele. A nyílásszög ($2u$) az a szög, melyet az optikai tengelyen fekvő, élesen beállított tárgypontról a lencsére eső széttérő sugárnyaláb ama legszélsőbb sugara alkotnak egymással, amelyeket a lencse még felhasznál a kép készítéséhez.

A mikroszkóp feloldása az Abbe-féle képletek értelmében annál nagyobb, minél kisebb δ . Ez pedig annál kisebb: 1. minél rövidebb hullámú fényvel dolgozunk, 2. minél nagyobb a frontlencse alatti anyag törésmutatója és 3. minél nagyobb az objektív nyílásszöge.

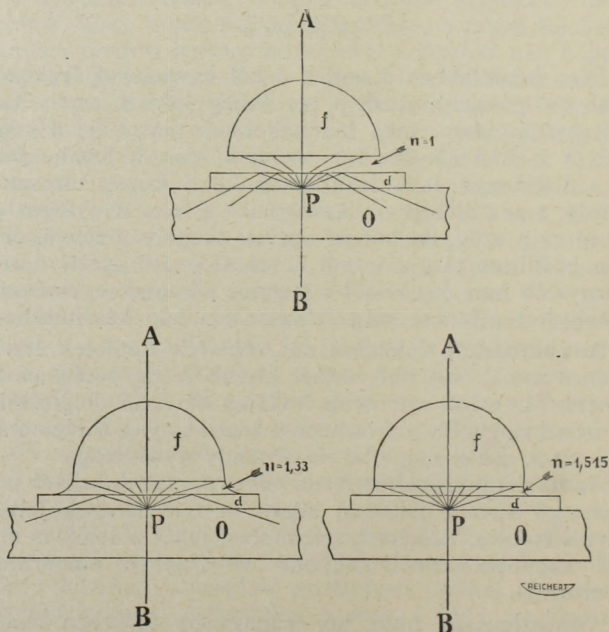
Az $n \cdot \sin u$ -szorzatot ABBE numerikus aperturának nevezte el s mint jellemző adatot a tárgylencsék jelzésére ajánlotta. A képlet értelmében tehát a feloldás annál nagyobb, minél nagyobb az objektív numerikus aperturája.

Szárazlencsék num. ap. legnagyobb értékben elméletileg 1 lehet, mert a legnagyobb elképzelhető nyílásszög $2u = 180^\circ$ ($\sin u = \sin 90^\circ = 1$) a levegő törésmu-

tatója pedig $n = 1$. A gyakorlatban azonban a tárgy-
lencsék készítésénél legfeljebb $2 \times 72^\circ$ -nyi nyílásszöget
sikerült elérni. Ennélfogva a legjobb szárlencsék aper-
turája csak 0,95.

(Num. ap. = $n \cdot \sin u = n \cdot \sin 72^\circ = 1 \cdot 0,95 = 0,95$.)

Mint hogy a nyílásszöget növelni nem sikerült, a num.
ap. növelésének másik módját, nagyobb törésmutatójú
anyagának a fedőlemez és a frontlencse közé való bevi-
telét kísérelték meg (58. rajz). Ilyen pl. a desztillált víz.



58. rajz. Sűrűmenet szárlencsénél (a), vízimmerzionál
(b), és homogénimmerzionál (c). Reichert nyomán.

Érdekes, hogy a gyakorlat itt is megelőzte az elméletet, mert AMICI már 1850-ben készített vízimmerziót. A vízimmerzióval elérhető legnagyobb num. apertura:

$$\text{num. ap.} = 1.33. \sin 70^\circ = 1.33. 0.94 = 1.25.$$

ABBE tovább ment, STEPHENSON nyomán (1878) céd-rusolajat ($n = 1.51$) vitt a fedőlemez és a frontlencse közé, miáltal a num. aperturát 1.42-re sikerült emelnie.

$$\text{num. ap.} = 1.51. \sin 70^\circ = 1.42.$$

Sőt ABBE és ZEISS tovább is mentek s még magasabb törésmutatójú anyaggal, a monobromnaphtalinnal ($n = 1.66$) kísérleteztek (1889). Ehhez a rendszerhez magasabb törésmutatójú üveget kellett felhasználni mind a fedőlemez, mind a frontlencse készítésénél. Evégből ezeket $n = 1.72$ törésmutatójú flintüvegből készítették.

$$\text{num. ap.} = n. \sin u = 1.66. 0.94 = 1.6.$$

Ez a rendszer s a különleges előállítással járó magas költségeken kívül még azért sem tudott a gyakorlatban elterjedni, mert nagy nehézségekbe ütközik a készítményeknek ilyen magas törésmutatójú anyagba való beágyazása.

Mégegyszer összefoglalva, a gyakorlatban elérhető legnagyobb numerikus aperturák:

száraz lencsével	num. ap. = 0.95
vízimmerzióval	num. ap. = 1.25
homogén olajimmerzióval	num. ap. = 1.42
monobromnaphtalinnal	num. ap. = 1.6

A szemre legélénkebben ható fénysugárnak, a nátrium D-vonalának megfelelő fénynek 0.59μ a hullámhossza. Ilyen fény használata mellett (a közönséges fehér fény megközelítőleg ilyen) a feloldás határa a következő:

		Egyenes megvilágításnál	Ferde megvilágításnál
Szárazrendszernél	$\delta = \frac{0.59}{0.95}$	0.6 μ	0.3 μ
Vízimmerzióznál	$\delta = \frac{0.59}{1.25}$	0.47 μ	0.235 μ
Homog. olajimm.	$\delta = \frac{0.59}{1.42}$	0.41 μ	0.2 μ
Monobromnaphthalin	$\delta = \frac{0.59}{1.6}$	0.37 μ	0.18 μ

A mikroszkóp feloldóképességét finomszerkezetű készítményeken (kovamoszatok: *Surirella gemma*, *Pleurosigma angulatum*, stb.) lehet megvizsgálni. Az objektív nyílásszöge az Abbe-, Zeiss- vagy Metz—Leitz-féle apertometerrel határozható meg.

A feloldóképesség további fokozása az Abbe-féle képlet értelmében rövidebb hullámúfény alkalmazásával érhető el. A Köhler-féle ultraibolya-mikroszkóp olyan fényel dolgozik, melynek hullámhossza a D-sugárénak csak a fele ($\gamma = 0.275 \mu$) s ennek megfelelően a berendezés feloldóképessége a rendes mikroszkópnak kb. a kétszerese.

A nagyítás és feloldás viszonya. Az, hogy az objektív a tárgy részleteket feloldja, önmagában véve még nem elég ahhoz, hogy ezeket meg is vizsgálhassuk. Ehhez még az is szükséges, hogy a feloldott részletek közti távolság (δ) olyan mértékben nagyítottassék meg a mikroszkópi képből, hogy azt meg is láthassuk. Az objektív-adta képet szemünk számára is feloldhatóvá kell tenni. Bár az igen jó szem már 1'-nyi látószög alatt mutatkozó részleteket is elkülönít, a pontos megfigyelés mégis legalább 2'-nyi látószöget kíván.

Tehát bizonyos feloldóképességű tárgylencse használata mellett a tárgylencsének és a szemlencsének együttvéve olyan erősen kell nagyítani, hogy a legkisebb feloldott távolság legalább $2'$ -nyi látószögben mutatkozzék. Kiszámítható, hogy a mikroszkóp nagyításának legalább az objektívapertúra 250 -szörösének kell lennie ahhoz, hogy az objektív feloldóképességét tényleg ki is használhassuk. Ha a nagyítás ennél kisebb, akkor az objektív feloldóképességét nem használjuk ki. Ez tehát a minimális hasznos nagyítás. Ha a látószög $4'$, akkor a részletek már igen kényelmesen vizsgálhatók. Ez az eset olyan nagyítás esetén, amely a num. ap. 500 -szorosa. Ez a maximális hasznos nagyítás. Ennél erősebb nagyításra törekedni (pl. az okulár nagyítás fokozásával) értelmetlen dolog, mert ezáltal már nem válnak új részletek felismerhetővé.⁴⁰

⁴⁰ Az 55. rajz szerint a mikroszkóp nagyítása, azaz a végleges, szemünktől 250 mm-nyire képződő virtuális képnek a megfelelő tárgyészlethez való viszonya

$$N = \frac{D}{\delta}.$$

A törtben szereplő két érték közül δ -t az Abbe-féle képlet adja, D pedig a rajzból határozható meg

$$\delta = \frac{\lambda}{\text{num. ap.}}, \text{ illetve } \delta = \frac{\lambda}{2 \cdot \text{num. ap.}} \text{ és } D = 250 \cdot \text{tang. } \varphi.$$

Ha a legkisebb feloldott részletet annyira akarjuk megnagyítani, hogy $2'$ -nyi látószög alatt mutakozzék, azaz jól láthatóvá váljék, akkor tengelyirányú megvilágítás esetén a használt objektív num. ap.-ja 250 -szeresének megfelelő nagyítást kell előállítanunk:

$$\begin{aligned} N &= \frac{250 \cdot \text{tang. } \varphi \cdot \text{num. ap.}}{\lambda} = \frac{250 \cdot \text{tang. } 2' \cdot \text{num. ap.}}{0.58 \mu} = \\ &= \frac{250 \cdot 0.00058}{0.00058} \text{ num. ap.} = 250 \cdot \text{num. ap.} \end{aligned}$$

Az okulárnagyítás növelésével rohamosan csökken a fényerő úgy, hogy a nagyításbeli nyereség élvezhetetlenné válik. LENDL ADOLF (1891) úgy igyekezett kényelmesebben szemléltetővé tenni a feloldott részleteket, hogy mikroszkópján az okulár szemlencséje helyébe egy második, egészen kis nagyítású mikroszkópot erősített. Így 6—10.000-szeres nagyítást ért el aránylag kis fényvesztesség mellett.

Talán még jobban megérthetjük a hasznos nagyítás fogalmát, ha a következő egyszerűbb gondolatmenetet követjük. Jó szem kedvező világítási viszonyok között feloldja az 1°-nyi látószög alatt mutatkozó részleteket, azaz pl. 25 cm távolságból különállónak ismer fel két pontot, amelyek egymástól 0.07 mm-nyire vannak. Legalább ilyen nagyra kell tehát a tárgylencse által feloldott részletek egymástól való távolságát meg-

Ha a legkisebb feloldott részletet 4°-nyi látószög alatt akarjuk feltüntetni, akkor a num. ap. 500-szeresének megfelelő nagyítással kell dolgoznunk. Ferde megvilágítás alkalmazása esetén azonban ugyanazon objektív feloldóképessége megkétszereződik, azaz félakkora részletek jelennek meg a képben. Hogy ezeket is megláthassuk, a nagyítás az előbb kiszámított értékek kétszeresének kell lennie. Ha a hasznos nagyítás értékeit a különböző aperturája objektívekre nézve kiszámítjuk, akkor a következő eredményeket kapjuk:

	num. ap.	hasznos nagyítás	
		egyenes megvilágítás	ferde megvilágítás
a legjobb szárazlencsénél	0.95	475	950
vízimmerzióznál	1.25	625	1250
homog. imm.	1.42	710	1420
monobromnaphthalin	1.60	800	1600

nagyítani, hogy szemmel láthatóvá váljanak. Így pl. az 1·42-es num. aperturájú homogénimmerziós lencse által feloldott legkisebb részlettávolságot, $0\cdot4 \mu\text{t}$ nagy megérőltetéssel már éppen megláthatnánk $0\cdot07 : 0\cdot0004 = 180\text{-szoros}$ nagyítás mellett. 360-szoros nagyítás esetén a legfinomabb feloldott részletek már 2-nyi látószögben mutatkoznak. Ha azonban 720-szoros nagyítással $0\cdot28 \text{ mm}$ -nyire sikerül az egymástól való távolságukat megnagyítani (látószög 4°), akkor már egész kényelmesen figyelhetjük meg őket. Ferde megvilágítás esetén természetesen ehhez kétszer olyan nagy nagyításra van szükség, mert az elmélet szerint a legkisebb feloldott részletek félakkorák.

6. Világosság. A mikroszkópos kép világossága a tárgy fényességétől, a mikroszkóp fényerősségétől és szubjektív vizsgálatkor még szemünk fényérzékenységétől (l. adaptáció, 223. old.) is függ.

A kép mindig sötétebb a tárgynál, aminek több oka van. Elsősorban azért, mert a mikroszkóp nem veszi fel a tárgyból kiinduló összes fényt, hanem csak egy részét: annál többet, minél nagyobb a tárgylencse nyílása. A tárgylencse fényereje numerikus aperturájának négyzetével arányos. Kétszer olyan nagy num. aperturájú tárgylencse négyszerannyi fényt vesz fel. De még a mikroszkópba kerülő fény sem jut el mind a képig, mert útközben fényvesztéséget okoz a lencsék felületén való fényvisszaverődés és a lencsék anyagából való fényelnyelés. Ha azonban a tárgyból kiinduló fény mind be is jutna a képbe, a kép felületegységének fényessége még akkor is kisebb volna, mint a tárgyé, mert a nagyítás folytán a fény nagyobb területen oszlik el. Minél nagyobb a nagyítás, annál sötétebb a kép a tárgyhoz képest. A kép és a tárgy fényessége fordítva arányos mint a területeik, azaz a kép világossága a vonalas nagyítás négyzetével csökken. Mindebből az a tanulság, hogy nagy

nagyításához nagy num. aperturájú (homogénimmerziós) tárgylencsét és gyenge okulárt kell használni. Az okulárnagyítás ugyanis teljesen a fényerősség rovására megy, mert az okulár nem vesz fel új fényt, hanem csak a tárgylencse által felvett fényt oszlatja szét nagyobb területre.

Könnyen azt gondolhatná valaki, hogy ez az elméleti megfontolás nem fontos, hiszen a kép világosságát természetesen fokozhatjuk a tárgy megvilágításának erősítésével. Csakhogy az erős fény és a velejáró hő is árt a készítménynek. Ezért kell azon lenni, hogy minél kevesebb fénnel állítsunk elő világos képet, azaz, hogy gazdaságosan használjuk ki a fényt.

7. A készítmény részleteinek térbeli helyzetéről két irányban kívánunk tájékozódni. Az egyik az oldalsó, a másik a mélységbeli kiterjedés. A részleteknek a kép síkjában való elrendeződési viszonyairól (nagyítás, alak, részletbőség) már szóltunk előbb. Azt is említettük már, hogy a mélységbeli kiterjedés viszonyairól is tájékozódhatunk, ha a tárgy különböző síkban fekvő részletei között átlátszó közeg (levegő, víz, kanadabalzsam stb.) van. A tájékozódás módja az, hogy a mikrométercsavart forgatjuk. De bizonyos fokban tájékozódhatunk egy bizonyos rögzített beállítás esetén is. A mikroszkóp ugyancsak egy bizonyos felszínről (úgynevezett optikai keresztmetszetről) ad éles képet, mert ez az alkotólencsék sajátosága. De mégis látjuk a magasabban és mélyebben fekvő részleteket, még pedig bizonyos mélységbeli különbségen belül élesen, az ezenkívül fekvőket pedig homályosan. Különböző síkban fekvő részleteket két okból látunk élesen változatlan beállítás mellett. Az egyik ok az, hogy szemünk élesen látja még a matematikai értelemben már kissé homályos részleteket is egy bizonyos mélységbeli határon belül (ezt a határt nevezzük a lencse

mélységének). A másik ok az, hogy a szem ki tud küszöbölni kisfokú élességbeli hibát a szemlencse görbületének megváltoztatásával (alkalmazkodóképesség, l. 219. old.). Az első tényező a mikroszkópos vetítésnél is érvényesül, a második azonban csak szubjektív mikroszkópozáskor. Ezért plasztikusabb a mikroszkópban látható kép a vetítettnél, vagy a mikrofotogrammnál.

Az éleshatáron kívül eső részletek homályossága sem zavar, sőt elősegíti a térbeli viszonyok felismerését. Bizonyos részletek homályos jelentkezéséből t. i. arra következtethetünk, hogy ezek az élesen beállított részletek felett, vagy alatt fekszenek. Hogy melyik áll fenn e két lehetőség közül, azt a mikrométercsavarral döntjük el. Ha a homályos részlet a tubus emelésekor válik élessé, akkor az imént élesen beállított részlet felett fekszik és viszont. El lehet képzelni, hogyha a különböző mélységben fekvő részleteket mind egyszerre élesen látnánk, ez csak megnehezítené a tájékozódást.

A térbeli tájékozódást elősegíthetjük különböző fogásokkal. Áteső megvilágításnál pl. a fényrekesztő szűkítésével, vagy ferde sugarak alkalmazásával. Az előbbi eljárással megkisebbitjük az átvilágító sugarak nyílásszögét és ezzel a tárgylencse nyílásszögét is, ami növeli a mélységet. Egyúttal kiküszöbölünk sok zavaró reflexet is, ami elhomályosítja a képet. Kellő ferdeségű sugarakkal el lehet érni, hogy a részletek oldalfelcsínje megcsillanjon, ami jelentékenyen növeli a térbeli hatást. Felső megvilágításnál a sugarak ferdítésével mindig nagyobb árnyékokat kapunk, ami szintén előnyös a mélységbeli viszonyok felismerése szempontjából.

A térbeli látást a sztereomikroszkóppal fokozhatjuk a legnagyobb mértékben (l. 149. old.).

V. A mikroszkóp kezelése.

A) A mikroszkóp gondozása.

A mikroszkópot tartsuk állandóan tisztán. Ne fogdossuk össze piszkos, zsíros, alkoholos, savas kézzel s óvjuk a portól, világosságtól és melegtől. Ezért használaton kívül a szekrényben vagy sötét üvegharang alatt álljon. A fekete lakkot lágy száraz szarvasbőrrel, a sárga részeket benzines flannellel kell törölgetni. A lakkozást az alkohol oldja. A lencséket és a tükröt többször mosott, tehát lágy és szálat nem eresztő lenvászonnal tisztítjuk. Az okulárnál elég, ha a lencsék mindkét oldalát rálehelés közben gyengén ledörzsöljük. Az objektív frontlencséjére azonban gyakran kerül kanadabalsam, ami ily módon nem távolítható el. A frontlencsét xylolos, benzolos, vagy benzines vászondarabkával nedvesítjük meg, azután száraz vászonnal, vagy szűrő-, vagy rizspapírossal azonnal ledörzsöljük. A leszárítással nagyon kell sietni, mert különben a folyadék beszívárog a foglalat belsejébe és megtámadhatja a lencsék ragasztását. A tisztításra ezért legalkalmasabb a benzin, mert ez alig oldja a kanadabalsamot. Alkoholal szintén nem ajánlatos dolgozni. Ez t. i. amellet, hogy csak lassan oldja a kanadabalsamot, veszélyes is, mert jól oldja a sellakot, amivel a frontlencse foglalatát egyes gyárak tömítik. Az alkohol azonnal leoldja a foglalat sárga lakkozását is.

Az objektívet nem szabad szétcsavarni. Belül szennyes vagy szétcsavart objektívünket javítás véget küldjük be a gyárba. A hátsó lencséhez magunk is hozzáférhetünk s minthogy ez többnyire csak porral szennyeződött, ráfújás közben finom szőrecsettellel sikerül megtisztítani. Hogy a tubusba por ne szálljon, sohase álljon mikroszkópunk okulár nélkül.

Nagy gondot fordítsunk a csavarszerkezetekre. Különösen a mikrométer igényel kíméletes bánásmódot.

$\frac{1}{2}$ —1 fordulatnál többet sohasem csavarunk rajta s ha megakadt, nem erőltetjük, hanem mindig megnézzük először, hogy mi a baj. Legtöbbször az derül ki, hogy lejárt. Ilyenkor óvatosan vissza kell csavarni. Nagyobb hiba, ha azt találjuk, hogy a frontlencse a tubus túlságos süllyesztése következtében a készítményhez szorult. Ilyenkor a legkisebb erőltetés a frontlencse benyomódását eredményezi. Erre való tekintettel a csavarokat könnyedén kell kezelni, mindig készen arra, hogy forgatásukat a legkisebb akadály esetén abbahagyjuk. Fontos tudnunk, hogy a kívánt mozgás érdekében merre kell a csavarokat forgatnunk. A tubus akkor emelkedik, ha a durvacsavart magunk felé, a mikrométert pedig az óramutató mozgásával megegyező irányban forgatjuk. A durvacsavar fogasrúdját időnként kihúzzuk a vezetékből, benzinnel megtisztítjuk s finom, savmentes csontolajjal, paraffinolajjal (Paraffinum liquidum s. oleum paraffini) vagy savmentes vazelinnal megkenjük. Ha a csavarok kikoptak, a tubus mozgása egyenetlen, lötyögő vagy zökkenővé válik. A durvacsavar foglalatja és a tubus fogasrúdjának a karon lévő szánkavezetése a legtöbb mikroszkópon apró csavarokkal utánaállítható a kopás mértéke szerint. A csavarszerkezetek szétszedésével és igazításával azonban csak az foglalkozzék, akinek készsége van a finomabb műszerek szerelésében. Egyébként inkább műszerész igénybevételét ajánljuk. Az újabb stativumok összetett mikrométerszerkezetét szétszedni egyáltalán nem szabad. Ezeket sem kenni, sem utánaállítani nem kell. Hiba esetén legcélszerűbb a gyárba küldeni javítás végett.

B) A mikroszkópos vizsgálat.

A mikroszkóppal vizsgálandó tárgyat megfelelő előkészítés után többnyire tárgylemezre szoktuk helyezni. Az előkészítés abból áll, hogy metszés, csiszolás, szét-

bontás, vagy szétkenés útján vékony réteget készítünk belőle. Átlátszatlan tárgyak (fémek, kőzetek) felszínét símára csiszoljuk és ezt a felszínt vizsgáljuk. A mikroszkóp kezelését legjobban fedőlemezzel lefedett készítmény vizsgálatával gyakorolhatjuk be. A mikroszkópi vizsgálat négy tényezõn fordul meg.

A mikroszkópozó a mikroszkóp érdekében tartsa tisztán a kezét. Különösen arra kell vigyázni, hogy a lakkhoz alkohollal, a lencsékhez pedig savakkal, vagy a lencsétet összeragasztó kanadabalzsamot oldó xylollal vagy alkohollal ne érnünk. A mikroszkópozáshoz nincs szükség szemüvegre, mert a látási hibát (amennyiben az fénytörési rendellenességen, ametrópián, alapul) ki tudjuk javítani a beállítással.

Monokuláris mikroszkóp használata esetén célszerû megszokni mindkét szemünk felváltva való használatát. Sok embernek, akinek hajlama van rá, rontja a szemét a mikroszkópizálás. Ha két szemünket felváltva használjuk, ezzel mindkettõt kiméljük, mert a legártalmasabb a fáradt szem erõltetése. Azonkívül, ha mindkét szemünket begyakoroltuk a vizsgálatra, nem szenved haladékot a munkánk akkor sem, ha egyik szemünk mûlóan hasznavehetetlen. A tapasztalat azt mutatja, hogy kevésbbé fárasztó, ha a másik szemünket is nyitva tartjuk a vizsgálat közben. Eleinte ugyan zavar az asztalon fekvõ tárgyak képe, amelyet a másik szemünkkel látunk, de késõbb ezt észre sem vesszük. De azért mégis jó, ha a dolgozóasztal felszíne fekete és homályos (fekete papiroslap!), hogy ne zavarjon a csillogása. Ugyancsak ezért ne helyezünk felesleges tárgyakat a mikroszkóp mellé!

Nagyon fontos a helyes és kényelmes elhelyezés a mikroszkóp mellett. Legalkalmasabb a kerek szék, amelynek magassága lapjának forgatásával állítható. Órákig tartó vizsgálatoknál nagyon fogjuk tudni méltányolni azt az elõnyt, amit a szék párnázása nyújt.

A széket addig csavarjuk föl, míg kiegyenesedett derék mellett fejünk enyhe előrehajtásával kényelmesen betekinthetünk az egyenesen álló mikroszkópba.

A közönséges asztalok rendszerint túl magasak (80 cm) a mikroszkópozáshoz. 70—72 cm magas asztalon közönséges (45—48 cm magas) székről is kényelmesen mikroszkópozhatunk. Jó, ha ezt már a laboratoriumi asztalok készítésénél figyelembe vesszük. Az ilyen alacsony asztal lapja alatt a közepén ne legyen fiók (vagy legfeljebb egészen lapos), különben nem tudjuk a térdeinket elhelyezni. Evégből az asztal lapja alatt a földtől számítva legalább 60—65 cm magas szabad területnek kell lennie.

2. F é n y f o r r á s. Lehet természetes és mesterséges (l. 191. old.). Régebben nagyon hangsúlyozták a természetes fény (fehér felhő, tiszta égbolt) előnyeit, manapság még nappal is többnyire lámpással dolgozunk.

3. A m i k r o s z k ó p o t a fényforrástól kellő távolságra állítjuk fel úgy, hogy a fény ne bántsa szemünket. Meggyőződünk a csavarok jó működéséről és a lencsék tisztaságáról. Konzervált készítmények vizsgálatánál kényelmi szempontból megtörjük az állványt. Folyékony anyagok vizsgálatánál azonban ezt ne kíséreljük meg, mert a készítmény vándorolni kezd a ferde tárgyasztalon. A tubust beállítjuk a lencsékhez előírt hosszúságra (l. 70. old. lábjegyzet). Most a látótér megvilágításához fogunk. A diafragmát teljesen kinyitjuk. Először a homorú tükröt választjuk, mert a vizsgálatot közepes nagyítással fogjuk kezdeni. Az okulárba nézve két kézzel addig billentjük ide-oda a tükröt, amíg a látótér megvilágosodik. Most az a célunk, hogy a látóteret teljes kiterjedésében egyenletesen világítsuk meg. Evégből addig billentjük a tükröt előre és hátra, míg a megvilágítás így a legerősebb, azután meg jobbra-balra hajtjuk, amíg a látóteret teljes kiterjedésében egynemű fény árasztja el.

4. A készítményt megtisztítjuk. A fedőlemezre került port rálehelés közben vászondarabkával (tisztá zsebkendő) gyengéden letöröljük, vigyázva, hogy a fedőlemezt ne mozdítsuk el a helyéről. A fedőlemez szélén előbukkanó, vagy esetleg a tetejére került kanadabalzsamot benzóllal vagy xylóllal távolítjuk el. Különös gondot okoz a fém- és ásványcsiszolatok felszínének tisztántartása, mert ezeket nem szokás fedőlemezzel lefedni.

A „beállítás”-hoz először szabad szemmel tájékozódunk a készítményen. Átlátszó készítményen már így is kivehetünk sok részletet, ha a világosság felé fordítjuk. Segítségül vehetjük ehhez az okulárt is, melyet szemlencsével kell a készítmény felé fordítani, ha lupa gyanánt akarjuk használni. Az előzetes tájékozódás után a készítményt a tárgyasztalra helyezzük. Gondosan kell ügyelni, hogy a fedőlemez felfelé kerüljön, a tárgy pedig épen a tárgyasztal nyílása fölött legyen. Minthogy a mikroszkóp a szubjektív vizsgálatkor fordított képet ad, a tárgyat már eleve fordítva tesszük oda.

A mikroszkópos vizsgálatot mindig kis vagy közép-nagy (kb. 100-szoros) nagyítással kezdjük. Jobbkezünk a durva csavaron van. A frontlencsét a durvacsavarral egészen közel hozzuk a tárgyhöz, melyet balkezünk rögzít. A lencse közeledését a fedőlemezhez oldalról figyeljük. Ezután benézünk a mikroszkópba s a tubust a durvacsavarnak magunk felé való forgatásával addig emeljük, míg a kép megjelenik. A mikrométerhez csak 2—300-szorosan felüli nagyításoknál nyúlunk. Ha a kép nem sikerül élesen beállítani, akkor először megpróbáljuk a fényrekesztőt szűkíteni, esetleg kissé elmozdítjuk a tükröt is. Lehet, hogy a sikertelenségnek valami szennyeződés az oka, amelyet természetesen el kell távolítani. Az éles beállítás után tájékozódunk a preparátumon, melyet balkezünkkel mozgatunk. Mint

hogy a mikroszkóp fordított képet ad, a készítményt a kívánt elmozdulással ellentétes irányban kell mozgatnunk, ami eleinte kellemetlen, rövid gyakorlat után azonban megszokjuk.

Ha kis nagyítással már kellőleg tájékozódunk, a tüzetesebben megvizsgálandó területet behozzuk a látótér közepére s a készítményt a szorítócsíptetővel rögzítjük a kívánt helyzetben. Nagy nagyításra a következőképen térünk át

1. A tubust a durvacsavarral néhány milliméterrel emeljük.

2. A revolver elfordításával beállítjuk az optikai tengelybe a kívánt nagyobb nagyítású objektívet.

3. Most a tubust a durvacsavarral addig süllyesztjük, míg a frontlencse a fedőlemezt csaknem eléri. Ezt úgy ellenőrizzük, hogy lehajolva a frontlencse és a fedőlemez között a fényforrás felé nézünk s megfigyeljük a köztük levő rés szűkülését. A gyakorlott vizsgáló a frontlencsének a fedőlemezen keletkező tükörképéről felülről is látja, hogy a tárgylencse mennyire közeledik a készítményhez.

4. Újra benézünk az okulárba és óvatosan emeljük a tubust a durvacsavarral addig, míg a kép megjelenik. A teljes éles beállítást a finom csavarral végezzük. A mikrométert jobbkezünkkel szoktuk forgatni, balkezünkkel pedig a tárgyat mozgatjuk. Ha így nem sikerül éles képet kapni, kissé szűkítjük a diafragmát vagy süllyesztjük a kondenzort. A homályosság oka gyakran a frontlencse szennyeződésében keresendő.

Immerziós vizsgálathoz feltétlenül diffúz megvilágításra vagy parallel sugarú fényforrásra (kondenzoros mikroszkóplámpás) van szükség. Mindig a sík tükröt használjuk, a kondenzort pedig teljesen felcsavarjuk. A nagy aperturájú immerziós lencsék feloldóképességét csak akkor tudjuk teljes mértékben érvényre juttatni, ha a legnagyobb aperturájú megvilágítá-

tással dolgozunk. Evégből előnyös a kondenzor frontlencséje és a tárgylemez közé is immerziós olajat tenni. A kondenzor frontlencséjére kövér cédrusolajcseppet cseppentünk, azután óvatosan felcsavarjuk, amíg a tárgylemezt eléri. Vigyázni kell, hogy a csepp lassan nyomódjék szét az üvegfelszínek között, különben apró léghólyagocskák keletkeznek benne.

A közönséges kondenzorok num. aperturája 1·2. Ennél nagyobb nyílású immerziós tárgylencsékhez nagyobb (1·4) aperturájú kondenzort kell használni, mert különben nem használjuk ki az objektív teljes aperturáját.

A tárgy megfelelő része felé a fedőlemezre (beszártott bakteriológiai készítményeknél egyszerűen a kikent rétegre) cédrusolajcseppet teszünk. Oldalról figyelve óvatosan süllyesztjük a tubust addig, míg a frontlencse a cédrusolajba merül s csaknem hozzáér a tárgyhoz. Itt is nagyon kell vigyázni arra, hogy léghólyag ne keletkezzék az olajban, mert az teljesen elhomályosítja a képet. Jelenlétét úgy állapíthatjuk meg, hogy az okulár eltávolítása után a tubuson keresztül benézünk az objektívbe. A léghólyagok eltávolítására ajánlott módszer: hajszál áthúzása a frontlencse alatt, sokkal körülményesebb, mint a kísérlet megismétlése az immerziós olaj teljes letörlése után. Míg a tubushossz pontos betartása az objektív teljesítőképességének lehető kihasználása érdekében nagyon fontos, addig a fedőlemez vastagsága immerziónál teljesen mellékes. A kanadabalsamba ágyazott tárgytól a fedőlemezen és az immerziós olajon keresztül a frontlencséig optikailag homogén közegen haladnak át a sugarak, tehát az egyes rétegek vastagsága nem jön számításba. Ezért van az, hogy mint említettük, a kikent bakteriológiai készítményeket immerzióval fedőlemez nélkül is lehet vizsgálni. Akármilyen vastag fedőlemezt természetesen még sem

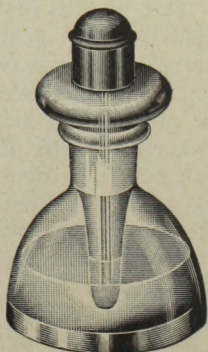
használhatunk, mert ha tulságosan vastag, megakadályozza az objektív kellő közelítését. Az előírt fedőlemezvastagságot ajánlatos mégis betartani, mert nem lehet arra számítani, hogy készítményeinket mindig csak immerzióval fogjuk nézegetni.

Hacsak színbeli ellentétek szembeötlő feltüntetéséről van szó, (bakteriológia), teljesen nyitva hagyjuk a íriszt (KOCH 1878). Ha azonban a szerkezet finomabb alakviszonyai is érdekelnek, akkor addig szűkítjük, míg az élesség és a penetráció a legjobb. Vizsgálat után az immerziós olajat xylollal vagy benzollal mossuk le a fedőlemezről. A fedőlemeznélküli kikent bakteriológiai készítményekről nem szoktuk leoldani az olajat, hanem ezeket jól záró dobozban helyezzük el, ahol nem tapadhat por a beszáradó olajrétegre és a készítmény védve van a sérüléstől is.

A gyáarak nagyon hangsúlyozzák katalógusaikban, hogy immerziós lencsékhez csakis az általuk forgalomba hozott cédrusolajat használjuk. Arra hivatkoznak, hogy ennek a törésmutatója azonos a frontlencse törésmutatójával és mert mentes olyan káros anyagoktól, melyek a frontlencsét vagy foglalásának ragasztóanyagát megtámadhatnák. Ezt azonban csak akkor kell betartani, ha nagyon finom szerkezetű készítményeket vizsgálunk, mikor a mikroszkóp teljesítőképességének legmagasabb fokát akarjuk elérni. Egyébként azonban a törésmutató szigorú betartása nem nagyon fontos és bátran használhatjuk immerziós lencsénkhez más gyáarak immerziós olaját (pl. Cedernholzöl für Immersion, Grübler) vagy akár a közönséges kereskedelmi cédrusolajat is (oleum ligni cedri rectificatum). Sőt szükség esetén megteszi egész sereg másféle anyag is, melyek törésmutatója nagyjából azonos az üvegével. Csak a frontlencse ragasztóanyaga szempontjából van szükség elővigyázatra.

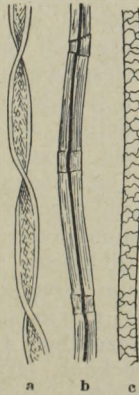
Anisol (phenyl-methylaether)	$n_{D_{250}} = 1.51503$
cédrusolaj (optikai gyárak által előírt)	$n_{D_{150}} = 1.515-1.5163$
„ (közönséges).....	$n_{D_{150}} = 1.510$
gaultheriaolaj (methyl-salicylsavester)	$n_{D_{200}} = 1.5352$
methylbenzoat	$n_{D_{200}} = 1.51692$
paraffinolaj	$n_{D_{200}} = 1.461-1.52$
ricinusolaj	$n_{D_{200}} = 1.47770$
szantálolaj	$n_D = 1.505-1.510$

Ezek közül az anisol vált be a legjobban (BECHER 1925), amelynek két előnye van. Az egyik az, hogy higabb a cédrusolajnál és nem ragasztja oda a frissen lefedett készítmények fedőlemezét a frontlencséhez olyan erősen, hogy a készítmény eltolásakor a fedőlemez elcsúsznék, vagy a lencse felemelésekor felemelődne a tárgyról. A másik előnye az, hogy nyomtalanul elpárolog a fedőlemezről, ha feleslegét itatóssal elszívjuk. Célszerű az immerziós folyadékot, cédrusolajat, megfelelő, erre a célra készült üvegben tartani (59. rajz).



59. rajz. Immerziós olaj üveg. Az olaj a belső üvegben van. A külső üveg tisztítófolyadékot tartalmaz.

A mikroszkópos kép értékeléséhez nagy gyakorlat szükséges. A kezdő mikroszkópozó alig „lát” valamit s csak a fény és a színek szépségében gyönyörködik. Figyelmét leginkább a szennyezések és a műtermékek (szakadások, ráncok) ragadják meg. A készítmény finomabb részleteit nem is veszi észre, jóllehet a kép élesége kifogástalan, mert még nincs kifejlődve a tudás



60. rajz. Len-, kender- és gyapjufonal nagyított képe.

mányos megfigyelőképessége, a szellemi feloldóképesség. A mikroszkópos látást ép úgy kell fokozatosan megtanulni, mint ahogy megtanultunk látni gyermekkorunkban.

Kezdetben a következőkre kell ügyelni. Tanulmányozzuk a mikroszkópi szennyezéseket avégből, hogy rögtön felismerjük, mi nem tartozik a készítményhez. A szennyezés lehet a lencséken és a készítményben. Arról, hogy hol van, úgy győződhetünk meg a legkönyebben, hogy ezeket külön-külön mozgathatjuk. A szennyezés azon a részen van, amellyel együtt mozog. P o r

durván kifosztott szélű folt alakjában tűnik fel. *Lenz*, *kender* és *gyapjúfonalak* a tisztítórongyról kerülhetnek a készítményre vagy a lencsére (60. rajz). Szórszálak gyapjú-tisztítórongyból, de a boncolt állat prémjéből is kerülhetnek a készítménybe. Nagyon kellemetlen a légbuborékok jelenléte. Ezek könnyen felismerhetők igen szabályos, csillogószerű, sötét körvonalairól.

A készítmény részleteinek színárnyalatait és rajzát egyaránt nagy figyelemre kell méltatni. Különösen a térbeli látást és elképzelést gyakoroljuk. Hasonlít ez a térképolvasáshoz, ahol a jelzések értelmének valósággal be kell idegződni. Kezdetben a képet rajzhoz hasonló sívár matematikai síkban látjuk. A térbeli viszonyok felderítése az objektív mélységén kívül szemünk gyakorlatosságán és a mikrométercsavar ügyes használatán múlik (l. 74. old.). A finomcsavarral egymásután beállíthatjuk a készítmény különböző mélységű rétegeit és egyes részleteket nyomon követhetünk bennük. A térbeli látáshoz sok tudás, morfológiai érzék és képzelőtehetség is kell. Míg kezdetben a sejtmagot körnek, a sejteket pedig sokszögeknek látjuk, később elméleti tanulmányaink és a bőséges gyakorlat útján szerzett plasztikai rekonstrukció-képesség „szellemi” útján gömböt vagy hasábot látunk.

Az első időkben ne vizsgálgassunk nagyon sokféle nagyítással, hanem készítményeinket csupán egy vagy két objektívvel és mindig ugyanazzal az okulárral (pl. 3-asossal) nézzük meg. Ezúton gyakorlatot szerzünk a homológ szövetelemek nagyságbeli arányainak megítélésében.

Az alapos vizsgálat lényeges részét teszi a *rajzolás*. Rajzolás közben kénytelenek vagyunk a készítmény összes részleteit külön-külön és összefüggésükben is a legnagyobb pontossággal szemügyre venni. A pusztá megtekintésnél egyes részletek könnyen elkerülhetik

figyelmünket, a rajzban azonban nem maradhatnak üres területek. A mikroszkópos rajzolásnak sok felfedezést köszönhetünk.

Az utóbbi időben a rajzolást nagyon kiszorította a nagy fejlődést mutató mikrofotográfia is (l. 229. old.). Mindkét eljárásnak megvannak a maga előnyei és hátrányai. A rajzolás mellett szól nagy értéke a megfigyelőképesség fejlesztésében. A rajzolással továbbá módunkban van a lényeges részleteket kiemelni, viszont a készítményben lévő zavaró hibákat (szakadás, gyűrődés, metszési barázdák) és szennyeződések (festékcsapadékok, léghólyag stb.) kihagyni. További előnye, hogy míg a mikrofotogramm csak egy optikai keresztmetszetet ábrázolt, addig a rajzban fel tudjuk tüntetni a térbeli elrendeződésnek szemmel és mikrométerrel kihozható részleteit is. A mikrofotográfia mellett szól a kényelmesebb technika, a gyorsabb előállítás és a kép nagy bizonyító ereje. A rajz elkészítése fáradságos és hosszadalmas. Minthogy szubjektív és megadja az egyéni módosítások lehetőségét, nem rendelkezik azzal a bizonyító értékkel, mint a fénykép. A mikrofotografálás technikája csak első tekintetre látszik nagyon egyszerűnek, valójában azonban ennek is sok apró-cseprő fogása van, amit mind meg kell tanulni és pontosan be is kell tartani ahhoz, hogy jó képeket kapjunk. Jó rajzoló ugyanannyi idő alatt készíti el a rajzot, de annak, aki a rajzolás terén teljesen tehetségtelen, kétségtelenül nagy jótéteményt jelent.

C) Mikroszkópos rajzolás.

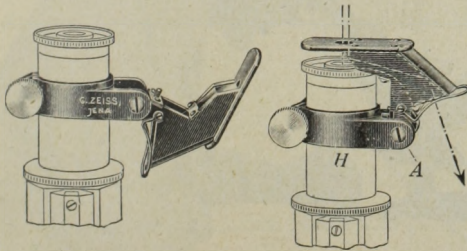
A mikroszkópi rajzoláshoz nem kell különös rajz tehetség vagy előtanulmány. Annyira különleges terület ez, hogy technikáját az egyébként jó rajzolónak is teljesen újonnan kell elsajátítania. Ezért kellő türelemmel bárki begyakorolhatja. Először tanuljunk meg segédesz-

köz nélkül rajzolni. Gondos megtekintés után nagyjából felvázoljuk a képet, azután bebenézve a mikroszkópba, egymásután rajzoljuk be a részleteket. Eleinte nagyokat fogunk tévedni a nagyítás megítélésében. Célszerű ebből a szempontból mindjárt a binokuláris módszerrel kezdeni: balszemünkkel a mikroszkópba nézünk, jobbszemünkkel pedig szorosán a mikroszkóp mellé helyezett papirosra tekintünk. Ekkor agyunkban a két látótér kis megerőltetés után fedésbe kerül, azaz úgy tűnik fel, mintha a kép a papiroson volna. Ott látjuk ceruzánk hegyét is s a körvonalakat egyszerűen utánahúzzuk. Midőn a rajz vázlatát ilymódon nagyjából felvettük, abban hagyjuk az egyszerre két szemmel való dolgot, mert ez nagyon fárasztó és szemetrontó dolog. A finomabb részleteket utólag rajzoljuk be.

A mikroszkópos rajzoláshoz igen szellemes szerkezetű rajzólékek vannak forgalomban. Mindezen készülékeknek az a célja, hogy a mikroszkópos képet és a rajzpapirost szemünk megerőltetése nélkül optikai úton hozzák fedésbe. Az elvében legegyszerűbb és a gyakorlatban legkényelmesebb berendezés az Edinger-féle vetítő-rajzólékészülék, mellyel a képet mikroszkóp segítségével egyenesen a rajzpapirosra vetítjük és egyszerűen utánarajzoljuk. Természetesen sötétkamrában kell dolgoznunk és erős világítóberendezésre van szükség. Minthogy ezenfelül a berendezésnek külön, lefelé fordított mikroszkópja van, beszerzése nagyon költséges. A módszernek ezenkívül még két nagy hátránya is van. Az egyik az, hogy a vetített kép sohasem elég éles és részletdús ahhoz, hogy a legfinomabb viszonyok is megrögzíthetők legyenek. A szemmel való mikroszkópizálásnál a beállítás összehasonlíthatatlanul élesebb és sokkal finomabb részletek figyelhetők meg. További nagy hátrány az, hogy a szemmel való penetrálásnak a nagy előnyét majdnem teljesen elveszít

jük. A vetített rajz síma, nincsenek mélységei. Igaz, hogy módunkban van a mikrométer elcsavarásával a mechanikai penetrációt igénybe venni. De eközben az egész kép ide-oda mozog s a mélyben tovahúzódo kép-
leteket mégsem tudjuk olyan pontosan követni, mint mikor a mikroszkópba nézünk. Ezért az ilymódon készült rajzot a mikroszkópba való tekintés közben még utólag ki kell egészíteni.

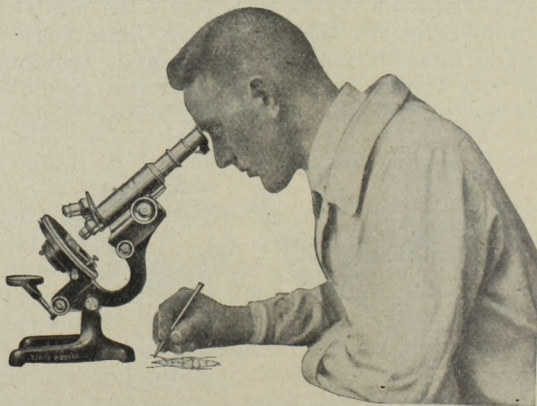
A legtökéletesebb rajzok készítését a prizmás és tükrös rajzolókészülékek teszik lehetővé. Igaz, hogy ezek használata kissé fárasztóbb és bizonyos gyakorlatot igényel. Két típusuk van: a rajzolóprizma és a tükrös rajzolókészülék. Mindkettőnek az a lényege, hogy mi-



61. rajz. Zeiss-féle rajzolóprizma.

közben egyik szemünkkel a mikroszkópba tekintünk, megfelelő optikai berendezés a mikroszkóp mellé helyezett papirozt és a rajta mozgó irón képét ugyanezen szemünkbe vetíti. Ezáltal az a látszat áll elő, mintha a mikroszkópi kép és a papiros egy helyen lenne s ceruzánkkal a kép körvonalait ilymódon utána húzhatjuk. Minthogy rajzolás közben állandóan a mikroszkópba nézünk, a szemmel való mikroszkópizálás összes előnyei érvényesülnek. Fel tudjuk tüntetni rajzunkban a szemmel látható legfinomabb részleteket és a mélységbeli különbségeket.

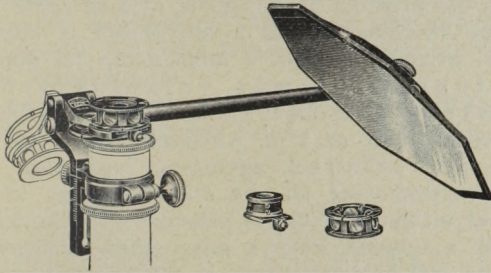
A 61. rajz a Zeiss-féle rajzoló-prizma szerkezetét és sugármenetét szemlélteti. Az okulárra szerelt készüléket úgy állítjuk be, hogy az egyik prizma élével felezze az okulár pupilláját. A mikroszkópi kép sugárnyalábjának egy része még szemünkbe juthat a prizma mellett. A papírosról a másik prizmán át érkező sugarakat az első prizma szintén szemünk felé irányítja. Végeredményben a mikroszkópból és a papíros



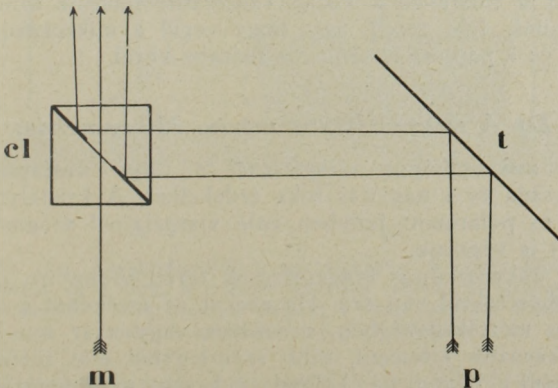
62. rajz. Rajzóókulár Zeiss nyomán.

ról együtt érkeznek szemünkbe a sugarak, ami azt a látszatot kelti, mintha ceruzánk a látótérben mozogna. Miközben az írónt látszólag a kép körvonalai mentén mozgatjuk, a papírosra rajzolunk vele. A készülék hátránya az, hogy a rajzpapírost a mikroszkóp felé lejtő felszínen kell elhelyezni, különben torzított képet kapunk. Ferde síkon pedig nehéz rajzolni. A rajzsík dőlésének fokát gyakorlatilag kell megállapítani. Evégből kör, vagy párhuzamos vonalak rajzát helyezzük rá s addig változtatjuk a hajlását, míg a mintát torzítás-

mentesen látjuk a mikroszkópban. Ügyes módosítása ennek az elrendezésnek a Leitz-féle rajzóko-
lár (62. rajz). Itt a prizrát már beépítették az oku-
lár foglatába. Használatánál vízszintesen helyezzük



63. rajz. Abbe-féle tükrös-prizmás rajzólkészülék.



64. rajz. Az Abbe-féle rajzólkészülék sugármenete; (*cl*) az Abbe-féle kocka (*camera lucida*), (*t*) a tükör. A mikroszkópból érkező sugarak (*m*) az Abbe féle kocka (*cl*) közepén akadálytalanul áthaladva szemünkbe jutnak. A rajzpapírosról érkező sugarakat (*p*) a (*t*) tükör a kocka felé vetíti, amelynek ezüstözött átlófelszínéről ezek is szemünkbe kerülnek.

el a papírost és a mikroszkópot hajlítjuk meg 45° -ban. REICHERT tükör alkalmazásával teszi lehetővé, hogy egyenesen álló mikroszkóp mellett vízszintes rajzsíkon dolgozhassunk.

A rajzoló prizmák nem engedik meg az egész látótér tökéletes kihasználását és a fényerőből is elvesznek, mert a prizmák elfedik a mikroszkóp fél pupilláját. ABBE tükörös-prizmás rajzolókészüléke (63. rajz) mind a két hibát kiküszöböli. A készülék legszellemesebb része az ú. n. Abbe-féle kocka (64. rajz). Ez két, átlófelszíneikkel egymásra ragasztott derékszögű üvegprizmából áll. Az átlófelszín egy központi kerekded terület kivételével ezüstözött. A kockát úgy erősítjük a tubusra, hogy a mikroszkóp sugárnyalábja akadálytalanul haladhasson át az átlátszó területen szemünk felé. A rajzpapíros és az írón felől érkező sugarakat a tükör és a kocka ezüstözött felszíne szintén szemünk felé tereli úgy, hogy végül a mikroszkópos kép és a papíros látszólagos fedésbe kerül.

D) A mikroszkópos mérés. Mikrometria.

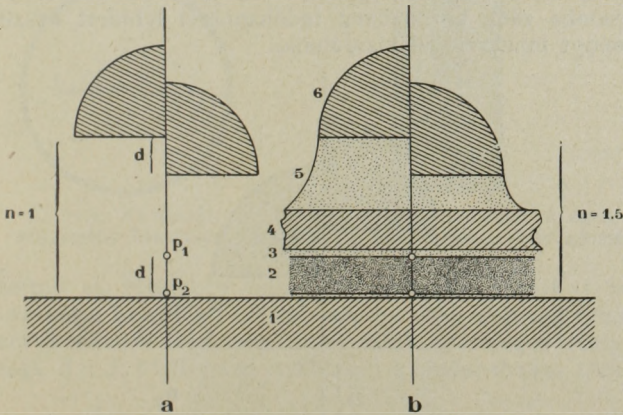
A mikroszkópos vizsgálatnál a tárgy vastagsága, nagysága és a nagyítás foka érdekelhet. A kristálytanban és polározott fényben való vizsgálatnál szögméréseket is végzünk.

A mikroszkópos hosszmerések terén többnyire igen kis méretekről van szó. Ha ezeket az értékeket a szokásos mértékegységben, a cm-ben, vagy akár mm-ben is akarnánk kifejezni, több számjegyből álló törteket kapnánk. Hogy ne kelljen nehezen megjegyezhető törtekekkel dolgozni, a mikrometriában a milliméter $\frac{1}{1000}$ részét választották a hossz mérték egységének. Mértékegységünket 1 mikronnak nevezzük és a görög μ betűvel jelezzük.

$$\frac{1}{1000} \text{ mm} = 0.001 \text{ mm} = 1 \text{ mikron} = 1 \mu.$$

A mikroszkópos mérésnek ez a méret egyúttal körülbelül az alsó határát is képviseli. 1μ -nál kisebb kiterjedéseket mikroszkópi úton már nem tudunk pontosan lemérni. Az ennél kisebb méreteket becslés útján szoktuk megállapítani.

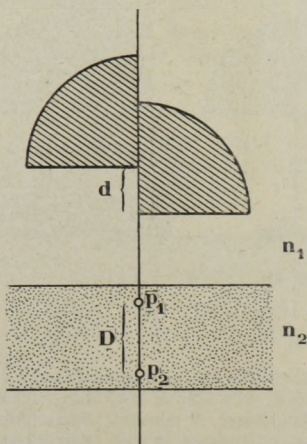
A vastagságmérést a mikrométercsavarral végezzük. Természetesen ennek az a feltétele, hogy a



65. rajz. Vastagságmérés a mikroszkóppal homogén közeg esetén. *a)* A tárgy és a lencse levegőben vannak, *b)* homogén immerzió. 1 tárgylemez, 2 metszet, 3 kanadabalszam, 4 fedőlemez, 5 immerziós olaj, 6 frontlencse.

mikrométer tárcsája beosztással legyen ellátva és tudjuk, hogy egy beosztásnyi elfordítása a tubus milyen mértékű emelkedésével jár. Ezt a mikroszkóp használati utasításában vagy a gyár katalógusában találjuk meg. Egy beosztásnak megfelelő tubusemelkedés a prizmás mikrométereknél 0.01 mm , az összetett mikromé-

tereknél 0,001 vagy 0,002 mm szokott lenni. A mélységmérés a következőképen történik. Élesen beállítjuk a mérendő tárgy felső felszínét, azután az alsót és megfigyeljük, hogy közben a mikrométercsavart hány beosztással fordítottuk el. Ezt a számot a tubusemelkedés 1 beosztásnak megfelelő értékével megszorozzuk. Ha a frontlencse és a tárgy különböző mélységű pontja között azonos törésmutatójú közeg van, akkor az eredmény a mélységkülönbséggel azonos (65. rajz). Ez az eset, ha a tárgy levegőben van, vagy ha kanadabalszamba zárt, koronaüveg fedőlemezzel lefedett készítményt immerzióval vizsgálunk.

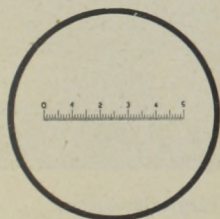


66. rajz. Vastagságmérés nem homogén közeg esetén.

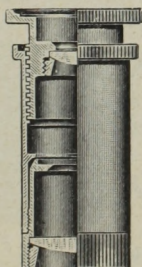
Minden más esetben ez a szorzat csak megközelítő eredményt ad (66. rajz). Ha súlyt helyezünk a pontosságára, akkor ennek a látszólagos vastagságnak az értékét meg kell szoroznunk egy korrigáló tényezővel. Ez az $\frac{n_2}{n_1}$ tört, melyben n_2 az elzáró anyag, n_1 pedig a

fedőlemez és frontlencse közti közeg törésmutatója. A fedőüveg planparallel lemez lévén, nem számít.⁴¹

Tegyük fel, hogy koronaüveg fedőlemezzel kanadabalsamba zárt készítményt szárazlencsével vizsgálunk. Miközben a beállításnál metszetünk felső felszínétől az alsóig haladtunk, a mikrométert két beosztással fordít



67. rajz. Az okulár-mikrométer beosztása.



68. rajz. Mikrométer okulár. A szemlencse ki- és becsavarható. Zeiss nyomán.

tottuk el. Minthogy mikrométerünk tárcsájának 1 beosztása a használati utasítás szerint 0'001 mm-nyi tubuszemelkedésnek felel meg, metszetünk látszólagos vastagsága $d = 2 \cdot 0'001$ mm. Az elzáró kanadabalsam törés

⁴¹ Szárazrendszernél a fedőlemez és a frontlencse közti közeg törésmutatója $n = 1$, azaz a valódi vastagságot úgy kapjuk meg, hogy a látszólagos vastagság értékét (d) megszorozzuk az elzáró anyag törésmutatójával (n_2).

$$D = d \cdot \frac{n_2}{n_1} = d \cdot \frac{n_2}{1} = d \cdot n_2.$$

Homogén immerziónál kanadabalsamba zárt készítmény esetén:

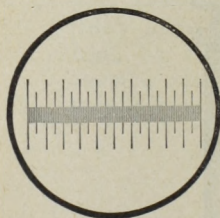
$$D = d \cdot \frac{n_2}{n_1} = d \cdot \frac{1.5}{1.5} = d,$$

azaz a valódi vastagság a látszólagossal azonos.

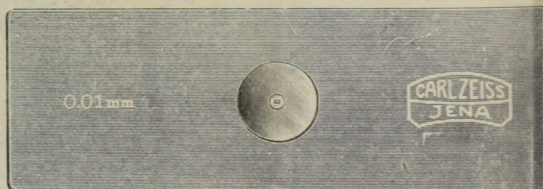
mutatója $n_2 = 1,5$, a fedőlemez és a frontlencse közötti levegő pedig $n_1 = 1$. A valódi vastagság tehát:

$$D = d \cdot \frac{n_2}{n_1} = 0,002 \cdot \frac{1,5}{1} = 0,003 \text{ mm.}$$

A hosszúságméréseket az okulár- és tárgymikrométer segítségével végezzük. Mindkettő



69. rajz. A tárgymikrométer beosztása.



70. rajz. Tárgymikrométer.

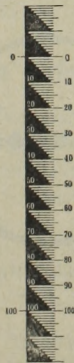
finom beosztással ellátott üveglemez. Ezek a mikrológus mérőlécei. A tárgymikrométert a tárgy helyére kell tenni a tárgyasztalra. Az okulármikrométer (67., 68. rajz) kerek üveglemez, amelyet a szemlencse lecsavarása után az okulár-diafragmára helyezünk. A tárgymikrométeren (69., 70. rajz) általában 1 mm-t 10 vagy 100 részre osztanak be, azaz egy beosztás 0,1, illetőleg 0,01 mm-nek felel meg. A beosztás finomságát feltűntetik rajta. Az okulármikrométeren 1 mm 10 részre van osztva.

Az egyszerű üvegbekarcolt mikrométerbeosztás sokszor nem eléggé feltűnő a mikroszkópban, ezért élénken szembeötlő beosztású ún. kontrasztmikrométerek is készítenek (71., 72. rajz).

Többféle mérési eljárás van. A legegyszerűbb eset az, midőn egészen kis nagyítás mellett kell valamely tárgy hosszát vagy szélességét lemérni. Ilyenkor a készítményt a tárgymikrométerre tesszük s a mikro-

szkóppal közvetlenül leolvassuk a méretét. Az egészen kis nagyítású objektívek mélysége vagy penetrációja ugyanis elég nagy ahhoz, hogy a készítményt is, meg a rá vagy alá helyezett mikrométerbeosztást is egyszerűen tudjuk élesen beállítani.

Nagy nagyítás mellett kényelmes módszer a következő. Valamely rajzolókészülékkel papírosra rajzoljuk a lemérendő tárgy képét. Azután a tárgy helyébe tesszük az $\frac{1}{100}$ mm-es tárgymikrométert és azonos beállítással lerajzoljuk a beosztásokat. Az így nyert lép-

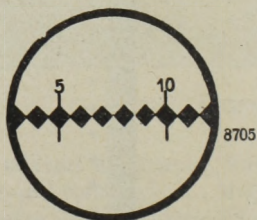


71. rajz. Lépcsőzetes mikrométer.
Zeiss nyomán.

téssel közvetlenül lemérhetjük a rajzon a tárgy részleteit. Ekkor megkapjuk a valódi méreteket. Ha pedig a beosztás rajzát összehasonlítjuk a milliméterbeosztású mérőléccel, azonnal megkapjuk a nagyítás fokát is. Ily módon szoktuk feltüntetni a rajzoknál is a nagyítás mértékét és a méreteket.

Az okulármikrométert a következőképpen használjuk. A szemlencse lecsavarása után az okulár diafragmájára

helyezzük s a szemlencsét visszacsavarjuk a foglalatba. (Minthogy a Huygens-féle okulárokat úgy készítik, hogy az objektív-rajzolta kép a diafragma síkjában keletkezzék, az ide helyezett beosztást a képpel együtt élesen látjuk. Készülnek különleges mikrométerokulárok is, amelyeknél az $\frac{1}{10}$ mm-es beosztás egyszer s mindenkorra a diafragmába van erősítve. Vannak olyan okulárok is, melyeknek felső lencséje külön, az okulár-foglalatban kibetolható foglalattal bír, melynek segítségével a szemlencse a diafragmára helyezett mikromé-



72. rajz. Kontraszmikrométer okulárhoz. Zeiss nyomán.

terbeosztásra külön pontosan beállítható.) Élesen beállítjuk a mikroszkópos képet és a mikrométerbeosztást, azután leolvassuk, hogy a megméréndő részlet a mikrométerbeosztás hány beosztását fedi. Most a készítmény helyébe tesszük a tárgymikrométert s megnézzük, hogy az előbb megállapított számú okulármikrométerbeosztás hány beosztásnak felel meg ezen. Minthogy a tárgymikrométer beosztásainak nagysága ismeretes, ezzel már meg is kaptuk a tárgy méreteit.

Úgy is eljárhatunk, hogy egyszerismindenkorra megállapítjuk, hogy egy bizonyos okulár mellett különböző objektíveinknél az okulármikrométer egy beosztása a

tárgymikrométer szerint hány mikront jelent. Ezt az értéket az objektívnek az illető okulárra vonatkoztatott mikrométerértékének (Mikrometerwert) nevezzük. Ha ilyen táblázatunk van, akkor az okulármikrométer beosztásainak számából, melyek a mérendő részletet éppen elfedik, megállapíthatjuk a tárgy méretét. Természetesen a táblázat készítésénél használt tubushosszúságot mindig be kell tartani. Az objektíveknek bizonyos okulárhoz tartozó mikrométerértékét az optikai gyárak közölni szokták katalógusaikban. De mi ezt a táblázatot bármely más okulárunkra nézve magunk is elkészíthetjük.

VI. Binokuláris és sztereo-mikroszkópok.

A binokuláris mikroszkópok újabban rendkívül elterjedtek és használatuk úgyszólván „divattá“ vált. Jelentőségükkel és működésükkel azonban még sok gyakorlott vizsgáló sincsen tisztában. Igen sokan pl. abban a tévedésben vannak, hogy a binokuláris és sztereo-mikroszkóp azonos. Pedig a binokuláris elnevezés magában véve csak annyit jelent, hogy az ilyen mikroszkópba egyszerre két szemmel lehet benézni. Ebből azonban még nem következik az, hogy az ilyen mikroszkóp egyszersmind sztereoszkópiás is. Tény az, hogy a binokuláris mikroszkópot meg lehet úgy is szerkeszteni, hogy térbeli képet adjon. De sok olyan is van forgalomban, mely két teljesen egyenlő, tehát végeredményben egészen közönséges képet ad és két szemlencsével csak a kényelmet szolgálja. Igaz, hogy már magábanvéve ennek is nagy jelentősége van. Mindenki meggyőződhet mikroszkóp nélkül is arról, hogy a monokuláris (egy szemmel való) nézés mindkét szemet jobban fárasztja, mintha mindkettőt használjuk. A mikroszkópba néző szemet kifárasztja a mikroszkóp, a másikat pedig az, hogy folyton hunyorgatni kell, vagy

ha nyitva tartjuk, állandóan azon kell erőlködni, hogy ennek a képét ignoráljuk. Mindez szellemi fáradságot, esetleg fejfájást is okoz. A megszokás és önuralom fokozza a munkaképességet, de természetesen nem javít a szemek helyzetén. Ezek szempontjából jobb volna, ha felváltva használnánk őket, amire szokták is figyelmeztetni a kezdőt, azonban többnyire eredmény nélkül, mert a legtöbben mégis csak az egyik szemüket gyakorolják be és csak ezzel tudnak a mikroszkópban élesen látni és finoman megfigyelni. Ennek az az egyik hátránya, hogy a folytonosan használt szem idővel romlik, a másik pedig az, hogyha ennek valami baja történik, akkor sokáig tart, míg a másikat nagynehezen be lehet gyakorolni. A binokuláris elrendezés tehát elsősorban a látószerv higiéniáját szolgálja. Kétségtelen azonban, hogy két szemmel nemcsak kényelmesebben, hanem többet is látunk és finom részleteket pontosabban tudunk szemügyre venni, még akkor is, ha nem térbeli tárgyat, hanem pl. valami finom rajzot nézünk.

A második kérdés a térbeli látásra vonatkozik. A sztereoszkópiás látás nagyon bonyolult és még nem is egészen tisztázott élettani jelenség. Igazi sztereoszkópiás látás csak két szemmel lehetséges. Igaz, hogy a tárgyak térbeli helyzetéről egy szemmel is tudunk tájékozódni. Ezt a szem különböző távolságba való beállításával (akkommodáció) valamint fejünk csekély elmozgatásával érjük el és nagyon támogatnak benne az egyéb úton szerzett tapasztalatok is. Az alkalmazkodást a monokuláris mikroszkópban a mikrométer használatával egészítjük ki, kisebb nagyításoknál pedig fejünk és szemünk szinte észrevétlenül finom mozgatásával is igyekszünk tájékozódni a részletek egymásmögötti térbeli elrendeződéséről. Ha két szemmel nézünk, akkor szemünk optikai tengelyét úgy irányítjuk a tárgyra, hogy a megfigyelt pontban messék

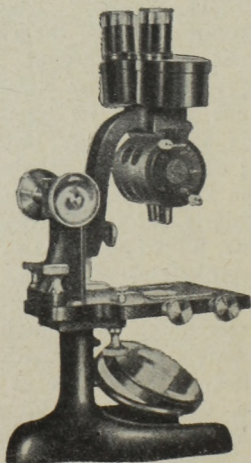
egymást. Ha a tárgy térbeli elrendezésű, akkor a részleteket kissé más oldalról és egymáshoz képest többé-kevésbé eltolódva látjuk az egyik szemmel, mint a másikkal (parallaxis). Máig sem tisztázott az a kérdés, hogy ez a két különböző kép, hogy egyesül lelkünkben egy közös plasztikus képpé?⁴² Eszerint a sztereoszkópiás mikroszkópot úgy kell megszerkeszteni, hogy két irányból nézzük vele a tárgyat. Ezt kétféleképpen lehet elérni. Legegyszerűbb az az eljárás, hogy két egyforma mikroszkópot állítunk be ugyanarra a tárgyra. A másik megoldás az, hogy egy tárgylencsét használunk az ennek két oldalsó felén áthaladó sugárnyalábokat széjjelválasztva két külön okulárhoz vezetjük. Ez a monobjektívbinokuláris sztereomikroszkóp.

Az előbb említett binobjektívbinokuláris rendszer adja a legtökéletesebb térbeli hatást. Az ilyen mikroszkópok mindkét csövébe Porro-féle képfordító prizmarendszert szerelnek: Greenough-féle mikroszkóp (1897). Ezeket különféle célra használható, szétszedhető és átalakítható állvánnyal készítik és így mikroszkópalatti preparálásra, ásványok és kőzetek vizsgálatára, növények növekedésének megfigyelésére, bőrmikro-

⁴² A térbeli látásra vonatkozó élettani vizsgálatok sok érdekes jelenséget derítettek ki az egyes emberek kétszemű látásának különbségeiről. Így pl. megállapították azt az érdekes tényt, hogy sokan, annak ellenére, hogy két jó szemük van, tulajdonképpen nem látnak sztereoszkópiásan. Különös jelenség az is, hogy sok ember nem tudja a sztereoszkóp két képét plasztikus képpé egyesíteni, még erőfeszítéssel sem. Viszont az is előfordul, hogy valakinek nincs tudomása arról, hogy az egyik szeme hibás, hanem ez csak véletlenül derül ki a szemészeti vizsgálatnál. Különös, hogy ezek soha sem érezték a sztereoszkópiás látás hiányát. Az ilyenek természetesen a legjobb sztereomikroszkóppal sem fognak jobban látni. Egyes gyárak (Spencer) binokuláris mikroszkópjaik mindkét szemlencséje alatt kis fényelzáró lemezt helyeznek el, amelynek elfordításával ellenőrizhetjük, hogy részt vesz-e mindkét szemünk a nézésében.

szkópnak, a szem szarúhártyájának vizsgálatára stb. lehet őket használni.

A Greenough-féle mikroszkóp (73. rajz) két csöve 14—16°-ban hajlik egymásfelé.⁴³ A tárgylencséket



73. rajz. Greenough-féle binobjektív—binokuláris mikroszkóp.

párosával szánkaszervezettel ellátott foglalatba erősítik, melyben kis csavarokkal pontosan be lehet őket állítani a közös tárgypontra. Újabban hengeres (Bausch & Lomb) vagy revolveres (Spencer) váltókészülékekkel könnyítik meg a lencsepárok munkaközben való gyors kicserélését. A szemek erős összetérése szubjektíve fokozza a sztereószkopiás hatást, de huzamos munka esetén fáraszt. Ezért a Spencer-gyár újabban azt a vál-

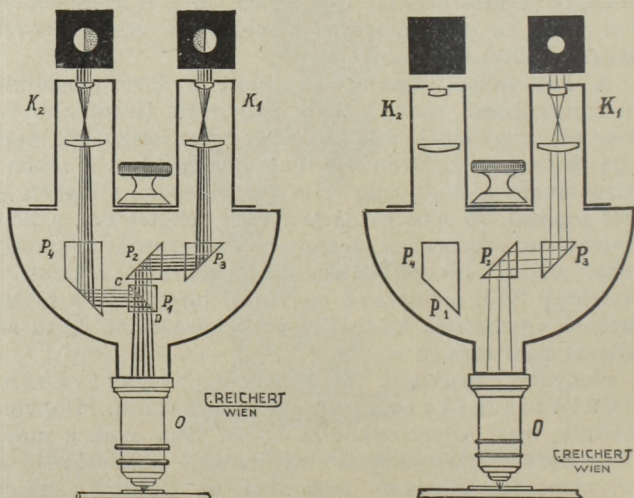
⁴³ 250 mm látótávolság és 60 mm pupillatávolság esetén a szemtengelyek konvergenciája 14°.

toztatást hozta be Greenough-féle mikroszkópjainál (Universal Binokular Type), hogy meghagyta az objektívek 16° -nyi összehajlását, de az okulárokát 8° -ra csökkentette. A Leitz-gyár még tovább ment. 1924 óta a Greenough-féle mikroszkóp olyan módosítását hozza forgalomba, melynél az objektívek konvergenciáját fokozta (a sztereohatás érdekében, 20°), a szemlencsét pedig a prizmaszerkezet megfelelő átalakításával teljesen párhuzamossá tette.

A két tubus összehajlása miatt a Greenough-féle mikroszkóphoz csak kisebb nagyítású (legfeljebb 10 x-es saj. nagyítású) tárgylencsét lehet használni, mert egy bizonyos határon túl annyira csökken a szabad tárgytávolság, hogy már nem fér el egymás mellett a két foglalat. 20 x-os okulárnagyítást feltételezve, a kétobjektíves rendszerrel legfeljebb 200-szoros nagyítást lehet elérni. Megpróbálták ugyan (EMICH ajánlatára Reichert 1913) a nagyobb nagyítású tárgylencsék foglalatának egymásfelé forduló részét leköszörölni, de ez az eljárás nem terjedt el.

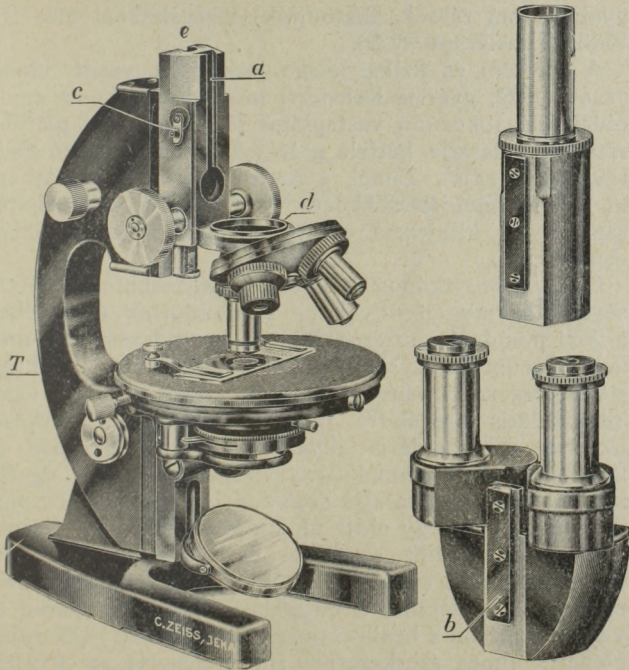
Nagyobb nagyítást csak monobjektívbinokuláris mikroszkóppal lehet elérni. Mint említettük, igazi sztereoszkópiás hatást csak azok a monobjektíves mikroszkópok nyújtanak, amelyeknél a tárgylencsén áthaladó sugarakat az említett „geometriai módszerrel” osztják ketté. A sugárnyalábot ugyanis „fizikai úton” is el lehet osztani, mégpedig úgy, hogy félig visszaverő és félig áteresztő ezüstréteggel teljes egészében elosztjuk a tárgylencsén áthaladó egész sugárnyalábot (JENTSCH 1913, gyártja Koristka, Bausch & Lomb, Leitz, Spencer, Zeiss stb.). Így a két szemlencse két teljesen egyenlő képet kap. A gyakorlat mégis azt mutatja, hogy némi térbeli hatás ezeknél a binokuláris mikroszkópoknál is jelentkezik. Ennek azonban valószínűleg nem annyira fizikai, mint inkább csak pszichikai alapja van. Lehetséges,

hogy ez a jelenség a kétszemű látás autószugesziós hatásán alapul, azaz az ember azt hiszi, hogy plasztikusan lát. De kétségtelen, hogyha a képet módunkban van két szemmel kényelmesen áttekinteni, akkor jobban is tájékozódunk rajta és pontosabban tudjuk szemügyre venni a részleteket is. Azonban valódi sztereo-



74. rajz. Fizikai sugárelosztás növekvő vastagságú tükörréteggel.
P) Prizmát az optikai tengelyből kimozdítva monokuláris sugárméretet kapnak.

szkópiás hatást is el lehet érni ezekkel a készülékekkel, ha az okulárokon elhelyezett félkörnyílású fényszekesztőkkel visszatartjuk az objektív tulsó feléről érkező sugarakat. Kis nagyításnál sztereoszkoپیás hatás jelentkezik akkor is, ha a két okulárt a kelleténél jobban közelítjük egymáshoz. Ezzel t. i. azt érzük el, hogy csak az oldalsó sugarak jutnak a szemünkbe. Leitz leg-



75. rajz.

újabbban (1924) belül helyezi el a féloldali sugarakat visszatartó fényrekesztőt, mégpedig csak az egyik oldalán, mert a gyakorlat azt mutatta, hogy ez is elég a sztereohatás létrehozásához.

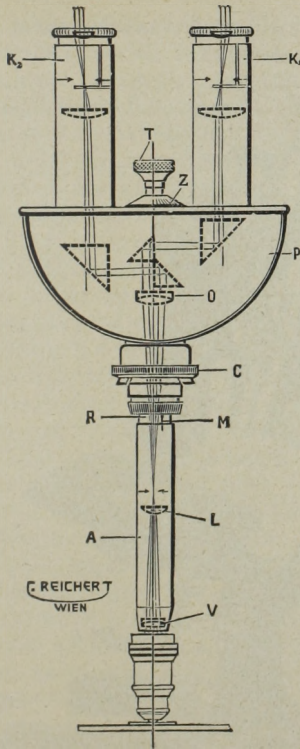
Akár mértani sugárelosztással, akár fényrekesztőkkel hozzuk létre a térbeli hatást, veszítünk a nyílásszögből, ami az $A b b$ -féle elmélet értelmében a feloldás csökkenésével jár. A hétköznapi gyakorlatban ezt nem lehet észrevenni, de nagyon finom szerkezetű tár-

gyak (finom rácsok, diatomeák) vizsgálatánál már fel-
tűnik (HEIMSTÄDT 1929).

A mértani és fizikai sugárelosztást egyesíti HEIM-
STÄDT (1929, gyártja Reichert) megoldása, aki az egyik
oldal felé fokozódó vastagságú félig áteresztő platina-
réteggel választja kétfelé a tárgylencséből érkező suga-
rakat (74. rajz). Ennél a rendszernél alig mutatható
ki valami feloldás-csökkenés, igaz hogy a sztereohatás
sem olyan kifejezett, mint a tisztán mértani sugár-
elosztásnál.

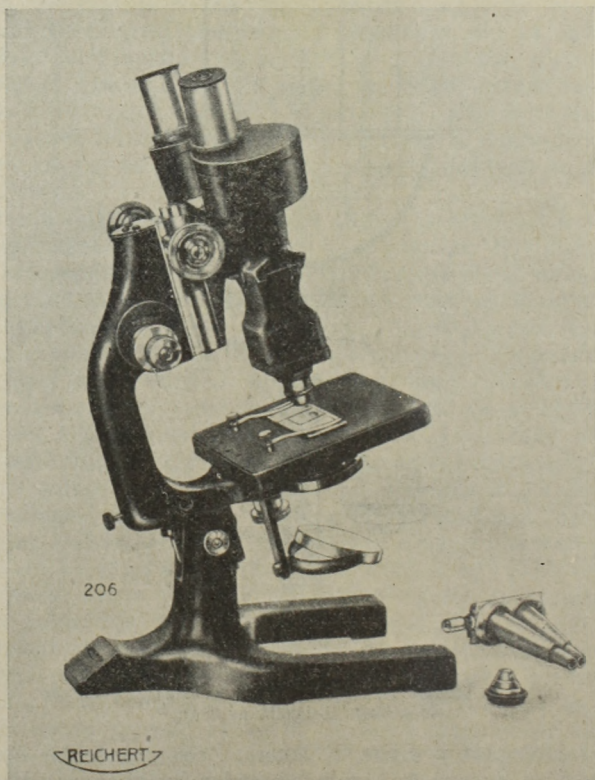
Ha a mikroszkópos feloldás legmagasabbfokú lehető-
ségeit akarjuk elérni, akkor a mondottak értelmében
le kell mondani a sztereoszkópiás berendezésről és meg-
kell elégedni az egyszerű nem sztereoszkópos binokulá-
ris rendszerrel, vagy még jobb áttérni a közönséges
monokuláris vizsgálatra. Evégből már úgy is szerkesz-
tik meg a binokuláris állványokat, hogy gyorsan át-
lehessen térni a monokuláris vizsgálatra, amire egyéb-
ként a mikrofotografálás szempontjából is szükség van.
A legtöbb gyár úgy oldja meg a kérdést, hogy kicserél-
hető tubust szállít a mono- és binokuláris nézésre.
(Újabban csak a cső felső, a prizmarendszert tartó
részét kell kicserélni, a tárgylencse a helyén marad és
a csere kapcsán a beállítás nem változik meg.) (75. rajz.)
Néhány elmés szerkezetnél (pl. Reichert) az átváltás
egy kézmozdulattal intézhető el úgy, hogy az egyik
prizmát kimozdítjuk a helyéből. A Spencer-féle bino-
kuláris mikroszkópokon (Combination Type) a prizma-
szerkezetet tartalmazó szekrényt el lehet oldalt tolni
egészen addig, míg az egyik okulár a tárgylencse fölé
kerül, miközben az ezen oldali prizma önműködőleg
kibillen az optikai tengelyből.

Viszont a közönséges mikroszkópot is át lehet alakí-
tani binokulárisrá. A binokuláris divatnak hódoló gyá-
rak binokuláris tubust és binokuláris okulárpótlékot
is szállítanak a monokuláris állványaikhoz (Stereoauf-



76. rajz. Okulár helyébe betoltható sztereopótlék sugár eloszlása. Reichert nyomán.

staz Hensoldt v. Leitz, Reichert, Zeiss; binocular eye-piece by Bausch & Lomb, binocular by Spencer). Ezeket be lehet dugni a közösleges monokuláris tubusba a szemlencse helyett. Minthogy ezáltal a mechanikai tubushossz megnyúlik, kiegyenlítő lencsét szerelnek a pótlékba. (76. rajz.)



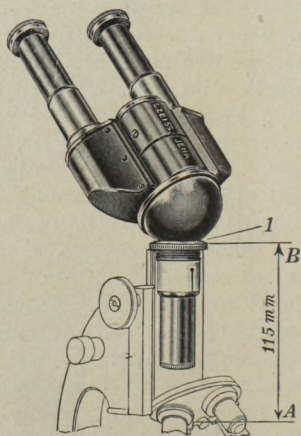
77. rajz. Reichert új Mak C polusú sztereo-mikroszkópja.

Külön kell megemlékeznünk a Reichert-gyár legújabb szerkezetéről (Mak C, Bräutigam 1929), amely az egy- és kétobjektíves rendszer egyesítése. A 73. rajzon látható Greenough-féle mikroszkópba nagy nagyításhoz az ikertárgylencse helyett fényelosztó prizmarendszert lehet betölteni, amellyel a mikroszkóp monobjektíves rendszerré alakul és egészen 900-szoros nagyításig használható. A fényelosztás mértani, ezért a perspektíva igen feltűnő. Ez a mikroszkóp a többi monobjektív-binokuláris készülékkel szemben nagy nagyítás esetén is egyenesállású képet ad. A többi gyárak közül egyedül Leitz hoz forgalomba egyenesállású képet adó monobjektív-binokuláris mikroszkópot (1924).

A binokuláris mikroszkóp két képének az éles beállítás alkalmával azonban egybe kell olnadni s amennyiben sztereoszkópos, azonnal és minden megerősítés nélkül be kell állani a sztereohatásnak is. Evégből, de szemünk érdekében is nagyon fontos, hogy a beállítás mindkét szemnek megfelelő legyen. Ezért mindenféle binokuláris műszerhez csak gondosan összeegyeztetett okulárpárokot lehet használni. A két szemlencse távolsága a jobb konstrukcióknál változtatható, hogy beállíthassuk őket a szemünk pupillatávolságára. Fontos, hogy legalább az egyik szemlencse külön legyen szabályozható, mert a két szem törőereje többnyire kissé különböző. Még nincs eldöntve az a kérdés, vajjon a szemek kényelme szempontjából a párhuzamos vagy pedig az összetérő szemlencsék előnyösebbek. A legtöbb monobjektív-binokuláris mikroszkópot Leitz nyomán párhuzamos okulárral készítik azon meggondolásból, hogy az a legkényelmesebb, ha a szemek tengelye párhuzamos, mint a végtelenbe való nézésnél. Mások (pl. HERBST 1925) ezt határozottan helytelennek tartják és amellet szállnak síkra, hogy a figyelmes nézésnél bizonyos konvergencia a fizioiogiás. Tudtommal jelenleg egyedül Spencer készíti a monobjektív-binokuláris

mikroszkópjaít ferde okulárokkal. Ezek egymással 8° szöget zárnak be, tehát összetérésük megállapításánál az volt a feltétel, hogy figyelmes vizsgálgatás közben a legtöbben 50 cm távolságban lokalizálják a képet és szemekkel erre a távolságra akkommodálnak és konvergálnak.

Sokan a kényelem érdekében vizsgálat közben hátra szokták hajlítani a mikroszkópot, amit azonban friss.



78. rajz. Ferde binokuláris toldalék. Zeiss nyomán.

nedves készítmény esetén nem lehet megtenni, mert esetleg az egész készítmény lefolyik, vagy legalább is a finomabb, szabadon úszó részecskék (pl. sötétlátóterű vizsgálatnál) vándorolni kezdenek. Erre az esetre való számítással újabban a binokuláris prizmaszekrényt ferde-re készítik (Leitz) és ferde binokuláris toldalékot is hoznak forgalomba (pl. Zeiss „Bitukni“). 78. rajz. Igen érdekes a Bausch & Lomb-cég legújabb binokuláris

állványa (DDE), amelynek a szemlencsési ferdék és az egész mikroszkóp eddig teljesen szokatlan módon úgy van felépítve, hogy a tárgyasztalt kell magunk felé fordítani.

A kezdő figyelmét felhívjuk néhány optikai csalódásra, amit a binokuláris mikroszkóp okozhat.

1. Ha a szemlencsétet túlságosan eltávolítjuk egymástól úgy, hogy a belső szélükön át nézünk a mikroszkópba, akkor fordított távlati hatás, az ún. pseudosztereoszkópiás tünetény mutatkozik. A valóságban magasabban fekvő részletek mélyebb helyzetben tűnnek fel és viszont, domború felületek homorúnak látszanak.

2. Egy síkban fekvő részek különböző magasságban tűnhetnek fel, ha különböző színűek. Ha pl. a binokuláris mikroszkóppal autokróm fényképezőlemez rétegét állítjuk be, melyben különböző színű szemcsék egy síkban vannak elosztva, akkor úgy tűnhetnek fel mintha a piros szemcsék a többi felett lebegnének (SCHÜRHOFF 1922). Ezt a színi pseudosztereoszkópiás jelenséget a szem színi hibája okozza (EINTHOVEN 1885, SIEDENTOPF 1924).

3. Homályos környezetben fekvő feltűnő részletek (pl. szövettani metszetek elektíven festett részletei) gyakran úgy tűnnek fel, mintha kissé kiemelkednének a környezetükből (SCHÜRHOFF 1922).

E csalóka jelenségek miatt előfordulhat, hogy egészen tévesen ítéljük meg a részletek egymáshoz való térbeli viszonyát. Megeshet pl., hogy sejtekben lévő szemcsék úgy tűnnek fel, mintha a sejt felszínén vagy a sejtten kívül volnának.

A tévedések elkerülése végett SIEDENTOPF azt ajánlja, hogy a helyes okulártávolságot autokrómlemez szemcséretegének beállításával határozzuk meg. Az éles beállítás után evégből addig kell mozgatni az okulárokat, míg az összes szemcsék egy síkban tűnnek fel. Ez a

szemünknek megfelelő helyes okulártávolság. Finomabb viszonyok vizsgálatakor ajánlatos a monokuláris tubussal is ellenőrizni a binokuláris leletet.

VII. Különleges világító készülékek.

A mikroszkópi optika fejlődésének újabb korszakában a tárgy megvilágításának szinte minden elképzelhető módját megpróbálták felhasználni avégből, hogy elősegítsék a finomabb szerkezet felkutatását. Erre a sokféle megvilágításra egész sereg különleges világító készüléket szerkesztettek, amelyeket legjobban úgy tekinthetünk át, ha a megvilágítás iránya és az alkalmazott fény minősége szerint csoportosítjuk őket.

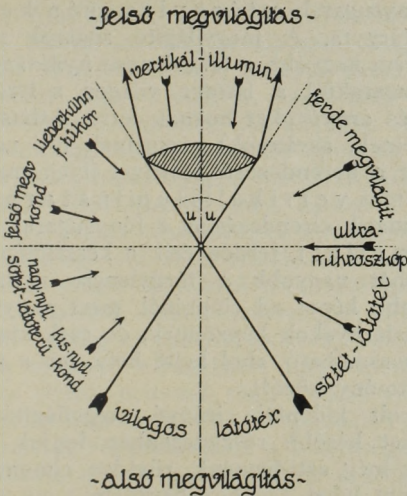
A) A megvilágítás fajai.

A megvilágítás iránya szerint a következő lehetőségek vannak (79. rajz):

A) Alsó megvilágítás.

a) Áteső fényben való vizsgálat. Természetesen csak átlátszó tárgyakat lehet így vizsgálni. A fénysugarakat a mikroszkóp optikai tengelye irányában, vagy kissé ferdén — de a tárgylencse nyílásánál semmi esetre sem nagyobb szögben — vetjük a készítményre. Az ezen áthaladó sugarak a tárgylencsén keresztül a képbe jutnak, aminek eredménye világos látómező lesz. A biológiai vizsgálatokban ezt a megvilágítást használják leginkább, mégpedig többnyire közönséges fehér fényvel. Ezért ismertettük már a mikroszkóp leírásánál az erre alkalmas világító szerkezeteket.

b) Sötétlátóterű vizsgálat. Ha olyan ferde sugarakat vetítünk alulról a készítményre, melyeknek nyílásszöge nagyobb a tárgylencse nyílásánál, akkor a készítményen eltérés nélkül áthaladó sugarak nem jutnak be a tárgylencsébe, aminek következtében a látó-



79. Különböző irányú megvilágítások.

tér jóformán teljesen sötét marad. A készítményben a különböző fénytörésű részeket mégis meglátjuk, mert ezeknek a határán a fény elhajlik s az elhajló sugarak egy része a tárgylencsébe kerül. A végeredmény az, hogy sötét alapon csillogó határvonalak rajza tűnik fel. Kellő erős megvilágítás mellett olyan apró részecskék is felcsillanhatnak, amelyek nagysága a rendes megvilágítás mellett mélyen a mikroszkópos láthatóság alsó határa alatt van: *ultramikroszkóp*. Ugyanez a jelenség áll elő akkor is, ha a

B) *megvilágítás teljesen oldalról történik*. Ezt az elrendezést használják a Siedentopf-Zsigmondy-féle *ultramikroszkópban*.

C) *Felső megvilágítás*. Akár az alsónál, itt is két eset lehetséges:

a) A fénysugarak a tárgylencsén keresztül jutnak a tárgyra. A megvilágító sugarak nyílásszöge ilyenkor nem nagyobb a tárgylencse nyílásánál. A visszavert sugaraktól a látótér világos, a ferde sugarak csillogást és árnyékokat hoznak létre. Átlátszatlan tárgyakat (fémek, ásványok) vizsgálunk így nagy nagyítással. Azt a berendezést, amellyel ilyen megvilágítást lehet létesíteni, vertikáliluminátorok hívják.

b) Egy másik elrendezésnél a fénysugarak a tárgylencse mellett, ferdén érik a készítményt, beesési szögük tehát nagyobb a tárgylencse nyílásánál. Ez plasztikusabb képet ad előbbinél, mert nagyobb és sötétebb oldalárnyékok képződnek, de csak kisebb nagyításoknál használható, ahol kellő hely van a tárgylencse és a készítmény között.

A felsorolt különféle irányú megvilágításokra való készülékeket később részletesebben fogjuk ismertetni, de mielőtt még ezt tennénk, röviden elmondjuk, hogy milyen fényt lehet ezekhez használni.

A készítmény megvilágítására, bármely irányban történjék is az, a következő sugárféleségeket lehet alkalmazni: közönséges fehér fény, színes fény (esetleg egy színű „monokromatikus“) ibolyántúli sugarak, sarkított fény.

A színes fénynek igen nagy jelentősége van a mikroszkópi vizsgálatokban. Ma már nemcsak különleges vizsgálatokhoz használják, hanem a modern vizsgáló már rendszeresen azzal dolgozik. Teljesen túlháldott álláspont már az, amit régebben annyira hangsúlyoztak, hogy t. i. legjobb fehér, nappali fényvel dolgozni és ha már elkerülhetetlen a mesterséges világítás, akkor mindenáron arra kell törekedni, hogy gondosan utánozzuk a „fehér felhőről visszavert“ napfényt. Ma már nappal is úgyszólván mindig lámpafénynél mikroszkópizálunk és a fényt esetenként úgy változtatjuk meg, hogy a céljainknak leginkább megfelelő

ellentéteket nyerjük. A színes fény alkalmazása azon a fénytani törvényszerűsége alapszik, hogy minden anyag olyan színűnek látszik, amilyen színű fénysugarakat átbocsát vagy visszaver, mert ezek a sugarak érkeznek felőle a szemünkbe. Az anyagok színét nemcsak a színes sugarakkal szemben mutatott fénytárbocsátó ill. visszaverőkéességük befolyásolásával (azaz megfestéssel) változtathatjuk meg, hanem a megvilágítás színével is. Színes készítmények színes fényben való vizsgálatával még jobban uralkodhatunk ezeken a viszonyokon. A színes fényszűrő megfelelő megválasztásával egyes részletek színét feltűnőbbé tudjuk tenni, más színeket pedig el tudunk nyomni, tehát módunkban van a meglevő ellentéteket nagy mértékben fokozni. Ez az eljárás nemcsak régi, kifakult vagy rosszul sikerült festésű készítményeink feltámasztását jelenti, hanem új részletek felfedezésének a lehetőségét is. Bizonyos esetekben, mikor szó sem lehet a tárgy megfestéséről, nélkülözhetetlen. Így pl. az élő kapillárisok vizsgálatában, ahol a zöldes fény kitűnően kiemeli a különben alig látható, halványpiros ereket (különböző festésekhez való színszűrőket l. PETERSEN 1924). De nemcsak a vizuális viszonyok, hanem a mikrofotográfiában is nagy jelentősége van a színes fénynek. Gondos fényképezők a végleges felvétel előtt próbafelvételekkel, vagy esetleg mikrospektroszkóppal meg szokták állapítani, hogy milyen összetételű fényvel lehet kihozni a legkedvezőbb ellentéteket.

Az i b o l y á n t ú l i s u g a r a k alkalmazása a mikroszkópiában nagyon sokoldalú. Legelső ajánlójuk, KÖHLER (1904) abból indult ki, hogy a lencsék feloldóképessége az Abbe-féle képlet értelmében a fény hullámhosszúságának csökkenésével jelentékenyen növekedik. Amint az ultraibolya berendezéseket használni kezdték, kiderült, hogy nemcsak a feloldás növelése által mutatkoznak újabb részletek,

hanem azáltal is, hogy a különböző anyagok különbözőképpen viselkednek az ultraibolya fényben. Így pl. különböző mértékben bocsátják át az ibolyántúli sugarakat, ami lehetővé teszi olyan anyagok mikroszkópos elkülönítését, amelyeket egyenlő törésmutatójuk és színük miatt a közönséges fényben nem lehetett felismerni. Igen sok anyagot pedig arról lehet felismerni az ibolyántúli fényben, hogy fluoreszkálnak, mégpedig különböző színekben (fluoreszcencia-mikroszkóp). Az ibolyántúli sugarakkal való vizsgálat részleteire nem térhetünk ki, csak néhány olyan megjegyzésre szorítkozunk, melyek fogalmat adhatnak e vizsgálatok természetéről és azokról a technikai nehézségekről, melyekkel a berendezések szerkesztőjének meg kellett küzdeni. Az első feladat az ibolyántúli sugarak keltése volt, mert a közönséges fényforrások csak kevés ibolyántúli sugarat bocsátanak ki. Tehát különleges fényforrásokat kellett alkalmazni. Régebben (KÖHLER 1904) magnézium vagy kadmium-elektrodok között átugró villamos szikrák (hullámhossz 280, ill. 270 μ), vagy Siemens-féle vas-, vagy nikkel-sókkal átitatott szénrudak közt létrehozott ívfényt használtak erre a célra. Újabban higanygőzlámpással dolgoznak („kvarclámpás“), amelynek fényét kiterjedten használják a gyógyításban és a kozmetikában. A fényforrás látható sugarait különleges ultraviolet-sűrőkkel tartják vissza, vagy spektroszkópiás úton, ú. n. „monokromátorral“ választják el az ibolyántúli sugaraktól. Egy másik nehézség abban áll, hogy az üveg nem bocsátja át az ibolyántúli sugarakat, sőt némelyik üvegfajta még zavaróan fluoreszkál is tőlük. Ezért az összes törőközegeket, amelyeken az ibolyántúli sugaraknak át kell haladni (kondenzor, tárgylemez, fedőlemez, mikroszkóplencsék stb.), kvarcból kell készíteni. Erre a célra olvasztott kvarcot használnak, mert ez olcsóbb mint a természete-

tes és könnyen előállítható nagy darabokban is. A természetes kvarc kettőtörése miatt sem alkalmas. Különleges nehézséget okoz, hogy az ibolyántúli képet nem lehet látni. Ezért az egész beállítás számítások alapján történik, amit esetleg fluoreszkáló ernyővel lehet ellenőrizni. A képet fényképezéssel rögzítik. Edigi optikai ismereteink után szinte felesleges mondani, hogy az összes lencsehibákat a használt ibolyántúli sugár hullámhosszára kell javítani (v. Rohr-féle kvarc-monokromátok).

Fluoreszcencia-mikroszkópos vizsgálatokhoz „uviolüveg”-tárgylemez is megfelel, mely sok ibolyántúli sugarat bocsát át. Itt az ibolyántúli sugarakra csak addig van szükség, míg a készítményig jutva látható sugarakká alakulnak át. Továbbhaladásuk szűkségtelen, sőt káros, mert fluoreszcenciát keltenek a lencsékben (különösen, ha folyópátlencse van köztük) és szemünkben, ami zavaró, sárgászöld homályt okoz a képben. Ezért a készítményt ibolyántúli sugarakat elnyelő „euphosüveg”-fedőlemezzel kell lefedni.

Sarkított fényt is lehet mindenféle irányú megvilágításra használni. A sarkított fény tulajdonságait és a mikroszkópiában való gyakorlati alkalmazását külön fejezetben ismertetjük.

B) Ferde megvilágítás, sötét látótér, ultramikroszkóp.

A sötétlátóterű vizsgálat tulajdonképpen fénytani fogság, amellyel a tárgy részletei között lévő nagyon csekély fénytörésbeli különbségeket feltűnővé tudjuk tenni.⁴⁴ Ezért főként olyan készítmények vizsgálatánál

⁴⁴ Már említettük, hogy az áteső fényvel megvilágított látótérben azért tűnnek fel a tárgy részletei, mert vagy a fénytörésük, vagy a fényátbocsátó képességük (színük),

látjuk nagy hasznát, melyek részletei között alig vannak fénytörésbeli különbségek és amelyeket nem lehet a különbségek fokozása érdekében preparálni. Tehát főleg az élő szövetek, sejtek, baktériumok és más mikroorganizmusok vizsgálatában van jelentősége. A sötétlátóterű világítást már a múlt század közepe óta ismerik, de régen jóformán csak szórakozásból foglalkoztak vele. Nagy jelentőségre azóta tett szert, mióta (SIEDENTOPF ajánlatára, 1907) a szifilisz kórokozójának, a Schaudinn—Hoffmann-féle *Spirochaeta pallidának* a friss nedvekben való kimutatására használják. Ettől kezdve nagyon elterjedt a bakteriológiai vizsgálatokban és ujabban bevonult a mikroszkópos boncolás (mikrodiszszekcio) területére is.

A közönséges átvilágításnál is észre lehet venni, hogy fokozódnak a törésbeli különbségek, ha szűkítjük a fényrekesztőt, vagy lecsavarjuk a kondenzort és különösen akkor, ha ferdítjük az átvilágító sugarakat. Minél ferdebb fényel dolgozunk, annál kevesebb olyan sugár kerül a tárgylencsébe, mely változatlanul haladt át a készítményen és ezért jobban érvényesülnek azok, melyek a különböző fénytörésű részletek határfelületén eltértek. A fény további fokozatos ferdítése kapcsán végül az egyenesen áthaladó sugarak már mind a tárgylencse mellett haladnak tovább a képbe már csak az elhajló sugarak kerülnek: a látótér elsötétül és csillogni kezdenek a körvonalak. Ez a csillogás a ferde fény erős-

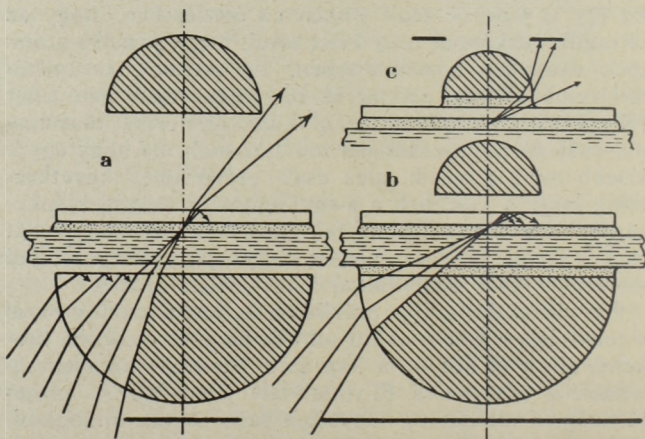
vagy mindkét tulajdonságuk között különbség van. Ha ez a különbség hiányzik vagy csekély, akkor megpróbáljuk mesterségesen létrehozni vagy fokozni. Evégből vagy a készítményt preparáljuk vagy pedig fénytani úton próbáljuk észrevehetővé tenni a rejtett különbségeket. (A törésmutatót különböző anyagokkal való átitatással, a fényelnyelő képességet pedig festéssel lehet megváltoztatni.) A második módszer abban áll, hogy a megvilágítás irányát vagy minőségét változtatjuk.

ségének növelésével nagyon fokozható s ennek kapcsán olyan apró részletek is felcsillannak a sötét látótérben, melyek nagysága a mikroszkópos látás alsó határa alatt van: a berendezés ultramikroszkóppá vált. Minél erősebb a ferde megvilágítás, annál apróbb szemcsék tűnnek fel. Azt gondolhatná valaki, hogy ezzel megváltozott a mikroszkópos láthatóság határa. Ez így is van, de csak abban az értelemben, hogy az ultramikroszkóppal meg lehet látni, hogy parányi szemcsék vannak a készítményben, de ezeknek az „ultramikronoknak“ az alakját és nagyságát már nem lehet felismerni; akármilyen az alakjuk, egyforma tűszúrásnyi csillogó pontocskáknak mutatkoznak. És hogy egyik kisebb mint a másik, arra csak abból lehet következtetni, hogy a kisebbek a megvilágítás erősségének fokozásával később csillannak fel. Az ultramikroszkóp tehát csak a szemcsék viszonylagos nagyságát mutatja, valódi méretüket csak számítással lehet meghatározni.

Az ultramikroszkóp működése teljesen azonos azzal a jelenséggel, amely akkor áll elő, ha sötét szobába keskeny résen át süt be a nap és a napsugárban megcsillannak a porszemek (Tyndall-féle jelenség). A lebegő porszemek alakját és nagyságát nem látjuk, csillogásuk csak a jelenlétüket árulja el. Az ultramikroszkópos elrendezés nem fokozza a feloldást. Ha a részecskék egymástól való távolsága kisebb, mint a mikroszkóp ferde sugarakra vonatkozó feloldása (azaz egymáshoz kb. 0.2μ -nál közelebb vannak), akkor csillogó pontjaik egybeolvadnak.

Sötétlátóterű világitást a legegyszerűbben úgy lehet létrehozni, hogy az Abbe-féle kondenzoron át az egyik oldalról ferde sugarakat vetítünk a készítményre (80. rajz). Természetesen avégből, hogy ennél a „ferde megvilágításnál“ a látótér sötét legyen, vissza kell tartani mindazon sugarakat, melyek kisebb szögben hagynák el a tárgyat, mint az objektív fél nyílás-

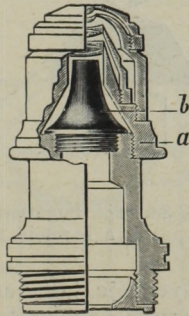
szöge és így bejutnának a tárgylencsébe. Evégből a mérsékelten megszükitett íriszt oldalt félre kell tölteni az optikai tengelyből. Minél nagyobb nagyítással dolgozunk, annál ferdebb sugarakra van szükség, mert növekszik a tárgylencsék nyílásszöge. A vázolt elrendezéssel csak akkor lehet 41° -nál ferdebb sugarakat veti-



80. rajz. Sötétlátóterű megvilágítás az Abbe-féle kondenzorral. a) Kis nagyításhoz elég kis központi fényrekesztő kondenzorimmerzió nélkül; b) erős szárazlencséhez nagy központi fényrekesztő és kondenzorimmerzió kell; c) immerziós tárgylencséhez igen ferde sugarakra van szükség, melyek közül egyesek bejutnak az objektívbe. Ezeket objektív-diafragmával kell visszatartani.

teni a tárgyra, ha a kondenzor frontlencséjét immerziós olajjal kötjük össze a tárgylemez alsó felszínével (80. rajz, b), mert különben a ferdebb sugarak teljesen visszaverődnek a kondenzorfrontlencse felső felszínéről. 41° ugyanis a koronaüveg levegőre vonatkoztatott teljesvisszaverődési határszöge. Evvel a kon-

denzor-immersiósval olyan ferde sugarakat lehet előállítani, amelyet csak megenged a kondenzor nyílásszöge. Ezek a totális reflexió határszögénél ferdebb sugarak visszaverődnek a fedőlemez felső felszínéről, tehát a legnagyobb nyílású száraz lencsékbe sem jut belőlük semmi.⁴⁵ Immersiós objektív esetén azonban



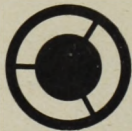
81. rajz. Tölcséres fényrekesztő.

elmarad a teljes visszaverődés és a tárgylencsébe jutó ferde sugarak megvilágosítják a látóteret. Ezért az immersiós tárgylencsék nyílásszögét meg kell kisebbiteni a széli részek lefedésével (tölcséres fényrekesztővel, melyet belülről kell becsavarni a lencse foglatába, 81. rajz).

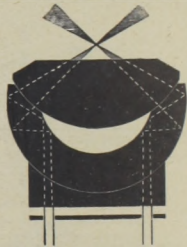
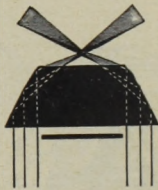
Ezt a most ismertetett elrendezést több okból már nemigen használják, hanem a sötétlátóterű vizsgálatra különleges kondenzorokat szerkesztettek. Az egyik hiba az, hogy az ily módon való egyoldali megvilágítás

⁴⁵ Régen azt hitték, hogy ezek a visszavert fénysugarak hozzák létre a csillogó képet, mint a felső megvilágításnál.

nagyon fényzegény. Ezen ugyan könnyen lehetett segíteni a fényforrás erősítésével (ívfény), vagy úgy, hogy a közönséges kondenzor alatt ú. n. központi fényrekesztőt helyeztek el (82. rajz), miáltal a megvilágítás körkörössé vált.⁴⁶ Ennek az elrendezésnek még mindig



82. rajz. Központi fényrekesztő Abbe-féle kondenzorhoz sötétlátóterű megvilágítás céljára.

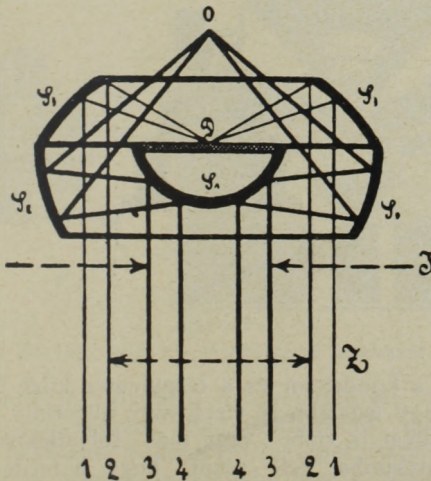


83. rajz. Sugármenet a paraboloid a) és a kardioid b) kondenzorban.

megvan az a nagy gyengéje, hogy az Abbe-féle kondenzor nem gyűjti össze a nagyon ferde sugarakat egy pontban s ezért nagynyílású tárgylencsék esetén nem teljesen sötét a látóter. Nagyaperturájú aplanatikus és akromatikus kondenzort kellene használni, de ezek nagyon drágák ahhoz képest, hogy meglehetősen fényzegények, ha csak a széli övüket használjuk a megvilágításra. Célszerűbb tehát különleges sötétlátóterű kondenzorokat használni.

⁴⁶ Nagy nagyítású száraz lencsékkel használható jó sötét látóterű megvilágítást nyerünk, ha a Zeiss-féle 1.4-es aperturájú Abbe-féle kondenzor íriszére 24 mm átmérőjű központi fényrekesztőt helyezünk. Régebben különböző átmérőjű központi fényrekesztőket adtak a mikroszkópokhoz avégből, hogy a ferde sugarak nyílását hozzá lehessen igazítani a különböző nyílású objektívekhez. Később íriszrendszertű központi fényrekesztőket hoztak forgalomba.

Sötétlátóterű kondenzort már a múlt század közepe óta (Ross) többen szerkesztettek (I. SIEDENTOPF 1907), a tökéletes megoldás azonban csak azóta sikerült, mióta felismerték a sötétlátóterű megvilágítás lényegét. Ez is ABBE érdeme, mert összefügg a mikroszkópos kép keletkezésének elméletével és a nyílásszög jelentőségére vonatkozó vizsgálataival. A mellékelt vázlatos rajzokon (83., 84., 85. rajz) bemutatjuk néhány forgalomban lévő

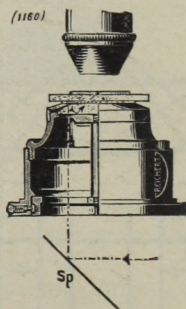


84. rajz. Sugármenet a Zeiss-féle tükörkondenzorban.

sötétlátóterű kondenzor sugármenetét. A rajzokon látható, hogy ezek mind tükrözés (totálreflexió) és nem fénytörés útján működnek, amiből az következik, hogy színi hibáik nincsenek. Ezért nevezik őket tükörkondenzoroknak. Megszerkesztésüknél minél ferdebb sugárakat és minél pontosabb sugáregyesítést igyekeznek elérni. A pontszerű sugármetszés érdekében csak a

monokromatikus eltérések kiküszöbölésére kell ügyelni, amit a tükröző felszínnek görbületének megválasztásával érnek el (paraboloid, kardiodoid stb.).

A sötétlátóterű kondenzorok általában (kivéve a mikrodiszszekciónál használt magas metszéspontú kondenzorokat) igen ferde sugarakat vetnek a tárgyra, aminek két gyakorlati következménye van. Az egyik

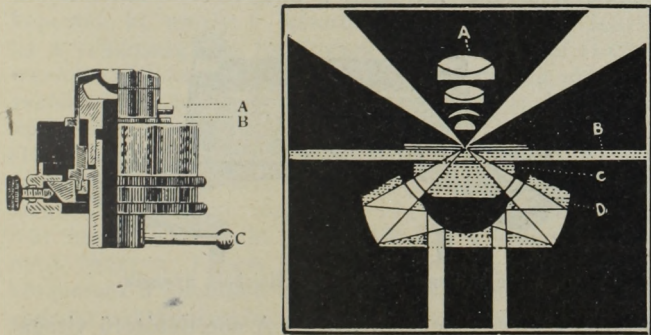


85. rajz.

az, hogy a kondenzor és a tárgylemez közé immerziós olajat (vagy legalább is vizet vagy glicerint) kell tenni és a tárgyat is vízbe vagy más folyadékba, esetleg kanadabalzsamba kell zárni, hogy a ferde sugarak totálreflexióját a tárgy előtt elkerüljük. A másik, ami a sugarak nagy ferdeségéből következik, az, hogy a kondenzor felszínéhez igen közel találkoznak. Ezért vékony tárgylemezt kell használni. (A kondenzorhoz használandó tárgylemez vastagságát a gyárak előírják.) Újabban olyan kondenzort is hoznak forgalomba, (pl. Beck's focussing dark-ground illuminator), ahol az egyik rész elmozdításával meg lehet változtatni a sugarak metszéspontjának magasságát. (86. rajz.)

Az újabb tükorkondenzorok olyan kis területre gyűjtik a sugarakat, hogy csak akkor használhatók, ha pontosan beállítjuk őket a mikroszkóp optikai tengelyébe. Evégből a finomabb tükorkondenzorokat központosító foglalatba kell tenni. A központosítást a tükorkondenzor felszínébe karcolt kör teszi lehetővé.

Említettük, hogy a nagy aperturájú immerziós tárgy-



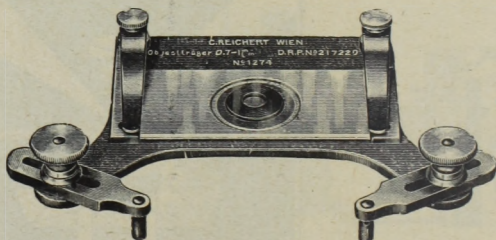
86. rajz. Beck-féle sötéltátóterű kondenzor.

lencsék nyílását tölcseres fényrekesztővel mesterségesen kell csökkenteni, ha sötéltátóterű kondenzorral akarjuk használni. Különleges kis aperturájú immerziós lencséket is hoznak forgalomba erre a célra. Mindkét megoldás a feloldóképesség rovására megy. Újabban már olyan nagynyílású (egészen num. ap. = 1.50-ig) sötéltátóterű kondenzorokat hoznak forgalomba, hogy az immerziós lencsék nyílását sem kell csökkenteni.

Ami a mikroszkóp lencséit illeti, meg kell még jegeznünk, hogy célszerű apokromátobjektíveket (vagy legalább is jó szemiapokromátot) és kompenzációs okulárt használni, mert a sötéltátóterű vizsgálatokban nagyon feltűnnek a lencsehibák. A színi hibák teljes

kiküszöbölése szempontjából nagyon finom vizsgáláshoz egyszínű fényt (pl. zöldet) kell használni.

A sötétlátóterű kondenzorok foglalata általában olyan, hogy a közönséges kondenzor helyébe lehet tenni. Bizonyos esetekben előnyös, ha a készítményt közvetlenül a kondenzorra tehetjük. Erre a célra ú. n. lemez kondenzorokat hoznak forgalomba (Koristka, Reichert), melyeket a tárgyasztalra lehet tenni,



87. rajz. Lemez kondenzor. Reichert nyomán.

mint egy tárgylemezt. (87. rajz.) A sötétlátóterű vizsgálatok megkönnyítésére olyan kondenzorokat is szerkesztettek, melyet gyorsan át lehet alakítani sötét- vagy világoslátóterű vizsgálatra: váltókondenzor.

Újabban megpróbálták az alsó és felső megvilágítású sötétlátóterű kondenzort egyesíteni (NACHET) ami kitűnő eredményt adott finom kolloidok vizsgálatánál. Megemlítjük még, hogy a sötétlátóterű berendezést kidolgozták ultraviola és fluoreszcencia vizsgálatokra is. Magától értetődik, hogy ehhez a tükörkondenzort kvarcból kellett készíteni.

C) Felső megvilágítás.

Ha valami apró dolgot nagyítóval akarunk megvizsgálni, akkor először egyszerű szobavilágításnál nézegetjük, azután ideodaforgatva különböző fényhatásokban

próbáljuk tanulmányozni és jóformán utóljára jut eszünkbe, hogy átvilágítsuk. Ugyanezt a sorrendet mutatja a történeti fejlődés is. Az első mikroszkópokat közönséges megvilágítással használták. Kis nagyítással egyszerű szobavilágításban nézegették a tárgyat, nagyobb nagyításnál pedig homorú tükörrel, vagy gyűjtőlencsével igyekeztek jobban megvilágítani. Egészen nagy nagyítás esetén a lencsefoglalatot homorú tükörnek képezték ki, amely a készítményre vetítette a fényt, ha a világosság felé fordították a mikroszkópot (LEEUWENHOEK, LIEBERKÜHN, 212. old.). Valószínűleg eközben vették észre, hogy egyik-másik tárgy belsejébe is be lehet látni a nagyítóval. FONTANA (1685), majd BONNANI (1691) készített először olyan mikroszkópot, amelyet átvilágító fényvel kellett használni. A belső szerkezet megismerése utáni ösztönös vágy miatt csakhamar már nem elégítette ki az érdeklődést a felületi viszonyok ismerete, hanem mindent elkövettek, hogy kifürkészessék a finomabb belső szerkezetet is. A vizsgálati anyagot szétbontották, később vékony szeletekre metszték, vagy ha kemény volt, akkor vékony lemezt csiszoltak belőle. Ilyen vékony rétegben sok anyag átetsző és ha átvilágítjuk, a belsejét is meg lehet nézni a nagyítóval. Mivel különösen az élő szervezetek viselkednek így, ezért a biológia terén nagyon elterjedt az áteső fényben való vizsgálat, a ráeső fényben való mikroszkopizálás pedig teljesen háttérbe szorult. A fém, ásvány- és kőzettani vizsgálatokban azonban megtartotta uralkodó szerepét, mert ezek tárgya többnyire még nagyon vékony rétegben is átlátszatlan. A fémek és kőzetek egyik oldalát síkra és teljesen simára csiszolják és ezt a felszínt vizsgálják felső megvilágításban. Az anyag szerkezetének kiderítése végett maratni is szokták ezt a felszínt különböző vegyszerekkel, melyek hatását megfigyelik a mikroszkóppal. A textil, papiros és egyéb ipari anyagvizsgálatokban, élelmisze-

rek, drogok stb. vizsgálatában is fontos szerepe van a felső megvilágításnak. Ezekkel a vizsgálatokkal kapcsolatban nagy tökéletességre fejlesztették a felső megvilágítás technikáját, úgy, hogy mikor újabban a biológiai vizsgálatokba ismét bevezették a felső megvilágítást, már igen tökéletes műszerek állottak rendelkezésre. Újabban ugyanis szinte újonnan fedezték fel a felső megvilágítás nagy értékét a biológiai vizsgálatokban s manapság már nemcsak csont, fogzománc, kagylóhéj csiszolatát, rovarok, levelek stb. felszínét vizsgáljuk így, hanem élő szöveteket is. Így szerepe jutott a felső megvilágításnak az orvosi vizsgálatokban is. A h a j s z á l é r m i k r o s z k ó p p a l meg lehet vizsgálni a vérkeringést az ember bőrében, a r é s l á m p á s m i k r o s z k ó p p a l pedig sohasem sejtett finom részleteket és jelenségeket figyelhetünk meg az élő ember szemének belsejében.

A felső megvilágítás különböző lehetőségeit a megvilágítás iránya és minősége szerint csoportosíthatjuk.

Felső megvilágításra közönséges fehér, vagy színes fényt, ibolyántúli sugarakat, néha sarkított fényt használnak. A biológiai és ipari anyagvizsgálatokat többnyire közönséges fehérfényű felső megvilágítással szokták végezni, színes dolgoknál azonban érdekes eredményt adhat a színes megvilágítás is. Ibolyántúli sugarak felülről való alkalmazásánál főként azt a sajátosságukat használják fel, hogy bizonyos anyagokban fluoreszcenciát keltenek. Az ultraibolya sugarakkal elárasztott látótér általában sötét és csak a különböző színekben felvillanó anyagok tűnnek fel benne. A jellegzetes fluoreszcenciás szín alapján pl. ki lehet mutatni a hamisítás céljából bekevert szennyeződések vegyszerekben, gyógyszerekben stb. Törvényszéki vizsgálatok legkülönbözőbb területein, sőt még a bélyeggyűjtésben is hasznát látták már. A polarizált fényben való vizsgálatoknak különösen az ásvány- és kőzettanban

van nagy jelentősége, de alkalmazzák a fém- és egyéb ipari anyagvizsgálatokban, sőt legújabbán a biológiában is.

Írányát tekintve a felső megvilágítás lehet merőleges és ferde, továbbá megvilágíthatjuk a tárgyat egész felületén egyenletesen, körkörösén, vagy egyoldalról, de vethetünk rá felülről vagy oldalról egészen keskeny

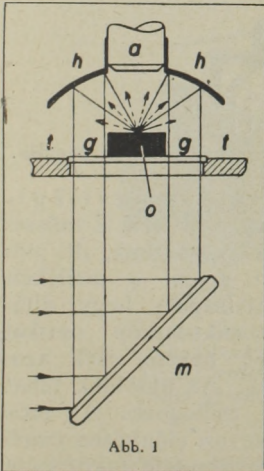


Abb. 1

88. rajz. Lieberkühn-féle tükör, Busch nyomán.

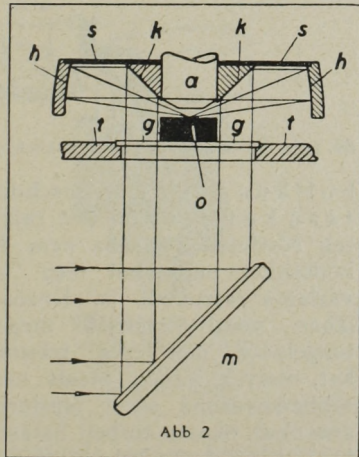


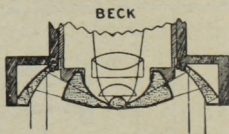
Abb 2

89. rajz. Hauser-féle felső megvilágítású kondenzor. Busch nyomán.

sugárnyalábot is. Egészen kis nagyításnál néha megfelel a nappali szobavilágítás, vagy a közelbe állított lámpás fénye is, erősebb nagyításnál azonban tükörrel vagy lencsével kell fényt vetíteni a tárgyra. A készítményt kétféle módon világíthatjuk meg felülről. Kisebb és középnagy nagyításoknál a tárgylencse mellett, azaz többé-kevésbé ferdén lehet megfelelő berendezéssel

fényt vetíteni a tárgyra, melyet az egészen nagy nagyításoknál azonban csak a tárgylencsén keresztül világíthatunk meg.

Az első csoportba a különböző felső megvilágítású reflektorok tartoznak: melyek különleges fajtái a Lieberkühn-féle tükör (88. rajz), a Hauser-féle sötétlátóterű felső megvilágítású kondenzor (89. rajz), a Metzner-féle para-

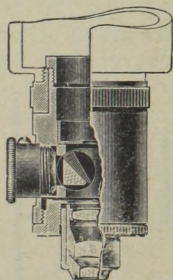


90. rajz. Felső megvilágítású kondenzor immerzióhoz. Beck nyomán.

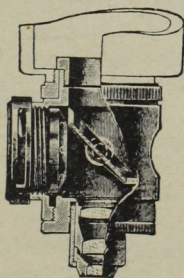
bolikus tükör, a Busch-féle felső megvilágítású kondenzor (90. rajz) stb. képviseli. E műszerek részletes leírásába nem bocsátkozhatunk, de működésüket nagyjából meg lehet érteni a mellékelt vázlatos rajzokból is. Közös sajátosságuk, hogy általában nem világítják meg a mikroszkóp optikai tengelyére merőleges felszíneket, hanem csak azokat, melyek ferdén oldalt néznek. Az utóbbiak tehát többé-kevésbé sötét látóterben csillognak. Az erős árnyékok okozta térbeli hatást nagyon előnyösen emeli ki a sztereomikroszkóp. A Lieberkühn-féle tükör és a Hauser-féle kondenzor alulról kapja a fényt. Ezekhez tehát igen bő nyílású (kb. 40 mm-es) asztalt kell használni. A tárgyat a nyílást elzáró üvegre helyezik, mely a közepén homályos vagy sötét, hogy csak a tárgy mellett bocsássa át a tükör felől érkező sugarakat. Csak kis tárgyakat lehet így vizsgálni, mert a nagyobb tárgy felfogja az alulról jövő fény nagy részét. A Lieberkühn-féle tükör felülről eltakarja a tárgyat, melyhez a tükör közelsége miatt is nehéz hozzáférni. Ezért újabbban kivágással látják el.

Újabban nagy feltűnést keltett a párizsi Nachet-gyár világító készüléke, melyben egyesítették az alsó és felső sötétlátóterű kondenzort. Ultramikroszkópnak ajánlják, mellyel szilárd kolloidok vékony rétegében is láthatóvá lehet tenni az apró részecskéket.

Egészen merőleges felső megvilágítást a vertikál-illuminátor (opál-illuminátor) ad. Ennél a műszernél nem akadály a tárgylencse közelsége, mert



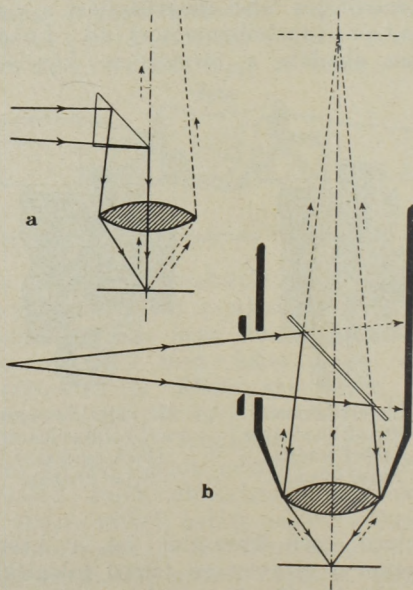
91. rajz. Prizmás
vertikalilluminátor
Nachet-rendszer.
Zeiss nyomán.



92. rajz. Lemezes
vertikalilluminátor
(Beck-rendszer.)
Zeiss nyomán.

a fény éppen ezen keresztül jut a készítményre. Lényeges része a tárgylencse feletti toldalékban elhelyezett üveghasáb (Nachet-rendszer, 91. rajz) vagy plánparallel üveglemez (Beck rendszer, 92. rajz), amely az oldalnyíláson rávetített fényt a tárgylencse felé téríti (93. rajz). A felülről érkező sugarakat a tárgylencse, mint kondenzor vetíti a készítményre. Az erről visszaverődő sugarak a prizmás szerkezetnél a prizma mellett, a lemezes vertikál-illuminátornál pedig az üveglemezen keresztül jutnak a szemlencsébe. Mindkét rendszer fényvesztéssel működik. A prizma elfedi a

tárgylencse nyílásának egy részét s ezáltal csökkenti a feloldást. A lemezes rendszernél pedig a tárgy megvilágítása gyengébb. A régebbi vertikálilluminátorokba kívülről kellett bevetíteni a fényt, ami azért volt kézenlmetlen, mert a mikroszkóp minden elmozdulásánál



93. rajz. A vertikálilluminátor sugármenete.
a) prizmás rendszer, b) lemezes rendszer.

újra kellett beigazítani a sugárnyalábot. Újabban már beépítik a fényforrást is (kisfeszültségű apró izzólámpást) a vertikálilluminátorba. VONWILLER ajánlatára különböző alakú réses fényrekesztőt helyeznek el a készülékben (Leitz), amivel keskeny sugárnyalábos megvilágítást lehet létrehozni.

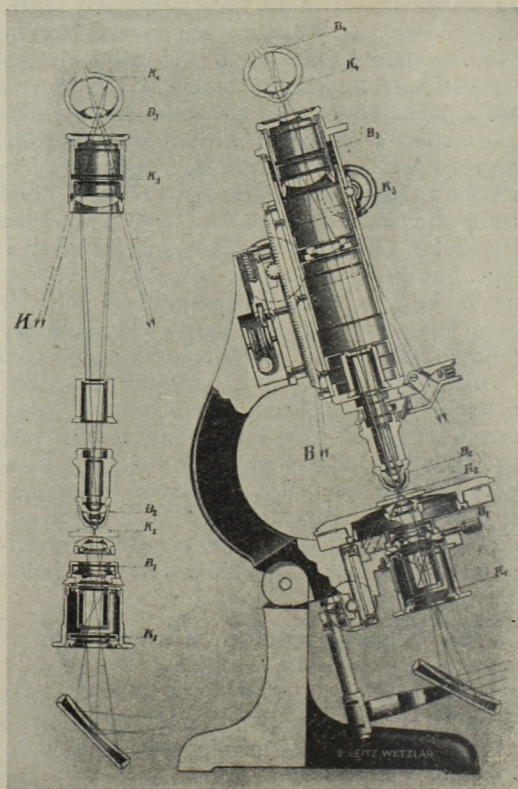
Olyan vizsgálatokra, ahol kizárólag csak felső megvilágítással dolgoznak, különlegesen szerkesztett mikroszkópokat készítenek, melyek tárgyasztala alatt hiányzik a megszokott átvilágító készülék. A fémipari és kőzettani mikroszkópok tárgyasztala alatt ehelyett a tárgy mozgatására (felszínének vízszintes beállítására) való szerkezetet helyezik el. A legújabb fémipari mikroszkópok szerkezete teljesen eltér a biológiai mikroszkóp típusától és a Le Chatelier-féle elrendezés szerint épül fel: felül van a tárgyasztal, ez alatt az objektív, a tubus pedig vízszintes helyzetű.

Látnivaló, hogy a felső megvilágítással való kutatás különleges berendezéseket és alapos előtanulmányt kíván. Teljesen lehetetlen, hogy itt csak nagy vonásokban is útbaigazítást adhassunk az ilyen vizsgálat kivételéhez; ebben a megfelelő szakmunkákra kell utalnunk. Csak annyit említünk még meg, hogy a felső megvilágítású vizsgálathoz többnyire nem takarjuk le a tárgyat fedőlemezzel, mert zavaró tükröződés jönne létre az üveg felszínén. Fontos tudni azt is, hogy ilyen esetben különleges tárgylencsákat kell használni, melyek hibáinak javításánál már számításba vették a fedőlemez hiányát.

VIII. A polarizációs mikroszkóp.

Írta: Dr. Dudich Endre.

Az ásványtanban, kőzettanban és a biológiai tudományokban is használatos polarizációs mikroszkóp onnan nyerte a nevét, hogy segítségével a tárgyakat nem egyszerű, hanem sarkított, polarizált fényben vizsgálhatjuk. Lényegében a polarizációs mikroszkóp megegyezik a közönséges mikroszkóppal, de természetesen fel van szerelve olyan mellékkészülékekkel, amelyek egyrészt a sarkított fény előállítására, másrészt a vizsgált tárgy által módosított sarkított fény interferencia jelenségeinek vizsgálatára szolgálnak. Ilyenek



94. rajz. Sugármenet a polarizációs mikroszkópban.

Jobboldalon a konvergens, baloldalon a parallel sarkított fény sugármenete. K_{1-4} a kristály képeinek, B_{1-4} a tengelykép keletkezési helyei. K a látott kristálykép, B a látott kristálykép iránya.

a sarkítókészülék (polarizátor) és az elemzőkészülék (analizátor), mint a legfontosabbak, forgatható, fokbeosztásos és nőniusszal bíró tárgyasztal és a fonálkeresztrel felszerelt szemlencsék, mint másodsorban lényeges kiegészítőrészek. Ezekon kívül az ásványtan-közöttani mikroszkópnak számos más mellékkészüléke van, amelyeknek ismertetésében itt nem bocsátkozhatunk.

A polarizátor a tükör és a világítókészülék közt helyzetfoglaló Nicol-féle hasáb, röviden *nikol*, amely a kalcit (CaCO_3) nevű ásvány „izlandi pát”-nak nevezett egészen tiszta, átlátszó féleségéből készül. Az izlandi pát hasadási romboédereit használják a kettőtörés jelenségeinek bemutatására a közép- és felsőfokú oktatásban. Az izlandi pát hosszúkás hasadási darabjait pontosan megállapított szabályok szerint csiszolják, kettévágják és kanadabalzssammal ismét összeragasztják. Így kapják a nikolt, amelynek az a sajátága, hogy bár a bejutó fénysugarat kettősen töri, mégis csak az egyik, a rendkívüli sugár (*extraordinarius*) jut rajta keresztül, mert a rendes sugár (*ordinarius*) a kanadabalzsamrétegen teljes visszaverődést szenved és a nikol fekete foglalata elnyeli. A rendkívüli sugár sarkított, mégpedig egyenesen (lineárisan) sarkított fény, amelynek rezgési síkja a mikroszkóp szimmetriasíkjával esik össze, illetőleg ezzel párhuzamos. A nikol vagy az eredeti Nicol-féle, vagy pedig valamely újabb konstrukció (Glan-Thompson, Ahrens) szerint készül és rendszeren úgy van beszerelve, hogy egyrészt saját tengelye körül 90° -ra elforgatható, másrészt pedig könnyen ki is kapcsolható.

A polarizátorból a sarkított fény a világítókészüléken át a tárgyasztalon fekvő készítménybe jut és további sorsát ennek minősége szabja meg. Mielőtt ezeket a jelenségeket ismertetnénk, lássuk, hogy milyen a sugár további menete akkor, ha útjában nem hatol át semmiféle készítményen.

A világítókészülékből a sugár a tárgylencsébe és ebből a tubusba jut. A tubusban van elhelyezve az analizátor, a tárgylencse és a szemlencse között, mégpedig úgy, hogy a sugár útjába oldalról betolható és onnan ismét kihúzható. Az analizátor szerkezetére nézve a polarizátorhoz teljesen hasonló nikol, de rendesen nem forgatható. Vannak azonban olyan analizátorok is, amelyeket a szemlencsére kell ráhelyezni, forgathatók és fokbeosztásuk van (Aufsatznikol). A tubusban nem forgathatóan elhelyezett analizátorra jellemző az, hogy rezgési iránya merőleges a polarizátoréra, vagyis jobbal irányú. A szemlencsében elhelyezett fonálkereszt ágai ennek a két egymásra merőleges rezgési síknak az irányát jelzik.

A nikolok állása szerint két alaphelyzetet különböztetünk meg. „Keresztezett nikolokról“ beszélünk, ha az analizátor és a polarizátor rezgési irányai merőlegesek egymásra. Ha pedig a polarizátort 90° -kal elfordítjuk, akkor a rezgési irányok párhuzamosakká lesznek, vagyis beáll a „parallel nikolok“ helyzete.

Ha sugármenet útjában nincs készítmény, akkor keresztezett nikolok esetében a látómező sötét, parallel nikolok közt pedig világos. Ennek az a magyarázata, hogy az első esetben a polarizátorból érkező sugár az analizátorban nem a rendkívüli sugár rezgési irányába jut, hanem az arra merőlegesen polározott rendes sugár rezgési irányába kerül, tehát nem tud a mikolon áthaladni, mert a kanadabalzsamrétegen teljesen visszaverődik és a foglalat elnyeli. Úgy mondják, hogy „kioltódik“, minek következtében a látómező sötét marad. Parallel nikolok esetében ellenben a polarizátorból érkező rendkívüli sugár az analizátorban is a rendkívüli sugár rezgési irányába jut, tehát át tud haladni a nikolon és a látómezőt világossá teszi.

Lássuk most, hogy milyen jelenségeket tapasztalunk, ha a sugármenet útjába valamely készítményt helyezünk (94. rajz).

Ha amorf tárgyból vagy szabályos rendszerű kristályból készült csiszolatot helyezünk a tárgyasztalra kereszttezett nikolok közé, akkor a látómező változatlanul sötét marad. Ennek az a magyarázata, hogy az amorf testek és a szabályos kristályok optikailag izotropok, azaz törésmutatójuk, illetőleg optikai rugalmasságuk minden irányban egyenlő. Így bármilyen irányú rezgést át bocsátanak, tehát a polarizátorból érkező rendkívüli sugár változatlan rezgési iránnyal halad át rajtuk, lép ki belőlük és jut az analizátorba, ahol természetesen a rendes sugár rezgési irányába kerülve, kioltódik. A kereszttezett nikolok közt az ilyen testek állandóan sötétek maradnak, még akkor is, ha a tárgyasztalt forgatjuk.

A négyzetes, hatszöges, rombuszos, egy- és háromhajlású kristályrendszerekbe tartozó anyagok csiszolatai kereszttezett nikolok közt egészen másképen viselkednek. Ezek optikailag anizotropok, azaz törésmutatójuk, optikai rugalmasságuk az irányok szerint változik, aminek következménye a kettőtörés. Az ilyen anizotrop lemez csak két, egymásra merőleges irányban bocsát át rezgést, tehát csak a lemez két rezgési irányával párhuzamos rezgésű sugarak tudnak rajta keresztülhaladni. Hogy a jelenségek a továbbiakban miként alakulnak, az attól függ, hogy az anizotrop lemez rezgési irányai milyen helyzetben vannak a polarizátor rezgési irányához képest.

Ha a lemez valamelyik rezgési iránya párhuzamos a polarizátor rezgési irányával, akkor a polarizátorból érkező poláros fény változatlanul, kettőtörés nélkül halad át a lemezen, megtartja eredeti rezgési irányát és így az analizátorban ugyanarra a sorsra jut, mint az amorf, vagy szabályos rendszerű anyagból kilépő sugár: kioltódik, tehát a látómező sötét marad. Mivel a lemez két rezgési iránya egymásra merőleges, a tárgyasztal teljes körülforogatásakor négyszer áll be a kioltási helyzet.

Ha a lemez rezgési irányai a polarizátor rezgési irányával szöget zárnak be, akkor a polarizátorból érkező sugár nem tud változatlanul áthaladni a lemezen, hanem kettősen törik, két egymásra merőlegesen rezgő sugárra, melyeknek rezgési irányai a l e m e z rezgési irányainak felelnek meg. Az analizátorba tehát két sugár jut, amelyek mindegyikének más a rezgési iránya, mint az analizátoré. Ez a két sugár az analizátorban így ismét kettősen törik, rendes és rendkívüli sugárra. A két rendes sugár a nikol kanadabalzsamrétegén teljes visszaverődést szenvedve kioltódik, a két rendkívüli sugár azonban áthalad a nikolon, ami azt eredményezi, hogy a látómező a nikolok keresztezett helyzete ellérére is megvilágosodik. A tárgyasztal teljes körülforogatásakor tehát négyszer áll be a látómező megvilágosodása, mégpedig a kioltásokkal váltakozva. A megvilágosodás akkor éri el a maximumát, amikor a lemez rezgési irányai a nikolok rezgési irányáival 45° -os szöget zárnak be.

Az analizátorba bejutó két rendkívüli sugárra jellemző, hogy interferálnak. Az interferencia lehetősége adva van azzal, hogy egyetlen vonalasan sarkított sugárból származnak és egy síkban rezegnek. Fehér fény alkalmazása esetén különböző interferenciaszíneket kapunk, amelyeknek minősége és rendűsége a lemez ásványi minőségétől, optikai orientációjától, a kettőstörés nagyságától, és a lemez vastagságától függ. Ezeket a színeket bizonyos készülékekkel elemezve, útkülönbségüket megállapítva, stb. igen fontos adatokat kapunk a lemez ásványi minőségének megállapítására.

Ezeket a vizsgálatokat mind az ú. n. p a r a l l e l poláros fényben végeztük. Ha az így kapott eredményeket kiegészítjük a k o n v e r g e n s poláros fényben észlelhető interferenciajelenségek, az ú. n. tengelyképek vizsgálatával, akkor megállapíthatjuk az anyag (ásvány) optikai jellegét, a kétoptikai tengelyű ásványok tengely-

szögét, a diszperziókat, stb. szóval mindazokat az optikai adatokat, amelyek a vizsgált anyag ásványi minőségének felismerésére szükségesek. Ezért a polarizációs mikroszkóp, a legkülönbözőbb mellékkészülékekkel felszerelve, a petrografus nélkülözhetetlen műszere, mert a kőzetekből készült vékony csiszolatok apró ásványszemeit más úton alig lehet meghatározni. Az ásványközöttani mikroszkóp részletes ismertetését, az ásványmeghatározás optikai módszereit az idevágó kézikönyvekben találjuk meg.⁴⁷

A kristályok világán kívül az állati és növényi sejtek, szövetek különböző anyagai is mutathatnak kettőtörést (Micellar-, Stäbchen-, Spannungsdoppelbrechung), amelynek tanulmányozása azok szubmikroszkópikus szerkezetének megismerésére vezethet. Ennek vizsgálata lényegében azonos az ásványközöttani optikai vizsgálatokkal.

IX. Mikroszkóplámpások.

Különleges irányú és minőségű megvilágítás esetén (felső megvilágítás, színes fény, ibolyántúli sugarak stb., l. — old.), továbbá olyan vizsgálatoknál, amelyek nagyon erős fényt kívánnak (sötétlátóterű és ultramikroszkópos vizsgálat, mikroszkópos vetítés és fényképezés) és végül természetesen este mesterséges fényvel kell dolgoznunk.

⁴⁷ 1. ROSENBUSCH-WÜFLING-MÜGGE: Mikroskopische Physiographie der petrographisch wichtigen Mineralien (1921—1927).

2. VALENTIN: Die Untersuchung der Pflanzen- und Tiergewebe in polarisiertem Lichte (1861).

3. SCHMIDT: Die Bausteine des Tierkörpers in polarisiertem Lichte (1924).

4. KÖHLER: Die Anwendung des Polarisationsmikroskops für biologische Untersuchungen (ABDERHALDENS Handbuch der biolog. Arbeitsmethoden, Abt. II, Teil 2, H. 2, 1926, p. 907—1108).

5. AMBRONN: Das Polarisationsmikroskop (1926).

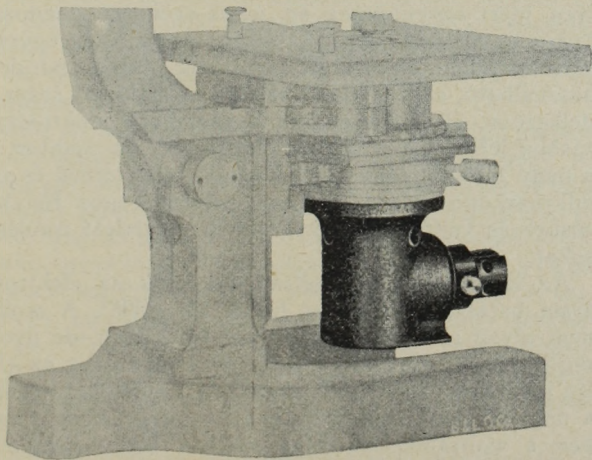
A lámpás célja szerint közönséges vizsgálati és különleges lámpásokat különböztetünk meg. A kettőt az ú. n. univerzális lámpásokban igyekeznek egyesíteni, melyek azonban többnyire egyik célnak sem felelnek meg tökéletesen.

Újabbban határozottan megfigyelhető a lámpás feltűnő elterjedése a mikroszkópiában. A lámpást kívánó különleges berendezések szaporodnak és emellett mind többen használnak lámpást nappal közönséges vizsgálatokhoz is. A vizsgálati lámpások térhódítása a villamos izzólámpások elterjedésével kapcsolatos. Ezek tisztaságuk, egyenletes fényük, üzembiztonságuk és olcsóságuk miatt megbecsülhetetlen előnyt jelentenek. Mióta állandóan izzólámpással dolgozhatunk, függetlenek vagyunk az időjárástól, nem kell a dolgozóhely megválasztásában a nap járásához igazodnunk, a megvilágítás erőssége, készítményeink színe a nap és év minden szakában azonos, vagy ha tetszik, szükség szerint változtatható.

Szükség esetén a polgári életben használt bármelyik lámpást lehet a mikroszkópi vizsgálatokhoz használni, ha a sugarak útjába homályos üveget teszünk. A petróleum-, gáz- és villamos lámpások sárgásfényét halványkék szűrővel tehetjük fehérebbé. Erre a célra szoktak is a mikroszkóphoz egy kis világoskék, homályos kobaltüveglemezkét adni, melyet a tárgyasztalalatti foglalatban, vagy az iriszen helyezünk el. A fény célszerű és gazdaságos felhasználása miatt, hacsak tehetjük, külön erre a célra készült lámpást használjunk a mikroszkópi vizsgálatokhoz. Mióta a mikroszkóplámpás már nem csak kisegítő, hanem állandóan használt berendezés lett, fokozott gondot fordítanak a tökéletesítésére. A kényelemre, egyszerűsége és olcsóságra vonatkozó törekvésekben az amerikai gyárakkal újabbán versenyre kelnek az európaiak is. Ezek a törekvések azok-

ban a lámpásokban csúcsosodnak ki, melyeket a tárgyasztal alatt lehet megerősíteni, miáltal a lámpás a mikroszkóp alkatrészévé válik (95. rajz).

A mikroszkóplámpás fényforrásból és a lámpaházból áll. A nagyobb vizsgálólámpásokba



95. rajz. A tárgyasztal alatt megerősített mikroszkóplámpás.
(Bausch és Lomb nyomán.)

beépítik a kollektor-lencsét, a homályos üveget, esetleg még a szín- és hőszűrőt is, melyeket máskülönben a lámpás és a mikroszkóp között kell felállítani. A nagyobb mikrofotografáló és vetítőkészülékeken még most is külön állítják fel ezeket az optikai padon, melyen a szükséghez képest lehet őket elrendezni.

A) Fényforrások.

1. Ami a fényforrást illeti, tisztaság és üzembiztonság tekintetében a villamos világítás vezet. A különféle elektromos fényforrások közül a közönséges vizsgálatokhoz leginkább az izzólámpás alkalmas,⁴⁸ mert kezelése nagyon egyszerű, mert az izzótest zárt, tehát tiszta, szagtalan és nem tűzveszélyes, mert egyenletesen ég, nincs szüksége gondozásra, tartós és olcsó. Előnyös sajátága az is, hogy egyen- és váltóárammal egyformán működik, tehát mindenütt használható, ahol a kellő feszültségű hálózati áram rendelkezésre áll. Eleinte csak a szubjektív mikroszkópozáshoz lehetett izzólámpást használni, de újabban már a nagy fajlagos fényerőt⁴⁹ kívánó sötétlátóterű és ultramikroszkópos vizsgálatokhoz, mikroszkópos fényképezéshez és vetítéshez is készítenek megfelelő izzólámpásokat.

Az izzólámpásban wolfrámszál izzik az elektromos áram hatására. Az izzási hőfok kb. 2500° . A wolfrám nem olvad el ezen a magas hőmérsékleten, de gyorsan porlik. A 25 wattnál erősebb izzólámpásokat az elporlás lassítására közömbös gázzal (a kisebbeket argonnal, a nagyobbakat nitrogénnel) töltik meg. Ebben az esetben a wolfrámszálat csigavonalban kell meggörbíteni, hogy egyensúlyozzák a gáz hővezetése következtében

⁴⁸ Érdekes megemlíteni, hogy nem keltett nagy lelkesedést, mikor VAN HEURCK (1882) az izzólámpást mikroszkópi célokra ajánlotta. Senki sem ismerte fel eleinte a jelentőségét; a magyar kutatók közül pl. APÁTHY sem jósolt neki nagy jövőt. Ez érhető is, hiszen az akkori szénszálas izzólámpák alig egy-két gyertyafényűek s nagyon törékenyek voltak és csak néhány óráig égtek.

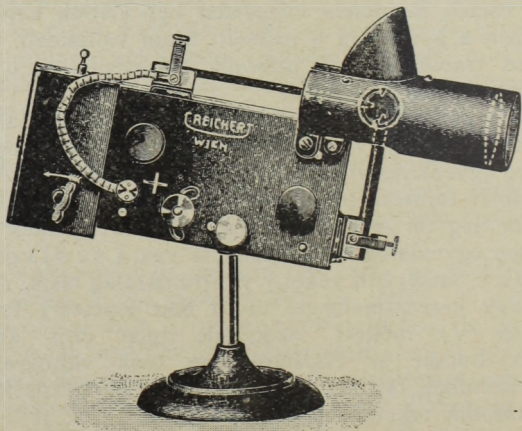
⁴⁹ A különböző fényforrások fényességét a specifikus fényességük alapján lehet összehasonlítani. A specifikus fény az 1 cm^2 -nyi felületről kibocsátott fény erőssége *Hefner*-féle vagy nemzetközi gyertyafényekben.

beálló lehülését. A közönséges izzólámpákat közvetlenül be lehet kapcsolni a hálózati áramba. Egyen- és váltóárammal egyformán égnek. Csak arra kell ügyelni, hogy pontosan olyan feszültségre készített lámpást használjunk, mint a hálózati áram. Mikroszkópi célokra különleges alacsony feszültségű izzólámpásokat hoznak forgalomba, melyeknek vastag nül be lehet kapcsolni a hálózati áramba. Egyen- és áram esetén megfelelő ellenállást kell elébük kapcsolni (szállítja a gyár). Ha a hálózati áram váltakozó, akkor 6 V -os transzformátor második tekercsébe (a 6 V -os kapocshoz) kell kapcsolni.

Vetítő és mikrofotografáló lámpásokban egy síkban, meandervonalban vezetik a wolfrámspirálist, hogy lehetőleg egyenletes világítófelületet hozzanak létre. A világítófelület természetesen mégsem teljesen egyenletes és sokszor nagyon zavaró az izzószál tekervényeinek rajza. Egészen egyenletes világítófelülete van a szalaglámpásnak, amelyben vékony wolfrámszalag izzik. A szalag nagy keresztmetszete miatt már alacsony feszültség (6 V) mellett izzik, de igen erős áramot (17 A) bocsát át. Gazdaságosan csak váltóárammal lehet üzemben tartani, mikor is megfelelő transzformátor második tekercsébe kell kapcsolni.

2. Sötétlátóterű és ultramikroszkópos vizsgálatokhoz, mikroszkópos fényképezéshez és vetítéshez régebben Nernst-féle lámpást, vagy szénrúd asívlámpást használtak, mert mindkettő kis felületről igen erős fényt bocsájt ki. Az előbbi kezelésének nehézsége miatt már a múlté és úgylátszik, hogy a szénrudas ívlámpa is erre a sorsra fog jutni. Az izzólámpás már minder téren kiszorította s szinte érthetetlen, hogy mikroszkópi célra még ma is forgalomba hozzák. Van ugyan két olyan sajátága, mely ezen a téren előnyös: a nagy fajlagos fényessége és az, hogy gyakorlatilag pontszerű fényt ad, tehát fényének egyenletes elosztása

optikailag könnyen megoldható. Ezzel szemben szabad elektródjai, szabad lángja és izzó részei miatt veszélyes (áramütés, égés, tűzveszély), bűdös és egészségtelen. Ezenkívül nem üzembiztos, folyton változtatja a fényességét, folyton állítgatni kell és bosszantó módon gyakran a kritikus pillanatban (fényképezésnél exponálásakor) szokott kialudni. Tulajdonképpen már csak a



96. rajz. Kis ívlámpa mikroszkópiai célra.

vetítésben és az ibolyántúli sugaras vizsgálatokban van még némi létjogosultsága, de itt sem pótolhatatlan. Bár a szénrudas ívlámpás jelenleg mindinkább háttérbe szorul, szerkezetének és működésének ismertetésére mégis ki kell térnünk, mert még mindig sok van használatban és még szerepel az árjegyzékekben is.⁵⁰ (96. rajz.)

⁵⁰ Az ívlámpák részletesebb leírását és elméletüket lásd FÜRST, MEZEI, RASCH, ZEIDLER és ZEMPLÉN munkáiban.

Az ívlámpa lényeges része a két szénrúd, melyeket az erős áram vezetékeivel kell összekötni. A szénrudakat örölt retortaszén, kox és grafit keverékének vagy pedig koromnak kátránnyal készült pépjéből préselik 100 atm. körüli nyomással, azután 24—48 óráig izzítják.⁵¹ Az ívlámpás meggyújtása végett először össze kell érinteni, azután kissé szét kell húzni a két szénrudat. A szén-csúcsok összeérintése alkalmával a szén a nagyellenállású érintkezési ponton izzani kezd, aminek következtében vezetővé válik (ionizálódik) a csúcsok közti tér és a széthúzott szének között állandó elektromos kisülés indul meg. Az ív maga alig világít (az ívlámpa fényének alig 5%-át szolgáltatja, de sok ibolyántúli sugarat bocsát ki), hanem a vakító fehér fény zömét az izzásban jövő széncsúcsok bocsátják ki. Égés közben a széncsúcsok fogynak (elégnek, elporlanak és elgőzölögnek). Ezzel nő az egymástól való távolságuk és az áramnak mind hosszabb úton át kell kisülni: a fényív csakhamar lobogni kezd és végül megszakad. A kialakás megelőzésére gondoskodni kell a szénrudak utánaállításáról. A szabályozás lehet kézi, óraműves és önműködő villanyregulátoros. A kisebb (mikroszkópi) ívlámpások kéziszabályozásúak, vagy óraművesek, az automatikus berendezés nagyobb szerkezet s csak a nagyvetítőlámpásokat szerelik fel vele.

Az üzemáram minősége szerint egyenáramú és váltóáramú ívlámpákat készítenek. Az egyenáramú ívlámpa nyugodtabban ég, gazdaságosabb, nagyobb a fajlagos fényereje. A pozitív (anód-) szén kb. 2—2½-szer olyan gyorsan fogy, mint a negatív (katód-) szén, ami nagyrészt azért van, mert a hőmérséklete

⁵¹ H. DAVY, az ívfény felfedezője (1812) faszénrudakat használt az „electric arc” keltésére. Ezek azonban igen gyorsan elégttek, ezért később FOUCAULT a sokkal keményebb retortaszénen ajánlotta.

majdnem kétszer olyan magas (kb. 4000°), mint a katódcsúcson. Ezért megfelelően vastagabb anódszenet kell használni. Égés közben a — szén kihegyesedik, a + szén végén pedig úgynevezett kráter keletkezik. Mivel ez a katódcsúccsal szembenálló kráter reflektor gyanánt működik, de még azért is, mert magasabb a hőmérséklete, az ívlámpa fényének mintegy $\frac{3}{4}$ részét az anódkráter sugározza ki. Ezért a beállításnál mindig a pozitív csúcst kell figyelembe venni és a kráter miatt ezt kell a megvilágítandó irányba fordítani (KLUPATHY). A pozitív szén vastagságának az a hátránya, hogy az ív hajlamos a szén szélén való körbevándorlásra. Ennek meggátolására és egyszersmind a kráterképződés elősegítése végett a + szén tengelyében lazább szén van (belső szén). A — szén tömörszén.

A váltóáramú ívlámpás széncsúcsai között a kisülés iránya periódikusan váltakozik (a hálózati váltóáram áramváltakozásainak száma percenként 42 vagy 50 szokott lenni) és a két széncsúc sűrűn felváltva anóddá és katóddá válik. Ezért egyik csúcson sem keletkezik kráter, a fénytermelésben mindkét csúc egyenlő mértékben vesz részt és a két szén egyenletesen fogy. A váltóáramú ívlámpás mindkét szene egyforma vastag tömör vagy bélszén. Ugyancsak az áramváltakozások miatt rezeg is egy kissé a váltóáramú ívlámpa fénye és e lámpások fajlagos fényessége és gazdaságossága is csekélyebb az egyenáramú lámpásénál. Mégis jobban terjedt el, aminek természetes magyarázata az, hogy a legtöbb helyen váltóáram áll rendelkezésre.

Az ívlámpák táplálására alacsony feszültségű áram kell, mint a hálózati áram, melynek feszültsége 110 vagy 220 Volt szokott lenni. Ezért az ívlámpást nem lehet egyszerűen bekapcsolni a hálózati vezetékbe, hanem megfelelően méretezett feszültség emésztő ellenállást kell az áram útjába iktatni. Az egyenáramú ívlámpá-

sok üzemfeszültsége 40—55 V, a váltóáramúaké 25—35 V. Az ívlámpás beszerzésénél közölni kell a szállítóval, hogy a rendelkezésre álló hálózati áram egyen- vagy váltóáramú-e és hogy milyen a feszültsége (ezek az adatok fel vannak tüntetve a villanyórán; a rezgésszám mellékes).

Az íven nagy erősségű áram halad át: az ívlámpák fényerősségük szerint 3—30 Ampère-rel égnek. A szubjektív vizsgálatokhoz készülő ú. n. liliput-ívlámpák 4—5 A, a nagyobb mikroszkópos vetítőlámpások 5—10 A, az epidiaszkópok nagy ívlámpái 30 A, erősségű áramot fogyasztanak. A nagyobb ívlámpások üzembehelyezése előtt gondoskodni kell a vezetékek ilyen erős áramhoz való méretezéséről és megfelelő biztosítékokról is. Ezenkívül értesíteni kell az áramszolgáltató vállalatot is, hogy olyan erős órát szereljen fel, amely ezt a nagy megterhelést kibírja. A kis mikroszkópizáló ívlámpásokat is csak akkor lehet a fali kontaktusba kapcsolni, ha a biztosíték legalább 6—10 A-es.

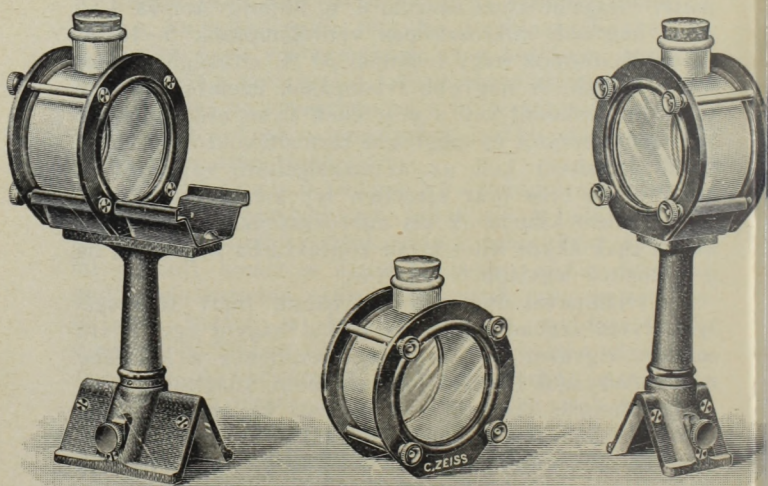
Az ívlámpával óvatosan kell bánni, mert tűzveszélyes. Nem szabad felügyelet nélkül hagyni egy percre sem és vigyázni kell, hogy ne kerüljenek a közelébe robbanóanyagok (benzin, éter, celloidin, világítógáz stb.).

Az ívlámpás rengeteg hőt sugároz ki, amiért hőszűrőt kell eléje tenni. Folyadéktartály ez (lombik vagy küvetta, 97. rajz), melyet desztillált vízzel töltünk meg. Hatásosabb hőelnyelő folyadék a $\frac{1}{2}\%$ -os rézgálic-oldat, vagy a Mohr-féle oldat (ammoniumferroszulfát, $\text{FeSO}_4(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) 20%-os oldata deszt. vízben, melyhez néhány csepp kénsavat adunk.

A szénívfény bőségesen tartalmaz ibolyántúli sugarakat is, amit ki is használnak az ultraibolya fényvel való mikrofotográfiában és a fluoreszcencia-mikroszkópiánál. Az ibolyántúli sugárzás erősségének fokozása végett különleges Siemens-féle „vas- vagy nikkelszeneket” használnak, azaz olyan szénrudakat, amelyek bele vas-

és nikkelsókat tartalmaz. A látható sugarakat ú. n. ibolyántúli szűrőkkel tartják vissza.

A szénrúdas ívlámpának van két rokona, melynek nagy jelentősége van a mikroszkópiában. Az egyik a pontfénylámpás, amely wolfrámi ívlámpás, a másik a kvarclámpás, amely higanyívlámpás. A pontfénylámpás sötétlátóterű vizsgálatnál és a mikroszkópos fényképezésnél újabban versenyre kél az izzólámp-



97. rajz. Küvetták sugárhűtő és szűrő folyadék számára.

pással, a kvarclámpást pedig az ibolyántúli-sugaras vizsgálatokban használják. Mindkettőnek az a nagy előnye van a közönséges ívlámpás felett, hogy teljesen zárt. Az elektródok elégetés útján nem fogynak és így üzem közben utánaállításra vagy más gondozásra nincs szükség, a lámpás tartós, fénye egyenletes, nem tűzveszélyes és tiszta.

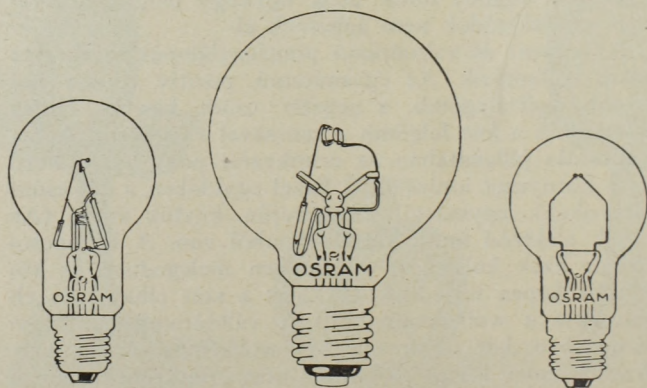
3. A pontfénylám p á s (Punktlichtlampe, Pontolite) külsőleg nagyon hasonlít az izzólámpához, mert ezt is üveggömbbe zárják és ugyanolyan a foglalata is (normál Edison-foglat). Belső szerkezete azonban egészen más: két wolfrámdarabka van benne, melyek között elektromos ív keletkezik. Az ív maga alig világít, de fehérizzásba hozza a wolfrámot. Minthogy a wolfrámcsúcsok alig fogynak, a pontfénylám p á s élettartama elég nagy: a különböző típusok szerint 100—200 üzemóra. Működés közben csak a wolfrám lassú elporlásáról lehet szó, mert az üveggömböt indifferens gázzal (nitrogén, argon) töltik meg, úgyhogy oxigén hiányában az elektródok nem éghetnek el.

Az egyen- és váltóáramú pontfénylám p á s szerkezete kissé különbözik. Az egyenáramú pozitív csúcsa nagyobb wolfrámgömb, a negatív csúcs kisebb. Hideg állapotban a két félgömb a csúcsával érintkezik. A bekapcsolás pillanatában az érintkezési pont izzani kezd és a környezet ionizálódik. Ezzel egyidőben a két csúcs eltávolodik egymástól és létrejön köztük az ív. (Az egyik elektród szára kétféle fémből van. A bekapcsoláskor ezek különböző mértékben melegednek és különbözőképpen terjednek ki. Ezért a szár elhajlik és elmozdítja a wolfrámgömböt.) A váltóáramú pontfénylám p á sban két egyforma kis wolfrámgolyócska van. Ezek üzemen kívüli állapotban nem érintkeznek, hanem mindig a kellő távolságban vannak. A bekapcsoláskor ködfény keletkezik a két csúcs között, mert a lámpás neongázzal van megtöltve. (A ködfény keletkezéséhez legalább 200 V feszültség szükséges, ezért váltóáramú pontfénylám p á s csak ennél magasabb feszültségre készül.) Amint a két wolfrámgömböcske között elég erős az ionvándorlás, magától felvillan az ívfény.

A pontfénylám p á s különös előnyei: pontszerű fény és a nagy fajlagos fényerő. Emellett az izzólámpás minden előnyével rendelkezik: tiszta, veszélytelen, egyen-

letesen ég, üzembiztos, felügyeletre szüksége nincs, olcsó és tartós. Foglalatuk olyan, mint az izzólámpásoké („normál-Edison“). Mint minden ívlámpához, ezekhez is előtétellenállást kell használni (szállítja a gyár, meg kell adni, hogy hálózati áramunk egyenáram-e vagy váltakozó és hogy milyen a feszültsége). Pontfénylámpást a kontinensen Philips és Osram gyárt (98. rajz).

4. A higanylámpában higanyelektrodok felszínei között keletkezik az elektromos ív (ARONS 1896).



98. rajz. Pontfénylámpások.

A higany U-alakú cső lefelé fordított száraiban van. A cső belseje légüres, az ívben a higanygőz világít. A sugárzás részben thermikus fény, részben a higanygőz elektrolumineszcenciája. A higanylámpa főként zöld és ibolyántúli sugarakat bocsát ki. Az első üveglámpások hátránya az volt, hogy az üveg az ibolyán-

túli sugarak jelentékeny (250 $\mu\mu$ -on túli) részét visszartartotta és az üveg alacsony olvadáspontja (kb. 400°) miatt nem lehetett a sugárzás erősítése érdekében kellőképpen terhelni. 1904-ben HERAEUSnak, majd 1905-ben KÜCHNEK Hanauban sikerült a kvarcot megolvasztani és kvarccsővet készíteni, mely magas hőálló és ultraibolya-sugarakat átbocsátó képessége miatt igen alkalmas volt higanygőzös ívlámpás céljaira (kvarclámpás). A kvarc egészen 150 $\mu\mu$ -ig bocsát át ibolyántúli sugarakat.

A kvarclámpást főként orvosi célokra használják, de újabban mindjobban tért hódít mindazon kutatási ágakban is, ahol ibolyántúli sugarakkal dolgoznak. Németországban és a vele barátságos viszonyban élő közép-európai államokban főként a hanai kvarclámpás (künstliche Höhensonne-Original Hanau) terjedt el. (Németországból entente-államokban való kivitele tiltva van). A hanai kvarclámpás meggyújtása kissé körülményes. Az áram bekapcsolása után először meg kell billenteni az U-alakú csövet, hogy a higany összefolyjék. Azután rögtön vissza kell fordítani a vízszintes helyzetbe, hogy a szétváló higanyfelszínek között meginduljon az elektromos ív. Kezdetben lumineszcenciafény jelentkezik a szétszakadt higanytömegek között, amely pár pillanat múlva vakító zöldes fénné erősödik. Az ibolyántúli sugárzás erőssége kb. 10—20 perc múlva éri el erősségének tetőfokát (beégés), amelyen állandósul. Az ív fény hossza a lámpás nagysága szerint 6—12 cm.

Újabb szerkezeteknél (pl. Jaenicke-Engel-féle) az áram bekapcsolásakor önműködően szakad meg a higanytömeg. A Jaenicke-féle kvarclámpás csöve hideg állapotban teljesen higannyal telt, aminek több előnye van. Az egyik az, hogy a szállításkor és a gyújtóbillentéskor nem üti meg és nem töri szét a kvarccsövet a megloccsanó nehéz higanytömeg. A másik előny az,

hogy a lámpást nem kell evakuálni, hanem a bekapcsoláskor szétváló higanyfelszínek között magától jön létre a higanygőzzel telt tér. A lámpás U-alakú kvarccsővének közepén kis oldalnyúlvány van. Ezt villamos fűtőtekerics veszi körül, mely a bekapcsoláskor felforraltja a kis csőnyúlvány higanytartalmát. Az innét kiáramló higanygőz választja szét a higanyt a főcsőben. A 220 V — 4 Ampère-es Jaenicke-lámpás kisugárzásából 32% a látható fény (3600 Hefner-gyertya) és 68% az ibolyántúli sugár.

A régebbi higanylámpásokat csak egyenárammal lehetett táplálni. Váltóáram esetén költséges mótordinamos egyenirányítóra volt szükség. A rádiótechnika az egyenirányítás terén is éreztette hatását, amennyiben igen egyszerű és olcsó egyenirányítókat produkált, melyeket az elektromos ipar más ágaiban is siettek felhasználni. Ezért ma a kvarclámpások üzemeltetése a váltóáram térfoglalása ellenére sem probléma. De újabban három pólusú váltóáramú kvarclámpást is hoznak már forgalomba.

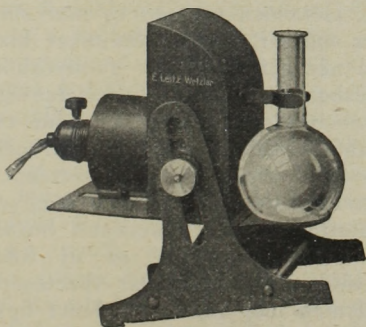
A kvarclámpás, akár a szénlámpás is, erős áramot vesz fel. Bekapcsoláskor az áramerősség a lámpás nagysága szerint 8—16 Ampère is lehet, üzemben ez leszáll 3—6 A-re. Kvarclámpás üzembehelyezése előtt tehát megfelelő vastagságú vezetékekről, erős biztosítókról és óráról kell gondoskodni.

B) Lámpaház.

A mikroszkópi fényforrást lámpaházba zárják. A védelmen kívül azt akarják ezzel elérni, hogy fény csak a kívánt irányba jusson, mert a másfelé terjedő fény zavarja. Különösen akkor kellemetlen, ha egyenesen a szemünkbe kerül, mert elvakítja, azaz csökkenti az érzékenységet a látótér szegényebb fényviszonyai-

val szemben.⁵² A tökéletes fényelzárás mellett fokozott gondot kell fordítani a lámpaház jó szellőzésére, hogy túlságosan fel ne melegedjék. A jó fénykihasználás végett fehérre mázolják a belsejét és a fényforrás mögé reflektort helyeznek. A hordozható vizsgálólámpások állványát úgy szerkesztik meg, hogy könnyen be lehessen állítani minden irányba.

Említettük, hogy a mikroszkóplámpásba gyakran beépítik a kollektorlencsét és a hő- és színszűrő folyadék-tartályt is. Régen a fény gyűjtésére és a hősugarak el-



99. rajz. „Susztergolyós“ mikroszkóplámpás.

nyelésére vízzel telt üveggömböt az ú. n. „susztergolyót“ használták. Az újabb mikroszkóplámpásokon gömbölyű üveglombik helyettesíti ezt, melyet desztillált vízzel vagy hő- és színszűrő folyadékkal (l. 197. old.)

⁵² Ezért legjobb a finomabb vizsgálatokat teljesen sötét szobában, vagy legalább is sötét asztalon végezni. Világos szobában valahányszor feltekintünk, fény éri szemünket, ami csökkenti a fényérzékenységet, az alaki benyomások pedig zavarják megfigyelőképességünket. Fokozott mértékben van ez így egy szemmel való nézéskor, mert a nyitvatartott másik szemem át állandóan érkeznek látószervünkbe a zavaró benyomások.

vízzel vagy hő- és színszűrő folyadékkal (99. rajz) kell megtölteni.

X. Hogyan készül a mikroszkóp?⁵³

Mikroszkóp beszerzése nemcsak a műkedvelő, hanem a hivatásos kutató számára is olyan élmény, mely sok izgalmas örömet nyújt. A finom és drága műszer kiválasztását gyakran többhónapos gondos tanulmány előzi meg. És mikor végül előkerül elegáns szekrényéből a kecses alakú, előkelően csillogó és már súlyánál fogva is tekintélyes műszer, nagy örömeinket bizony jóideig csak kívülről nézegetjük és így gyönyörködünk abban a finom ízlésben és technikai tökéletességben, amely minden részében megnyilvánul. Ez nem csupán üzleti nyereszkedésből készült tömegcikk, melynek hangzatos reklámokkal igyekeznek vevőket szerezni. A mikroszkópot szeretettel készítik és minden egyes példányát éppoly szeretettel és reménykedéssel bocsátják útjára a gyárban, mint ahogy azt az új tulajdonos fogadja. A legtöbb mikroszkópgyár vezetésének és munkájának szellemén még ma is meglehet figyelni valami emelkedettebb érzést, tudományos célokért érzett lelkesedést, ami az iparban egészen szokatlan, de ami ebben a szakmában történelmi tradíció. A mikroszkópon is meglátszik, hogy nem parvenű, hanem előkelően ízléses vonalaiban évszázados történet van összesűrítve. Dolgozószobánk új díszének nézegetése közben szinte megfedekezünk belenézni s mikor végül eszünkbe jut, szinte félve tesszük: vajjon be fogja-e váltani hosszú idő óta hozzáfűzött reménységeinket és megnyitja-e előttünk annak a világnak csodálatos birodalmát, amely után oly rég vágyakoztunk? Minél tovább

⁵³ A C. Reichert-cég bécsi telephének megtekintése és a gyárvezetőség által rendelkezésre bocsátott adatok alapján.

foglalkozunk mikroszkópunkkal, annál jobban tudjuk méltányolni tökéletességeit, hamarosan megszeretjük; már nemcsak dolgozó szobánk dísze, hanem nélkülözhetetlen munkatársunk is. S felébred bennünk a kíváncsiság: hogyan készül a mikroszkóp?

Nagy öröm, amikor a gyár előzékeny vezetősége kíváncságunk teljesítéséről értesít. A látogatás pontos időhöz van kötve. Egyrészt azért, mert a gyártelepen pontos munkarend van, melyet nem szabad megzavarni, másrészt, mert vezetés nélkül a munkatermekben tartózkodni tilos és szakszerű magyarázat nélkül teljesen haszontalan is a műhelyekben tett séta. Az igazgatói irodában nem vagyunk egyedül; a világ minden részéből gyülekeznek érdeklődők: tudósok és technikai szakemberek. Beszélgetés közben vendéglátóink már előre tájékoztatnak nagyjában a gyár szervezetéről. A telephelke a tudományos osztály, ahol az optikai kísérletezés, a műszerek elméleti megszerkesztése és kiszámítása folyik. Ezek a tervek a szerkesztési osztályban teszik az első lépést a megvalósulás felé, ahol az összes részek pontos rajzát elkészítik. A rajzok az üzembe kerülnek, ahol azonban még korántsem adják azonnal a munkások kezébe. Míg idáig csak a magasabb célok, a tudományos tökéletesség érdeke érvényesült, most a kivitelnél beleszól a dolgokba az üzleti szellem is. Gyakorlott műhelyszakemberek kidolgozzák a leggyorsabb és legolcsóbb kivitel módját és rendjét, elkészítik hozzá a gyakran szükséges különleges szerszámokat. A rajzok már ezekkel és a pontosan kidolgozott munkatervvel együtt kerülnek a munkatermekbe. Minden darabnak a műhelyben eltöltött pályafutásáról pontos feljegyzéseket vezetnek. A gyár vezetősége minden pillanatban tudja, hogy ez vagy az a darab hol és milyen állapotban van. A gyárból kikerülő minden alkatrésznek pontosan tudják az egész történetét és technikai adatait. Mindezt a gyártási

iroda ellenőrzi, amely olyan mint egy pók: a gyár minden zugával szálak kötik össze. A falakon nyílások, amelyeken gépek és küldöncök továbbítják az íróasztalokhoz a munkadarabokról és a munkásokról készült feljegyzéseket. Rögtön észreveszik, ha valahol fennakadás van és azonnal intézkednek is. Mert a munkafolyamat egyes szakaszai úgy illeszkednek egymásba, mint egy mozgó lánc szemei. Ha az egyik elakad, előtte torlódás, utána tétlenség áll elő, szóval elakad az egész munka, ami anyagi károsodást jelent. Pedig a kitűnő minőség mellett az olcsó előállítási ár teszi a terméket versenyképesé. Mennél nagyobb az üzleti nyereség, annál jobban fejleszthetik az üzemet és annál többet áldozhatnak a tudományos osztályra. Tehát érthető, hogy gondosan ügyelnek, hogy fennakadás ne forduljon elő. Az ellenőrzés természetesen kiterjed a munkásokra is. Mindegyikről tudják: milyen gyorsan dolgozik és milyen minőségű a munkája. Ezen az alapon jutalmazák, vagy bocsátják el, vagy helyezik a képességüknek jobban megfelelő munkahelyre. Minden munkás csak egy bizonyos részletmunkát végez, melyben különleges ügyességet sajátít el. Ez a specializálódás annál fontosabb, minél finomabb munkáról van szó. Az optikai műhelyben találkozunk öreg munkásokkal, akik már 20—30 éve csinálják ugyanazt. Ezek olyan pontosan dolgoznak, hogy az ellenőrző műszerek jóformán sohasem találnak munkájukban hibát. A gyár maga neveli a szakmunkásait. Ezek a gyár inasiskolájában kapják elméleti kiképzésüket és az itt tanusított képességüknek megfelelően helyezik őket a munkahelyekre, ahol kezdetben egyszerűbb munkákat bízhatnak rájuk. A gyártási iroda gondoskodik az anyagbeszerzésről is és arról, hogy az mindenkor a kellő minőségben és mennyiségben álljon rendelkezésre a szükséges helyen.

Miközben ezeken az osztályokon áthaladunk, kiki a foglalkozásának megfelelő helyen szeretne tovább tar-

tózkodni. A mikroszkópos kutató természetesen a tudományos osztályon szeretne mindent látni. Örömmel ismerkedünk meg itt a gyár optikai szakembereivel, akik nevével már gyakran találkoztunk a mikroszkópi szakirodalom hasábjain. A technikus és műszaki vendégek inkább a konstrukcióban és a gyártási irodában akadnak el.

Ezek után a műhelyekbe vezetnek bennünket. Három fajtájuk van: mechanika, optika és a foglалás.

A mechanikai műhelyekben főként a fémből készült alkatrészek feldolgozását van alkalmunk figyelemmel követni. E rövid leírás keretében természetesen nem részletezhetjük, miként marják, gyalulják, esztergálják, fúrják, préselik, domborítják, csiszolják, fényezik, lakkozzák és krómozzák a mikroszkóp alkatrészeit. Külön van a szerszám műhely, ahol a különleges szerszámokat készítik, valamint az asztalos műhely (mikroszkópszekrények, vetítőkészülék-állványok stb.) és az öntőde. Minden egyes darab méreteit nemcsak a megmunkálás minden fázisa után ellenőrzik század-, ezredmilliméter pontosságú műszerekkel, hanem bizonyos nagyobb szakaszok után is újra átmennek ezek külön ellenőrző állomásokon. A hibás darabokat azonnal kivonják. Nemcsak azért, mert a hibás darabra fordított további munka-, idő- és anyagveszteség, tehát kidobott pénz, hanem azért is, mert a hiba a további megmunkálás folyamán fokozódhatik és átterjedhet a többi darabokra is. A hibás darabot, ha lehet, kijavítják, de utána néznek a hiba okának is, mégpedig tüstént, mert a legkisebb késlekedésből nagy kár származhat. Ha pl. valamelyik gép vagy szerszám elállítódása, vagy elomlása okozta a hibát, akkor a többi darabok is hasznavehetetlenné válnak. A hibaforrást tehát azonnal ki kell küszöbölni. Ezt a szörszál-

hasogatásig gondos ellenőrzést látva fokozódik a bizalmunk a gyár iránt.

A műhelymunka végén egyes részeket össze is szerelnek és így kialakulnak bizonyos mikroszkópalkatrészek egységei (állvány, tárgyasztal, tubus, revolver stb.), amelyek a féligkész raktárba kerülnek. Ezekből a „normalizált“ alkatrészekből a rendelés beérkezésekor a kívánságnak megfelelően állítják össze az egyszerűbb, vagy dúsabban felszerelt mikroszkópokat. Érdekes, hogy a sok ellenőrzés ellenére az összeillesztésnél még mindig van szükség néha enyhe csiszolásra, apróbb igazításra, amit kézimunkával vegeznek. Hibás, hasznavehetetlen darab nem kerülhet ki a gyárból.

Az optikai műhelyben nagy, homályos üvegtömböket látunk, melyek jégdarabokhoz hasonlítanak. Ilyen alakban szállítja az üveghuta a nyers optikai üveget. Minden tömbön feltüntetik az öntés számát, melyhez a huta közli az üveg optikai adatait. Ezt a gyár még egyszer ellenőrzi. El lehet képzelni, hogy a legkisebb tévedés milyen nagy hibát és anyagi kárt okozhat: a nagy darab üvegből rengeteg költséggel készült sok száz lencse mind teljesen hasznavehetetlen volna! Az üvegtömböket a készítendő lencsék ragyságához képest üvegfűrészsel négyszögletes darabokra vágják szét. Gyorsan forgó vékony cinkkorong ez, melynek élébe apró gyémántdarabkákat süllyesztettek. Az üvegdarabok szélét nagyjában kerekre törlelik. Az egyforma nagyságú lencsékhez szánt darabokat pénztekercsszerűen 15—20 cm hosszú rúddá ragasztják össze és egyszerre köszörülik hengeresre. Ezután ismét szétbontják a rudat és az egyes korongocskákat külön köszörülik tovább; először durva szemcséjű csiszolókoronggal nagyjából lencseformára, azután az alakjának megfelelő csiszolóformában fokozatosan finomabb csiszolóporral⁵⁴ köszörülik és fényezik. Közben folyton ellenőrzik a vastagságát és a görbületét. A vastagságot

századmilliméter pontossággal mutatja a „szferométer“, a görbületet pedig próbalencsével ellenőrzik. Ez a csiszolandó lencséhez hasonló görbületű, de ellenkezően görbült felszínű lencse, melyet összeillesztenek az ellenőrzendővel. Ha az új lencse görbülete még nem tökéletes, Newton-féle gyűrűk keletkeznek az összeillesztett felszínek között. A csiszolást addig folytatják, míg ezek a színes interferenciás gyűrűk elmosódnak. Ezzel az eljárással 1/10.000 mm-nyi pontossággal lehet ellenőrizni a lencse görbületét.

Most következik a lencse központosítása, ami abban áll, hogy a peremét az optikai tengelyéhez képest központosan leköszörülik. Ezután az akromatikus lencsepárokat, vagy hármaslencsét kanadabalzsam és dammárlakk keverékével melegen összeragasztják.

A legnagyobb ügyességet és szakértelmet a foglalás, azaz a lencsének a sárgarézfoglatba való beillesztése kívánja. Eközben különösen a központosításra és a lencsék egymástól való kellő távolságának pontos megtartására kell nagy gondot fordítani. A kerekre sztergált sárgarézfoglatba központosan kiesztergálják a lencsefészket, amelybe egészen a hátsó peremig besüllyeszti a lencsét. A lencsék egymástól való távolságát ez a perem határozza meg. Foglalás közben a foglatot esztergapadon forgatják s közben melegítik is, hogy megolvadjon az a ragasztóanyag, amellyel a lencsét beragasztják a foglatba. Ez különböző gyanták (kanadabalzsam, masztix, dammárgyanta stb.) keveréke, melynek pontos összetétele gyári titok. Fontos, hogy a ragasztóanyag üveghez is, sárgarézhez is jól tapadjon és ne váljon el ezektől hőmérsékletváltozásra sem. A frontlencse ragasztóanyagától még azt is megkívánjuk, hogy a mikrotechnikai vegyszerek (xylol,

⁵² Schmirgel, emery. Régen a Naxos-szigetén bányászott korund porát használták üvegcsiszolásra, ma mesterségesen állítják elő a csiszolóport bauxitból.

benzol, benzin, alkohol, cédrusolaj) ne oldják. A finom centrálást addig kell elvégezni, míg folyékony a ragasztóanyag. Nagy gyakorlatú munkások, akik egész életükben mindig csak ezt csinálják, szabad szemmel végzik a központosítást. E végből az ablakkeret tükörképét figyelik a lencsén, amelyet folytonos forgatás közben vékony fapálcával addig tologatnak a foglalatban, míg a reflex nem forog többé körben. A lencsét addig kell ebben a helyzetben tartani, míg a ragasztóanyag megmered. Ekkor keskeny hornyot karcolnak a foglalat elülső szélébe a lencse körül és az így keletkező keskeny peremet óvatosan ráhajtják a lencse szélére. Végül fényesre csiszolják a foglalatot, amelybe már a foglalat előtt bevésték a cégjelzést és a lencse adatait (numerikus apertúra, nagyítás).

XI. A mikroszkóp története.

A mikroszkóp nem valami különleges fénytani jelenségen alapuló műszer, hanem olyan egyszerű fénytani eszközök (tükör, lencse, prizma) kombinációja, amelyek sok más optikai műszerben is alkalmazást találnak. Ezért, ha a mikroszkóp fejlődését akarjuk tanulmányozni, akkor tulajdonképpen nem az összetett mikroszkóp feltalálásánál kell kezdenünk a történetét, hanem sokkal messzebb kell visszamennünk, hogy ennek előzményeit is megismerjük. Úgyszintén ez az oka annak is, hogy a mikroszkóp fejlődése — különösen kezdetben — nem volt önálló, hanem mindig szoros kapcsolatban haladt a többi optikai műszer tökéletesedésével. Különösen a távcsőnek köszönhet sokat, mellyel születésénél fogva is rokonságban van. A mikroszkóp tökéletesítése terén elért újabb nagy eredmények (melyek főképp a lencsehibák javításával függnek össze) nagy csillagászok nevéhez fűződnek (HERSCHEL, FRAUNHOFER,

AMICI). A mikroszkóp csak történetének legújabb korszakában vált különlegesen reáfordított vizsgálatok tárgyává, amióta gyártása önálló iparág lett.

HARTING, aki szorgalmas kutatások alapján megírta a mikroszkóp történetét, négy szakot különböztet meg a fejlődésben. Az első szak addig tart, míg a mikroszkóp legfőbb alkatrészeinek, a lencséknek főbb sajátosságait szélesebb körben megismerték és a lencsekészítés ismerete elterjedt, azaz kb. 1300-ig, a szemüveg felfedezéséig. A második periódus az egyszerű nagyító, a lupa elterjedésének az ideje és az összetett mikroszkóp feltalálásáig (1600 körül) tart. Az előzmények történetét az összetett mikroszkóp első fejlődésének korszaka követi. A gömbi és színi hiba javításának megismerésétől kezdődik a mikroszkóp újkora, melyben úgy technikai kivitel, mint optikai tökéletesség szempontjából jóformán elérte a mai állapotot. Ez a kor, melyben HARTING is élt, mai ismereteink távlatából nézve ABBE fellépéséig, azaz az apokromátok felfedezéséig tart (1886). Innét számíthatjuk a mikroszkóp fejlődésének legújabb korszakát.

Az első fénytani jelenségek között, melyek a primitív ember figyelmét felkeltették, valószínűleg már korán szerepelt a tükrözés, és az emberi természet némi ismeretével feltételezhetjük, hogy a tükör a művelődés legelső eszközei között jelenhetett meg. Az egyszerű fénytani jelenségek, a látás, a fény és árnyék, a tükrözés és fénytörés szabályszerűségeivel már a régi görög bölcsek foglalkoztak (EUCLIDES, Kr. e. 4. sz.; szirakuzai ARCHIMEDES, Kr. e. 3. sz.; alexandriai HERON, Kr. e. 2. sz.; CLAUDIUS PTOLOMAEUS, Kr. e. 2. sz. stb.), akik már a homorú tükröt is ismerték. Eleinte csak a gyújtó hatását ismerték, nagyító képességéről először PLINIUS (az idősebb, Kr. u. 23—79.) tesz említést. Az a közismert történet, hogy ARCHIMEDES Syracusa ostroma (Kr. e. 210—212 ?) alkalmával az ostromló rómaiak hajóit ho-

morú tükrökkel összegyűjtött napsugarakkal gyújtotta volna fel, a mesék birodalmába tartozik.

Még nemrég az a vélemény volt elterjedve, hogy a lencsék ismerete még régebbi keletű. Az idáig ismert legrégebbi „lencsét” LAYARD találta meg a mult sz. közepén Ninivének, az asszir birodalom K. e. 600 körül felbúrt fővárosának romjai között. Ezt a hegyikristályból való, mintegy 3·5 cm átmérőjű síkdomború lencsét a British Museumban őrzik (Assyrian Gallery). Egyiptomban is kerültek elő lencsealakú leletek. A legújabb szerzők ezeket az ókori lencséket dísz tárgyakként, foglalatukból kiesett ékszereknek tartják. A görög és római irodalomban sok helyen találunk említést arról, hogy üvegdarabok, vízzel telt gömbölyű üvegedények gyűjtőhatását ismerték, de lencsére vonatkozó határozott adataink nincsenek. ARISTOPHANES (Kr. e. kb. 450—385) Felhők c. vígjátékában pl. az egyik szereplő azt mondja, hogy az athéni gyógyszerészek által erre a célra használt üveggel össze fogja gyűjteni a napsugarait és tüzet gyűjt velük. PLINIUS és SENECA (Kr. u. 4—65.) is tudta, hogy vízzel telt gömbölyű üveggel is lehet tüzet gyűjteni s említik, hogy ezt fel is használták az akkori orvosok sebek égetéséhez. Ugyancsak az id. PLINIUS említi, hogy NERO császár (Kr. u. 73—68) smaragdon át nézte a gladiátorok harcát. Sokan a szemüveg őseit vélik felfedezni ebben a smaragdban, mellyel NERO rövidlátását kívánta javítani, ez a kérdés azonban még a mai napig sem tisztázódott.⁵⁵ Egyáltalán arra vonatkozóan, hogy a régi keleti kultúrnépeknek vagy a görögöknek és rómaiaknak valami komolyabb optikai műszerük pl. távcsövük vagy nagyítójuk lett volna, semmi megbízható adat nincsen.

Ügylátszik, ALHAZEN arab természetvizsgáló (Kr. u. 965—1039) volt az első, aki a tükröt és lencsét, valamint a velük kapcsolatos fénytani jelenségeket rendszeresen

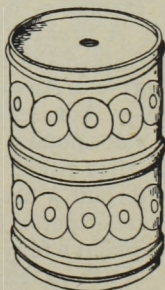
⁵⁵ Egyéb ilyen adatokat l. DISNEY-HILL-BAKER munkájában.

kísérletileg vizsgálta s ezért őt tartják az optika megalapítójának. Néhány évszázadon át az ő eredményei tették az összes fénytani ismereteket, anélkül, hogy ez a tudomány ezalatt valamivel előbbre haladt volna. Ezidőtájt élt a híres bölcselő BACON ROGER (1214—1294) is, aki szintén tanulmányozta a lencsákat és akinek saját csiszolású lencséin olyan csodálatos dolgokat lehetett látni, hogy az ördöggel való cimboraság gyanújába keveredett. A XIII. sz. vége nevezetes időpont a lencse történetében: a szemüveg feltalálásával az emberiség közkincsévé vált. A firenzei S. Maria Maggiore-templom egyik, 1317-ből származó sírfelirata szerint a szemüveg feltalálója SALVINO D'ARMATO DEGLI ARMATI.⁵⁶ A szemüveg elterjesztése ALEXANDER DE SPINA pizai szereztes érdeme, aki valószínűleg DEGLI ARMATITÓL tanulta el a szemüveggé készítés titkát. A XIV. században már egész Európában elterjedt a szemüveg és a lencse csiszolást sok helyen üzték iparszerűen. A lencsékkel kapcsolatban a figyelem főként a fénytörés jelenségei felé fordult, mellyel a XVI—XVII. sz.-ban számos kiváló tudós foglalkozott: CARDAN és DELLA PORTA (nekik tulajdonítják a camera obscura felfedezését), valamint JOHANNES KEPLER (1571—1636) a csillagászati távcső feltalálója (1611), RENÉ DESCARTES (1596—1650), aki megállapította a fénytörés alaptörvényét és ATHANASIUS KIRCHER (1601—1680) a laterna magica feltalálója.

Az első összetett mikroszkópot és távcsövet nem elméleti tudósok, hanem szemüvegcsiszoló iparosok találták fel. Az első két lencséből álló mikroszkópot HARTING kutatásai szerint ZACHARIAS JANSSEN, HANS JANSSEN middelburgi szemüvegcsiszoló mester fia készítette 1590—1600 körül. Nem sokkal ezután találták fel

⁵⁶ „Qui piace Salvino Degli Armati di Firenze, inventore degli occhiali. Dio gli perdoni le peccata 1317.“ (Itt nyugszik firenzei Salvino, a szemüveg feltalálója. Isten bocsássa meg a vétkeit.)

a teleszkópot is⁵⁷ (JAKOB METIUS Alkmaarban és JOHANNES LIPPERSHEY Middelburgban 1608, ú. n. GALILEI f. v. földtávcső), melynek jelentősége akkoriban csak hamar háttérbe szorította a mikroszkópét. Ez érthető is, ha meggondoljuk, hogy a csillagászat akkor már igen fejlett tudomány volt, melynek jelentőségét az egész emberiség ismerte, amivel szemben a természet apró részletei iránt való érdeklődés még csak ezidőtájt kezdett mutatkozni. Már évezredek óta élt a hit, hogy az



100. rajz. Bolhanéző üveg.

ember sorsa és általában a földi jelenségek az égjékkal szoros kapcsolatban állanak, s a csillagászatnak olyan tekintélye volt, hogy akárhányszor befolyásolta a történelmi eseményeket is. Hozzájárult ehhez még az is, hogy az emberek figyelme ebben a korban vallási okokból is nagyon a mennyei dolgok felé irányult, nem csodálatos tehát, hogy a távcső lázba hozta a tudományos világot és a maga számára foglalta le a nagy elméket. Azok is, akik apró rovarok nézegetésében lelték kedvüket, inkább csak egyszerű nagyítókat (bolhaüveg, vitrum pulicarium) használtak (100. rajz). Ebben valószínűleg

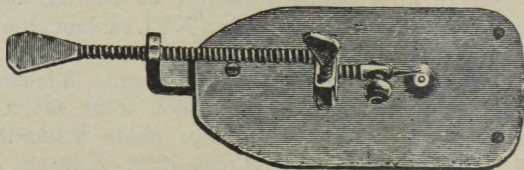
⁵⁷ A *microscopium* elnevezés GIOVANNI FABERTŐL származik (1625), aki azt a *telescopium* (GI. DEMISIANO 1611) mintájára találta ki.

szerepet játszott az anyagi eszközök hiánya is, amivel szemben a csillagászati műszerek fejlődését az egyházi és világi fejedelmek jelentős támogatása is segítette. A lassan terjedő és fejlődő mikroszkópos vizsgálatok terén tehát az összetett felfedezése után még igen sokáig az egyszerű mikroszkóp volt az uralkodó műszer és csak jóval később vette át a vezető szerepet az összetett. Sokáig is tartott, míg ezzel olyan nagy nagyításokat tudtak elérni, mint az egyszerű nagyítóval, ami szintén meggátolta azt, hogy jelentőségét már kezdetben felismerjék.

Az egyszerű mikroszkóp története az említett bolhaüvegekkel kezdődik, melyek már a XVI. sz.-ban elterjedtek és hozzátartoztak a korabeli természettudósok felszereléséhez. A nép azonban még babonás félelemmel ördögi szerszámoknak tartotta ezeket, mint azt a következő történet is mutatja. Mikor páter SCHEINER, a híres jezsuita csillagász (1575—1659, KEPLER kortársa, a napfoltok felfedezője) utazásközben Tirol egy kis falujában meghalt, holmijának átvizsgálásakor előkerült a tudós bolhaüvege is. A benne lévő bolhát ördögnek nézték s a tudóst az ördöggel való cimboraság miatt nem akarták eltemetni.

Ezek az egyszerű nagyítók fejlődésük közben sok értékes és maradandó felfedezéssel gazdagították a természettudományt. Igen nevezetes vizsgálatokat végzett saját készítésű, kb. 180-szoros nagyítású lencséjével MARCELLO MALPIGHI olasz orvos és anatómus (1628—1694), a mikroszkópos anatómia megalapítója. Ő fedezte fel többek között a béka vörösvérsejteit és ő figyelte meg először a vér áramlását a béka tüdejének hajszálereiben. Kortársa volt Hollandiában minden idők egyik legnagyobb mikroszkópos vizsgálója ANTON LEEUWENHOEK (1632—1723), akinek egész sereg értékes felfedezést köszönhetünk. Ő fedezte fel az állott vízben

úszkáló apró egysejtű lényeket, az infuzóriumokat, az ember vörös vértestéit stb. LEEUWENHOEK teljesen maga készítette nagyítókészülékeit a lencsékkel együtt. Számos hátramaradt mikroszkópja közül a legnagyobb nagyítású (270-szeres, Utrechtben őrzik). A 101. rajz mutat be egy ilyen mikroszkópot. Rézlemez kis vájulatának fenekén lévő lyukba erősített apró lencse képezi a nagyítót. Ha világosság felé tartották az eszközt, akkor az áteső fényen kívül a kivájt lencsefoglalatról visszaverődő fény is megvilágította a lencse előtt csavarral beállítható tűre erősített tárgyat.



101. rajz. Leeuwenhoek mikroszkópja.

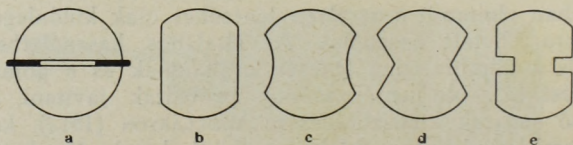
Az ezen korbeli egyszerű mikroszkópokat éppúgy, mint LEEUWENHOEKÉT is kézben kellett tartani, ami kézenyelmetlen volt. Ezért a nagyítót később állványra erősítették és tükörrel látták el. Közben változáson ment keresztül a lencsekészítési eljárás is. Kezdetben természetesen mindent elkövettek a nagyítás fokozására és mind kisebb lencsákat igyekeztek készíteni. Az ilyen kis lencsék csiszolása ropant ügyességet kíván és bámulatraméltó, hogy milyen csodálatos eredményeket értek el. FONTANA egyik csiszolt lencséje 825-szörösén nagyított, GOULDE pedig 1100-szoros nagyítású lencsét is csiszolt (HARTING). Csakhamar rájöttek, hogy sokkal kisebb, tehát nagyobb nagyítású lencsákat lehet készíteni úgy hogy apró üvegszemcsét olvasztanak (R.

HOOKE).⁵⁸ Kellő tökéletességű apró üveggolyócskák olvasztása különleges gondot és technikát igényel s azt, hogy ezt a XVIII—XIX. sz. határán mennyire tökéletesítették, mi sem mutatja jobban, mint az, hogy a nápolyi GIOVANNI MARIA DELLA TORRE 2560-szoros nagyítónagyítású lencsét is tudott olvasztani (HARTING).

A nagyítás fokozására irányuló erőfeszítések közben kiderült, hogy a nagyítás növekedésével rohamosan romlik a kép minősége. Már DESCARTES tisztában volt azzal, hogy ez a hiba nagyrészt a lencsefelszín gömbalakjában gyökerezik s javítására parabolikus és ciklohiperbolikus felszínű lencsét ajánlott. A várt hatás azonban elmaradt s az ilyen lencsét csak különleges célokra lehetett használni. Az általános használatban ma is a gömbfelszínű lencsék uralkodnak és a gömbi eltérést (35. old.) más módon próbálták javítani. A szélső sugarak kiküszöbölésére WOLLASTON (1812) két síkdomború lencse síkfelületére közé kerek fényhatárolót illesztett. A két lencse közti hézagot később (1837) BREWSTER kanadabalzsammal töltötte ki. Kanadabalzsamnak lencsék összeragasztására való használata VINCENT és fia CHARLES CHEVALIER, híres francia optikusok nevéhez fűződik (1823). A gömblencse ekvátorának lecsiszolásából származott az ú. n. hengerlencse, melyet emléktárgyakba, tollszárakba stb. illesztve még ma is használnak apró fényképek megnagyítására. Ezt úgy tökéletesítette tovább BREWSTER, hogy a lencse széleit homorúan köszörülte le. CODDINGTON ékalakban köszörülte ki a lencse egyenlítőjét, a hengerlencsébe pedig köröskörül szögletes hornyot köszörült (102. rajz).

⁵⁸ ROBERT HOOKE híres angol fizikus (1635—1703) HUYGHENS-szel egyidőben felfedezte a zsebóra rúgós szabályozóját, a ketyegőt. Csodálatos finomságú mikroszkópos megfigyelései és még a mai napig is túlszárnyalatlan tökéletességű rajzait *Micrographia* című munkájában közölte. Az ő nevéhez fűződik a sejt felfedezése, mert ő írta le először a bodzabél és a parafa sejtjeit.

NEWTONnak a fény természetére vonatkozó vizsgálataival kapcsolatban kiderült, hogy nem a gömbieltérés a legjelentékenyebb lencsehiba, hanem még sokkal zavaróbb hatása van a színieltérésnek (l. 44. old.). NEWTON mutatta ki, hogy a különböző üvegfajtáknak más a disperziója. Már kezdetben világos volt, hogy ezt a hibát csak két vagy több lencse összeillesztésével lehet javítani. A lencsehibák javítása céljából már a XVIII. században kezdtek több lencsét összeilleszteni. Elméleti úton először EULER (híres matematikus 1707—1783) igyekezett bebizonyítani az ilyen rendszerek előnyeit a

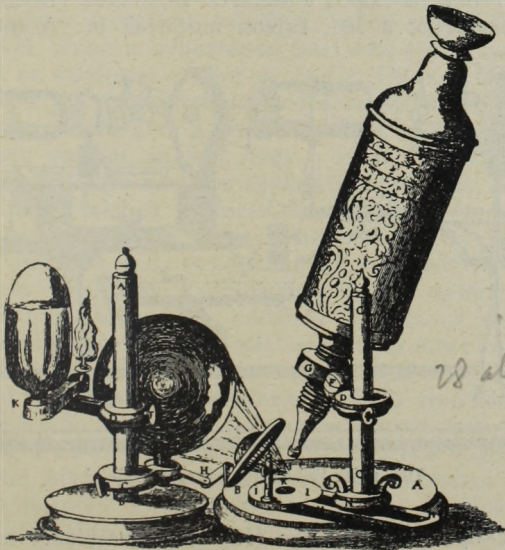


102. Rajz. Régebbi kísérletek a gömbi eltérés javítására.
a) Wollaston, b) hengerlupe, c) Brewster, d) és e) Coddington.

gömbi és színieltérés javítása szempontjából. Minden elméleti alap nélkül, pusztán próbálgatással már 1668-ban készített kettős lencsekombinációt EUSTACHIO DIVINI s később LEEUWENHOEK is. CHESTER MORE HALL már 1722-ben készített korona- és flintüvegből távcsőobjektívet s nem sokkal később (1757) követte őt ebben DOLLOND is.

Mielőtt tovább folytatnánk a lencsék tökéletesedésének történetét, tekintsük röviden át, hogyan fejlődött ezalatt az összetett mikroszkóp. A Z. JANSSEN összetett mikroszkópjáról hátramaradt leírások nem megbízhatók. Az első összetett mikroszkópok még csak két lencséből állottak. A Janssen-féle mikroszkóp tárgy- és szemlencséje úgy látszik bikonvex üveg-lencse volt. Emellett azonban kezdetben a Galilei-féle távcső mintájára készült homorú szemlencséjü

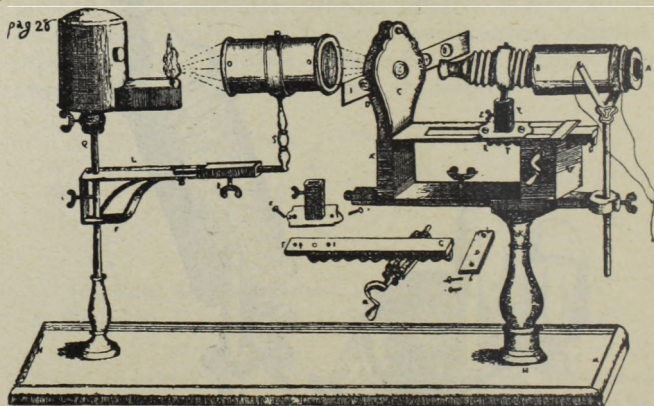
mikroszkópok is voltak forgalomban. A mikroszkóp mechanikai szerkezete már nemsokára kezd hasonlítani a mai mikroszkópok stativumához. A 103. rajz mutatja R. HOOKE 1667-ből származó mikroszkópját a világítóberendezéssel együtt. Technikai



103. rajz. Hooke mikroszkópja.

lyel HOOKE igen nevezetes vizsgálatokat végzett. HOOKE a tárgy- és szemlencse között még egy harmadik látó-térnövelő lencsét is illesztett mikroszkópjába, mely a kivitel szempontjából igen tökéletes szerkezet ez, mely mostani Huyghens-féle okulárok kollektív-lencséjének felel meg. Még tökéletesebb volt EUSTACHIO DIVINI mikroszkópja. Ő két, domború felszíneikkel érintkező

síkdomború lencse kombinációját használta szemlencse gyanánt. Ezek a mikroszkópok mind ráeső fénnel világították meg a tárgyat, FONTANA volt az első, aki át eső fényben való vizsgálatra szánt összetett mikroszkópot készített (1685). Igen tökéletes kivitelben készített hasonló mikroszkópot PHILIPPUS BONNANUS (1691), aki nek készülékét a 104. rajzon mutatjuk be. A modern



104. rajz. Bonnanus mikroszkópja.

mikroszkóp szinte minden lényeges alkatrészét megtaláljuk ezen. Az elrendezés olyan, mint a mai mikroto grafáló készülékeken.

A lencsehibák javítása érdekében a távcsőnél és egyszerű nagyítónál elért eredményeket természetesen hamarosan alkalmazták az összetett mikroszkópnál is. EULER számításainak hatására készült az első akromatikus mikroszkóp, melynek tárgylencséje korona-flint-üveg-kombináció volt. Ez 1784-ben a szentpétervári tudományos akadémia birtokába került. Később Hollandiában FRANCOIS BEELDSNYDER (1791) és JAN és HERMAN

DEYL (1807) készítettek akromatikus összetett mikroszkópot. Az utóbbinak már két, egymással cserélhető akromatikus objektívje és két okulárja volt. Ezek az első akromatikus összetett mikroszkópok még meg sem közelítették azt a nagyítást, amelyet egyszerű lupeval már régen könnyen elértek, mert nem tudtak olyan kis akromatikus lencséket készíteni, mint egyszerű lupe-lencséket. Ezen a nehézségen SELLIGUE (1824) segített, akinek az utasításai szerint A. és CH. CHEVALIER az objektívben több akromatikus lencsekombinációt épített össze egymás mögött, amivel sikerült a nagyítást jelentékenyen növelni, anélkül, hogy a hibák oly mértékben fokozódtak volna, mint az egyszerű nagyítónál. A XIX. század első felében Franciaország, Németország és Angolországban már egész sereg mikroszkópgyár működött és az összetett mikroszkóp nagyon elterjedt. A nagyban való előállítással kapcsolatban úgy az optikai, mint a mechanikai berendezés rohamos fejlődésnek indult.

E rövid történeti összefoglalásnak nem lehet célja tovább követni ezt a fejlődést összes részleteiben, annál is inkább, mert már elmondottuk a főbb eredményeket a mikroszkóp leírásnál.⁵⁹ Ugyancsak ott mondtuk el s itt csak a történeti áttekintés tökéletessége végett említjük fel ismét, hogy a mikroszkóp fejlődésében új periódust jelentett a homogén-immerszió és az apokromatok kidolgozása (1878 ill. 1886). Mindkét újítás ABBE nevéhez fűződik, akinek számításait ZEISS valósította meg a gyakorlatban. ABBE volt a mozgó lelke az optikai üvegek tökéletesítése irányában végzett vizsgálatoknak is (l. 54. old.) ABBE, ZEISS és SCHOTT eredményei a mikroszkóp fejlődésének súlypontját Németországba tették át.

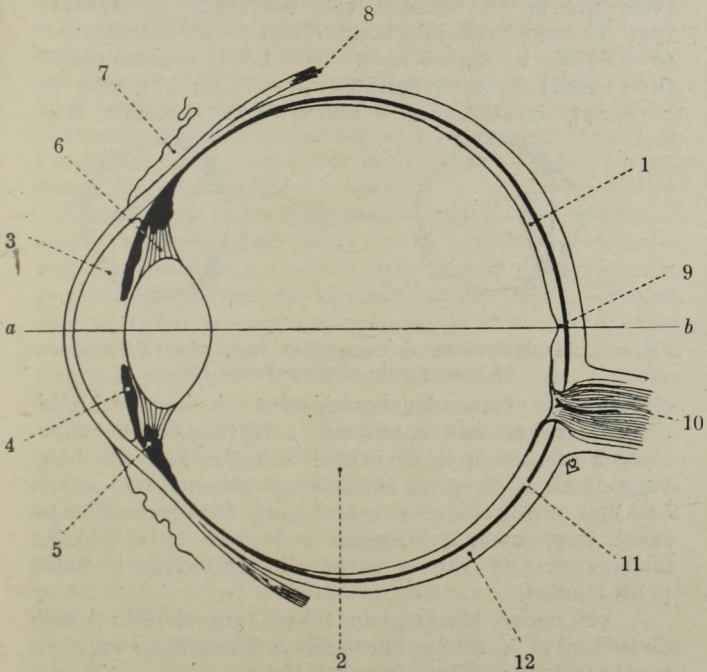
⁵⁹ A múlt század közepétől kezdve időrendi sorban tárgyalja a mikroszkóp fejlődésének minden mozzanatát APÁTHY.

XII. Az emberi látószerv.

Látókészülékünk legjelentősebb része a szemhéjak és a kötőhártya mögött védetten, mozgató izmai között rejtőző szemgolyó: a fényingerek felvevő készüléke. De emögött még a bonyolult idegberendezések hosszú láncolata következik. A szemben keletkező idegingerületet idegpályák (látóideg, látóköteg és számos agyi idegpálya) vezetik a látószerv agyi központjaiba, ahol tudatunkba kerül és látássá válik.

A szemgolyó kis fényképezőgép, mely nagyjából gömbalakú. A szabályos gömbtől való eltérései között az a legfeltűnőbb, hogy elülső, kerek, átlátszó része, a szaruhártya kissé előre domborodik (105. rajz). Ez a szemgolyó ablaka s nem egyéb, mint elülső, átlátszó része a fehér in hártyának, amely a szemgolyó kergét teszi. Az aránylag igen vékony (elől 0.3, hátul 1.5 mm vastag) in hártyát belül még vékonyabb rétegek bélelik. Először a festéktartalmától sötét ér hártya, legbelül az ideghártya (retina). A szem alakját tartalmának nyomása tartja fenn, amely 24 mm átmérőjűre feszíti ki a szemgolyót. Legnagyobb részét átlátszó kocsonyás anyag, az üvegtest tölti ki. Előtte fekszik a szemlencse. Ez előtt a szaruhártyáig terjed a víztiszta csarnokvízzel telt elülső szemcsarnok. Az ér hártya elől elválik az in hártyától, melyet csak a szaruhártyáig bélel és mint szivárvány hártya (iris) harántúl feszül ki a lencse elé. Az iris közepén kerek lyuk van: a szembogár (pupilla). Ez a szivárvány hártyába lévő izmok működésére sötétben kitágul, a megvilágítás erősödésével pedig mindjobban szűkül és így szabályozza a szembe jutó fény mennyiségét. Az ideghártya csak hátul érdemli meg nevét, ahol a fény éri s ahol idegsejtekből és idegrostokból áll. Ezek szabályos rétegekben

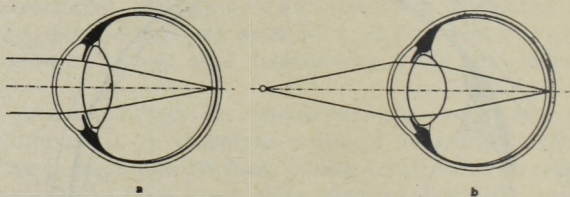
rendezkednek el és a legkülső rétegben fekvő fényérző idegvégződések ingerületét továbbítják a látóideg felé.



105. rajz. A szem vízszintes keresztmetszete. 1 = ideghártya, 2 = üvegtest, 3 = szemcsarnok, 4 = szivárványhártya, 5 = sugártest, 6 = lencsefelfüggesztő rostok, 7 = kötőhártya, 8 = szemizom, 9 = központi gödör, 10 = látóideg, 11 = érhártya, 12 = ívhártya, a—b = látóvonal.

A szem optikai tengelyétől valamivel oldalt, a halánték felé sárga folt és ennek közepén apró horpadás van az ideghártyán: a központi gödör. A tárgyak pontos

szemügyrevételekor mindig úgy állítjuk be szemünket, hogy erre a pontra essék az egyenes sugár: ez az éles látás pontja. A szembe eső fénysugár a szaruhártyát bevonó vékony könnyrétegen, a szaruhártyán ($n = 1.376$), a csarnokvizben ($n = 1.336$, a szemlencsén ($n = 1.4085$) és az üvegtesten ($n = 1.336$) keresztül éri a retinát, de még ezen is keresztül kell hatolnia, hogy



106. rajz. Alkalmazkodás. a) Sugármenet végtelenbe való nézéskor, b) közelre való alkalmazkodáskor.

elérje a fényérző idegvégződéseket. A központi gödröcske fenekén kell a fénynek a legvékonyabb retina rétegen áthatolnia és itt vannak a legérzékenyebb idegvégzések is. A szem törőközegei távolba való nézéskor úgy térítik össze a szembejutó párhuzamos sugarakat, hogy azok a központi gödröcske külső oldalán találkoznak: itt van a szem törőrendszerének hátsó gyújtópontja.

A különböző távolságban fekvő tárgyak éles beállításánál nem a retina közeledik a lencséhez, vagy viszont, mint a fényképezőgépben, hanem a lencse gyújtótávolsága változik meg. Ez az alkalmazkodás (accommodatio, 106. rajz) a lencse görbületeinek megváltozásával játszódik le, mégpedig HELMHOLTZ szerint a következőképen. A rugalmas tokkal feszesen bevont lencse magára hagyva legömbölyödnék, mint egy felfújt gumilabda. De a szemben csak akkor van erre módja, ha meglazulnak azok a finom szálak, amelyek egyenlítőjénél fogva állandóan húzzák az iris

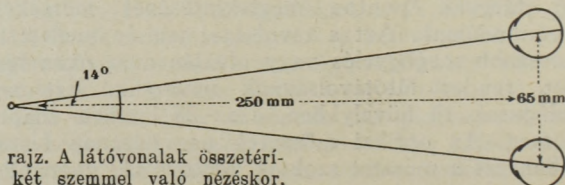
tövének hátsó, megvastagodott része, a sugártest felé. Ezek a szálacsákák akkor a legfeszesebbek és a lencse akkor a leglaposabb, ha a végtelenbe nézünk. Ilyenkor a lencse elülső görbületének sugara 10 mm, a hátulsóé 6 mm, közepe 4 mm vastag és átmérője 10 mm. Ha közelebbre állítjuk be a szemünket, akkor a sugártestben lévő izom összehúzódik (ezért kerül megerőltetésbe az akkommodáció), a sugártest a szem belseje felé megvastagszik és a lencsetartó szálak meglazulnak. Erre a lencse legömbölyödéssel reagál.

A normális (emmetróp) szem közéről való alkalmazkodási határa (közelpontja) kb. 10 cm az ilyen közelre való alkalmazkodás azonban már nagyon fárasztó, mert a végsőig erőlteti az alkalmazkodási izmot. Távollátóknál a nézéskor viszont a alkalmazkodó izom pihen, ezért az optikai műszereket úgy szerkesztik meg, hogy párhuzamos sugarakat továbbítsanak a szem felé. Közelíthető tárgyak pontos megtekintésénél mérsékelten akkommodálunk. Azt a távolságot, amely mellett még a hosszabb megfigyelés vagy olvasás nem okoz fáradtságot, rendes látótávolságnak nevezzük. Ezt angol fiziológusok 10 hüvelykben, azaz 25 cm-ben állapították meg. Az optikai műszerek nagyításának kiszámításában ezt a méretet szokták képtávolság gyanánt felvenni, bár a képet a vizsgálók nagyon különböző távolságban látják.

A rövidlátók szemgolyója hosszabb a kelleténél és ezért a lencse végtelenre való beállításakor az ideghártya előtt keletkezik az éles kép. Távollátóknál a helyzet fordított. Rövidlátó (myop) szemben a kép csak akkor éri el a retinát, ha a tárgy közeledik a szemhez. A közellátó ember csak homorú szemüveggel lát meszszire, mely a párhuzamos sugarakat széttérővé teszi, mintha azok közeli tárgyból érkeznének a szembe. Távollátó (hypermetrop) ember viszont domború szemüvegre szorul. Öregkorban a lencse lassanként elveszti

rugalmasságát és távolra beállított, lapos alakban me-
red meg: kellőképpen alkalmazkodni többé nem tud
(presbyopia). Mindezek a hibák a mikroszkópos vizs-
gálatban nem zavarják, sőt még szemüvegre sincs
szükség, mert a szem törési rendellenességeit a mikro-
méter megfelelő beállításával ki lehet javítani.

Két szemmel való nézésnél nemcsak az alkalmazko-
dás szerepel a beállításban, hanem egy vele önműkö-
dően kapcsolt másik jelenség az összetérítés
(konvergentia) is. Az éles beállítással egyidőben mind-
két szemünk látóvonalát is ugyanarra a pontra állítjuk
be. Ha végtelenbe nézünk, akkor a szemtengelyek pár-
huzamosak, minél közelebb fekvő pontot veszünk
szemügyre, annál jobban hajlanak össze. 25 cm-re való
beállításakor a két szemtengely kb. 14° szöget zár be
(a pupillák egymástól való távolsága 60–65 mm).
A közelebbi nézés okozta fáradtságban nemcsak az alkalmaz-

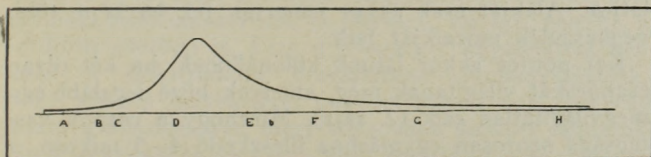


107. rajz. A látóvonalak összetéri-
tése két szemmel való nézéskor.

kodási izom működése, hanem a szemmozgató izmok
egyoldalú igénybevétele is szerepel. A binokuláris
mikroszkóp ismertetésekor említettük, hogy az össze-
térítéssel kapcsolatos izomérzés szubjektíve fokozza a
kétszemű látásnál mutakozó sztereoeszkópiás hatást
(107. rajz).

Az ideghártya fényérző idegvégkészülékei a csapok
és a pálcikák. Ezek a retinában fekvő idegsejtek hosz-
szúkás nyúlványai, amelyek sugárirányú állásban sűrűn
sorakoznak egymás mellé az ideghártya külső oldalán.
Felülnézetben szabályos mozaik képét mutatják. (2.

rajz). Ezek az idegvégzödések a $700\text{--}400\mu\mu$ hullámhosszúságú elektromágneses sugarak iránt érzékenyek, melyek látószervünk útján a fény érzetét keltik bennünk. A retina idegvégzödései nemcsak a fény jelenlétét jelzik és annak erősségbeli fokozatai iránt érzékenyek, hanem fogékonyak a fény minőségbeli különbségeivel szemben is. A rezgésszám nagysága szerint különböző ingerületeket küldenek az agyvelőbe, melyek alapján különböző színeket látunk. A fényintenzitás és a színérzés között különös kapcsolat van: a sárga színt világosabbnak látjuk, mint a pirosat, a zöldet és a ké-



108. rajz. Különböző színek világossága.

ket (108. rajz). Még akkor is, ha ezek fizikai mérések szerint egyenlő energiát képviselnek. (Ez azonban csak bizonyos határon belül van így. Ha a sugárzás nagyon gyenge, akkor az egész spektrum színtelennek látszik. Ha pedig a különböző színek sugárzási energiáját igen nagy mértékben fokozzuk, mindegyiket fehérnek látjuk.) A színek egymáshoz viszonyított világosságának értékelésében látószervünk nagyon elüt a fényképező lemeztől. Ez az elektromágneses színek rövidebb hullámhosszúságú területeivel szemben érzékeny. A kék jobban hat rá (mondhatnánk világosabbnak látja), mint a sárga vagy a piros sugar, és igen érzékeny olyan sugarakkal szemben, amelyeket mi egyáltalán nem látunk (ibolyántúli, Röntgen-sugarak).⁶⁰

⁶⁰ A fénykép tehát egészen tévesen adja vissza a színek világosságbeli értékeit. Ha színes tárgyról olyan fényképet akarunk készíteni, melyen a színek világosságviszonyai ha-

Ha az ideghártyára eső sugárkúp olyan hegyes, hogy csak egy csapot ér, fényes pontot látunk. Ha valami világító felszínről kb. 1°-nyi nyílásszögű sugárnyaláb kerül a szembe, a retinán keletkező képe kb. $4-5\mu$ átmérőjű, azaz éppen befed egy csapot. Ha a világító felület nagyon erős fényt bocsát ki, még sokkal kisebb látószög alatt is meglátjuk, mert a pontszerű látásérzet felkeltéséhez elég, ha a csap egy részét éri kellő erősségű fény. Ez az eset, ha a csillagokat, vagy az ultramikroszkóp csillogó szemcséit nézzük. Míg a fény csak egy csapot ingerel, addig a fényforrást csak pontnak látjuk. Alakját csak akkor ismerjük fel, ha képe több végkészülék mozaikját fedi.

Két pontot akkor látunk különállónak, ha két olyan csapocskát világítanak meg, amelyek közé legalább egy megvilágítatlan esik (2. rajz). Minthogy a csapok vastagsága szorosan egymáshoz illeszkedő $4-5$ mikron, a két pontnak kb. 1°-nyi látószög alatt kell mutatkozni, hogy szemünk feloldja.

A pontszerű sugáregyesítés szempontjából szemünk nagyon tökéletlen. A különböző lencsehibák (gömbi és színieltérés, asztigmatizmus) olyan nagyfokúak, hogy a szóródási körök miatt tulajdonképpen mindent homályosan kellene látnunk. Különös, hogy ezt a hibát éppen a szem egy másik tökéletlensége javítja ki. A végkészülékek u. i. az erős besugárzástól úgy elvakulnak, hogy a közvetlenül szomszédos gyengébb megvilágítást már nem veszik észre. Ezért a szóródási körök nem érvényesülnek, hanem csak a sugárkúp legvilágosabb központi részei. Ez magyarázza meg a mikroszkóp penetrációját is. Az éles képsík alatt és felett bizonyos határon belül fekvő pontokat még éle-

sonlók ahhoz, ahogy azt szemmel látjuk, akkor színszűrőt kell a lemez előtt a sugarak útjába iktatni, mely a túlságosan aktív sugarakat visszatartja.

sen látjuk, amíg tökéletlen élességű sugárkúpjaik világos közepe még egy retinaelemre esik.

Érdekes látásélettani tünetény az adaptáció. Ezen szemünk azt a sajátságát értjük, hogy fényérzékenysége igen tág határok között tud alkalmazkodni a világossági viszonyokhoz. Közismert, hogy eleinte semmit sem látunk, ha világosból sötét szobába lépünk. Ez azért van, mert szemünk künn hozzászokott az erős fényhez. Pár perc múlva már egyes tárgyakat felismerünk a szobában és később már egészen jól tájékozódunk. Félóra alatt szemünk fényérzékenysége az eredetinek többeszeresét is elérheti. És így van ez a fordított esetben is. Erre a jelenségre figyelemmel kell lenni a mikroszkópi vizsgálatkor. Megfigyelhetjük, hogy világos helyiségben nagyon erősen kell megvilágítani a készítményt, mert világoshoz szokott szemünk fényérzékenysége csekély. Sötét szobában sokkal gyengébb megvilágítással jövünk ki, ami nemcsak a készítményre előnyös, hanem jót tesz a szemünknek is.

Messze vezetne, ha tovább akarnánk foglalkozni a látás egyéb érdekes jelenségeivel, pedig van még néhány, amely szerepet játszik a mikroszkópos vizsgálatokban. Nem ismertethetjük a látás idegpályáinak és agyi központjainak szerkezetét sem, nem is szólva arról a kérdéstről, hogy a szemből kiinduló idegingerületek milyen lélektani működések kapcsán válnak tudatossá.

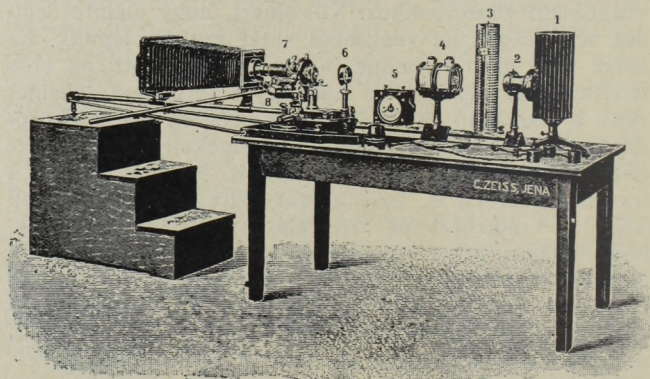
XIII. Mikrofotografálás.

Írta: *Dr. Szabó Elemér.*

Mikrofotografálás on értjük a mikroszkópban látott nagyított kép érzékeny lemezen való rögzítését. Aki mikrofotogramot akar készíteni, annak tisztában kell lennie a közönséges fényképezés-

sel, de ismernie kell az ehhez szükséges különleges berendezéseket és azok alkalmazási módjait is.

A mikrofotografálást vízszintes vagy függőleges helyzetben végezhetjük. (109. és 110. rajz.)



109. rajz. Mikrofotografáló-berendezés beállítása a vízszintes síkban.

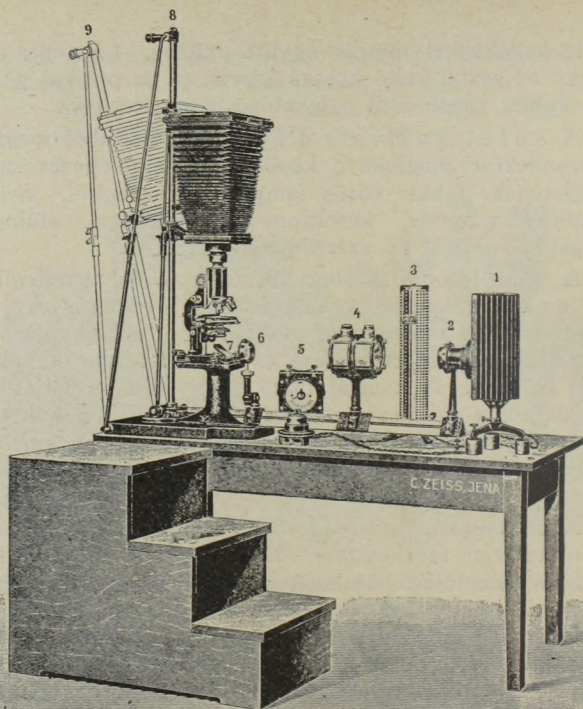
A helyiség, melyet e célra választunk, tágas, nappal is tökéletesen elsötétíthető, az időjárástól függetlénített, állandó hőmérsékleten ($16-18^{\circ}$ R) tartható legyen. Mennyezet világításról és a fényforrás bekapcsolásához szükséges vezetékről gondoskodjunk. Az asztalok külféle anyagból lehetnek. A célnak megfelelnek a közönséges faasztalok is; száraz anyagból készüljenek, nehogy az asztallap elgörbülése zavart okozzon. Ha a helyiség egyenesen a fenti célra épült, a felépítmény aljából a szobába nyúló betontömbre helyezük a készülékünket. A padlózat hézagait nemezzel töltjük ki. A gyarak fémasztalokat készítenek, melyeken az optikai pad rugókra van felfüggesztve. Ez által elérik azt, hogy az optikai pad, a rajta egymásután elhelye-

zett kellékekkel mindig együtt mozog. Lényeges az, hogy az asztal kellő hosszú legyen és az optikai padot az épület rezgéseitől a lehetőségig mentesítsük.

A sötét kamra a fényképező szobából nyíljk. Berendezése megfelel a közönséges fényképezés szükségletének: tehát vörös lámpa rubinüvegből, viridapapiros világítás, autokrom felvételekhez, előhívó, rögzítő, öblítő és szárítóberendezés.

A mikrofotografáló berendezések közül sorrendben az optikai padot említem meg legelőször. Az optikai pad olyan egyenes rúdvas, melyen egymásután sorjában vannak elhelyezve és központosítva a szükséges kellékek. A kamrát tartó része csuklón hajlítható derékszögig és csavarral rögzíthető. Közbe van iktatva a mikroszkóp felállítására szolgáló vasalaplap, amely a mikroszkópnak az optikai tengelybe való pontos beállítását teszi lehetővé.

A mikroszkóp is tulajdonképen az optikai pad elve alapján van szerkesztve. Műveletünkhöz csuklón hajlítható, lehetőleg bötubusú mikroszkópot használjunk, hogy kis nagyítású lencsét alkalmazhassunk. Vizsgáljuk meg a tárgyasztalt, hogy ne inogjon és a tubus lakkozása belül sértetlen legyen. Apokromátokkal lehet a legtökéletesebb felvételeket készíteni. Kis átméretű képeket az ú. n. planaris tárgylencsékkel állítunk be. Szemlencsékül a kettes és négyes kompenzációs okulárokat, utóbbi időben főként a Homal szemlencsét alkalmazzuk. (111. rajz.) Kondenzorokul: szemüveg-, akromatikus-, aplanatikus-kondenzorokat, valamint alkalmas foglalatba helyezett mikroszkóp tárgylencsék használhatók. Legyünk tekintettel arra, hogy a kondenzor nyílásszöge mindenkor kétharmaddal haladja meg a tárgylencse nyílásszögét. Használat előtt a lencsét tisztítsuk meg.

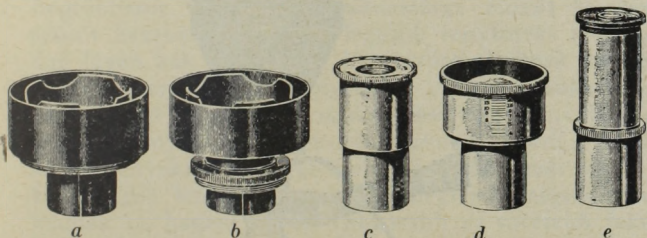


110. rajz. Mikrofotográfáló-berendezés beállítása függőleges síkban.

Nagy kihuzatú kamrákkal nem mindig érjük el kézzel a mikroszkópot beállító csavarokat, ezért távbeállítóra van szükségünk. Ez utóbbi 1 méter hosszú rúd végére derékszögben felszerelt, a mikroszkóp mikrométer csavarára illeszthető kar.

Fényforrás lehet bármilyen mesterséges fény, amely egyenletesen és kellőleg megvilágítja a készit-

ményt: petroleum-, gáz-, elektromosfény (ívfény, Nernstfény, higanygőzlámpa, izzólámpa). Ma már legtöbbször a pontfénylámát és a magas gyertyafényerejű $\frac{1}{2}$ wattos izzószálas projekciós villanylámát használjuk. Ez utóbbinak főelőnye, hogy fénykibocsájtását nem változtatja. A lámpát kímélő ellenállást mel-

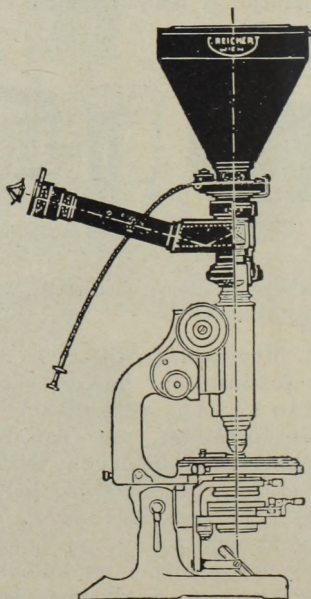


111. rajz. Homál szemlencsék.

lette állítjuk fel. Meggyújtás előtt győződjünk meg annak állásáról, fokozatosan lassan kapcsoljuk ki. A lámpa hőszugárzását vízhűtőkkel (küvetákkal) csökkentjük. Fényforrásunk porcellán szigetelődő álló fémházba van elhelyezve, melynek nyílása a mikroszkóp felé néz és tejüveg fényszűrő helyezhető elébe. A fényforrás és a mikroszkóp közötti távolság kb. 80—90 cm. Legyünk arra tekintettel, hogy csak gyenge izzáskor nézzünk a lámpába, mert különben vakít.

Fényképezőkamrára alkalmas foglalattal kapcsolódik a mikroszkóp szemlencsei végéhez. (112. rajz.) A kihuzatrámák az optikai padon csúsztathatóan mozognak. Az optikai padnak ez a része többnyire hengeres vas, melyen legtöbbször centiméterbeosztás van. Vége csavarral emelhető és süllyeszthető. A kamrába közvetlenül a homályos üveg elé különböző alakú résekkel ellátott fémlapbetéteket helyezhetünk. Ugyancsak itt rögzíthető a homályos üveg, valamint a kazetta.

Egyéb kellékek: különböző fényforrásoknak megfelelő kollektorlencse fényrekesztővel, foglalatban a lámpaház előtt áll. Állványával elcsúsztatható és rögzíthető az optikai padon. A lámpa fényerejét fokozza és a megvilágítást egyenletessé teszi.



112. rajz. Reichert—Cerny mikrofotografáló-berendezés.

Segédkollektorlencse közvetlenül a kollektor után kerül az optikai padra. Azt a célt szolgálja, a mozdulatlan kollektor mellett, hogy mozzgatásával állíthatjuk be az Abbé-féle megvilágító készülék fényrekesztőjére élesre a fényforrás képét.

Központosító lencsék arra szolgálnak, hogy gyújtópontjuknak megfelelően állítva, a minden irányban mozgatható állványokon, központosítsák a kollektor és segédkollektor által vetített fénynyalábot.

Altalában fényszűrők bekapcsolásával monokromatikussá alakítjuk át a fényforrás fehér fényét. Legtöbbször a spektrum zöldessárga fényét áteresztő szűrőt használjuk, mert a legtöbb fényforrás igen gazdag lévén kék fényben, a bromezüst rétegnek ez iránt való ismeretes érzékenységét ezáltal csökkentjük. Ezen szűrő használatát szükségessé teszi továbbá az, hogy többnyire vörös és kék színben gazdag festésű készítményekről kell felvételt készíteni, már pedig a közönséges lemezeken nem a megfelelő színek emelkednek ki, hanem a kép világosabb és sötétebb fekete foltokból tevődik össze. Ezen árnyékkülönbségeket a szintelen lemezeken a monokromatikus fény érzékelteti a legjobban.

Megkülönböztetünk szilárd és folyadék szín-
szűrőket. Az előbbieket vagy színes tükörüvegből készülnek (Lifa), vagy két tükörüveg lemez között kiöntött festett zselatinréteg alkotja. A kerek tükörüveg szín-
szűrőket az Abbé-féle megvilágító készülék fényrekesztője mögé helyezük. A folyadékszűrők a fény-
sugár hűtésére szolgáló küvettákba teendők. A különböző fényforrásoknak megfelelő különböző összetételű folyadékokat használunk. Egymás mögé helyezve a küvettákat kombinálhatjuk is azokat. Így a következő előírások közül választhatjuk ki a megfelelőket, illetőleg azok kombinációját.

1. 300 cm³ desztillált víz, 30 g kálium bikromát.
2. 300 cm³ desztillált víz, 30 g rézszulfát, 1 cm³ kénsav.
3. 300 cm³ desztillált víz, 30 g rézszulfát, 1-8 g pikrinsav.

4. 300 cm³ deszt. víz, 60 g didyitrát.
5. 200 cm³ deszt. víz, 100 cm³ ammonia, 15 g rézszulfát.
6. 300 cm³ deszt. víz, 2 cm³ kénsav, 6 g kénsavas chinin.
7. 300 cm³ deszt. víz, 1 cm³ kénsav, 1 g kénsavas chinin.

Az 1. és 2. számú szűrőket egymás mellé ortokromatikus lemezekhez használjuk. Sárga fényt ad 579 $\mu\mu$ és 576 $\mu\mu$ hullámhossznak megfelelően. 3. számú sárgászöld fényt, 579 $\mu\mu$, 546 $\mu\mu$, 576 $\mu\mu$ hullámhosszon. 3. és 4. számú egymás mögött zöldfényt ad 546 $\mu\mu$ hullámhosszon. Közöséges kékérzékeny lemezhez 5. és 7. számú egymás mögött, kék és ibolyafényt ad 436, 407 és 405 $\mu\mu$ vagy 5. és 6. számú egymás mögött, kék fényt ad 436 $\mu\mu$ hullámhosszon.

A fenti lemezekhez ívfény mellett 5., 6. vagy 7. számút használunk. Fontos, hogy ezeket a színszűrő folyadékokat használat előtt megsűrjük.

M é r ő e s z k ő z ő k. Ilyenek a szemlencsék beállításához szükséges projekciósokulár mérőszalag; a centiméter beosztás homálokhoz szükséges. A nagyítás megállapítására szolgál az objektív mikrométer, mely beosztásos tárgylemez. Kétféle van: az egyik 0·01 mm-es, a másik 0·1 mm-es beosztással. A beállított készítmény helyére téve, a homályos üvegre vetített beosztását mérjük le mm-ekben és ebből osztással számítjuk ki a nagyítást. Pl., ha az objektív mikrométeren 1 mm 100 részre van osztva és a homályos üvegen 10 mm a beosztás két vonalának a köze akkor 10 aránylik a 0·01-hez, = 1000-szeres a nagyítás.

A nagyítást mérés nélkül úgy számítjuk ki, mint a mikroszkópnál (l. ott), de itt a képletbe még egy adat jön, a kamara kihúzat mértéke.

A mikrofotografáló készülék központosítása. A központosításhoz okulárt, objektívet, kondenzort, tükröt el-

távolítunk s a tubusba az okulár helyére szűknyílású fényhatárolót helyezünk. Ezután az optikai pad végén elhelyezett fényforrást meggyújtjuk. A körtét úgy csavargatjuk, hogy a függőleges síkba egymásmellé helyezett fémszalákból álló sík, lapjával a mikroszkóp felé nézzen és a lámpaház nyílása elé helyezett kollektor beszűkített fényrekesztőjének közepére essék; ezt a körteállvány emelő csavara és a vízszintes irányban csuklójahajlítása által érzük el. Ajánlatos előzőleg a mikroszkópot magát központosítani. A mikrofotografáló berendezés központosítása másképpen történik vízszintes és függőleges fényképezéskor.

A) Központosítás vízszintes felvételnél. A vízszintesre hajlított tubusú mikroszkóp optikai tengelyébe állítjuk be az összes többi optikai alkatrészek tengelyét. Evégből a következőképpen járunk el:

a) Vízszintesre állítjuk be az asztal lapját (vízszintezővel).

b) Vízszintesre állítjuk be az optikai padot.

c) Felállítjuk az optikai padra a lámpást, mely elé ideiglenesen homályos üveget helyezünk, a kollektort, a mikroszkópot, melynek tubusát vízszintesre hajlítjuk. Kondenzorját, objektívjét és okulárját eltávolítjuk s csak a kondenzor fényrekesztőjét hagyjuk meg.

d) A tubuson a lámpás felé átnézve, központosítjuk a kollektort a mikroszkóphoz képest. Evégből a kollektort addig emeljük és süllyesztjük, míg a központja a mikroszkóp tengelyének a magasságába kerül. A lovasra szerelt kollektor oldalirányban többnyire nem mozgatható, ezért a segéd kollektorral végezzük a finom központosítását. Központosított helyzetükben rögzítjük a mikroszkópot és a kollektort.

e) A homályos üveget eltávolítjuk, a lámpás elől és a fényforrás képét a kollektorral a mikroszkóp kondenzor diafragmájára vetítjük. Az éles beállítás végett a segédkollektort mozdítjuk el az optikai padon.

f) A fényforrást központosítjuk. Evégből addig mozgatjuk függőleges és vízszintes irányba, míg az előzőleg beállított éles képe a kondenzor diafragmájának a közepére kerül. Ennek finomabb központosítása a központosító lencsék útján történik.

g) Elhelyezzük a többi kellekeket, az optikai padon, így a pillanatzárt, küvettát, központosító lencsét és nagyjából központosítjuk azokat.

h) Központosítjuk a fényképező kamarát, itt csak arra kell ügyelni, hogy a homályos üveg középpontja (az átlók metszéspontja) az optikai tengelybe kerüljön.

B) Köz p o n t o s í t á s f ü g g ő l e g e s b e á l l í t á s n á l. Abban különbözik a vízszintes beállítás központosításától, hogy nem közvetlenül, hanem tükör segítségével irányítjuk a fényt, a mikroszkópba.

A központosítás hibái. 1. Ha a mikroszkóp tubusát vízszintes beállításnál nem hajlítottuk teljesen vízszintesre, félholdalakú sötét folt jelenik meg a köralakúan megvilágított homályos üvegen. Eltűnik, ha a tubust a rendes helyére visszük.

2. Csillogó gyűrűket okoz a tubus rézhüvelyének belső felületéről lehullott máz helyéről visszaverődött fény. Ezt a hibát kormozással kiküszöbölhetjük.

3. Ovális és egyenetlen a megvilágítása a köralakú megvilágított területnek, ha vagy a lámpás vagy a mikroszkóp kimozdult az optikai tengelytől. Ilyenkor újra központosítunk.

4. Színes gyűrűket kapunk a látótéren, ha nem megfelelő kondenzort használunk vagy vízcsepp van a küvetta falának külső felületén. Aplanatikus kondenzorral szüntetjük meg teljesen a zavart. A vízcseppet letöröljük.

5. Látótér közepe éles, széle homályos, vagy fordítva. Ez az objektív „k é p d o m b o r o d á s” nevű hibája. Javítása különleges fényképező szemlencsével történik, mely a látóteret kisimitja. Ilyen a Zeiss-féle Homal.

A megvilágítás szempontjából fontos, hogy izzószálas lámpánál mindig azonos ellenállás kapcsolással dolgozzunk. Így a lámpafényereje állandó értéket képvisel.

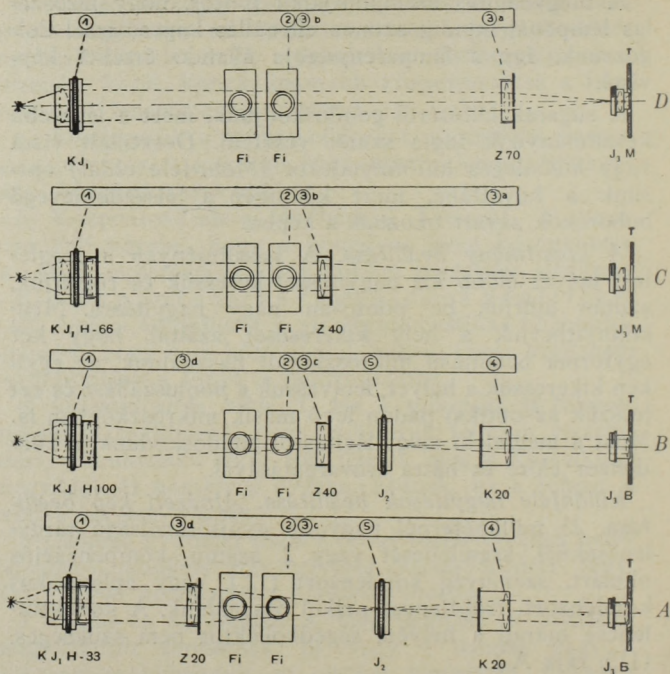
A sugarak hűtéséről gondoskodjunk, mert a legszebb készítményünk fogja színét veszteni. Desztillált vizet vagy különleges hűtőfolyadékot (Mohr-féle oldat) öntünk a küvettába, mert különben a felszálló levegő buborékok zavart okoznak a képen.

A készítmény beállítása. A készítményen a megfelelő helyet előbb kis nagyítással keressük és rögzítjük, azután állítjuk be pontosan nagy nagyításra. Megkönnyíthetjük a hely kikeresését azáltal, hogy két egyforma beállítású mikroszkópot használunk, az egyiket kikeressük a helyet, leolvassuk a noniuszállást és ezt tesszük az optikai padon levő másik mikroszkópban is. Most a megfelelő megvilágításról gondoskodunk, a kondenzor előre és hátra csavargatásával.

Különféle nagyítások beállítása. Átnézeti kép beállítása. 25 milliméternél nagyobb gyújtótávolságú tárgylencsénél szemlencsét vagy 2. számú kompenzációs okulárt, szemüveg kondenzort (12.), vagy aplanatikus kondenzort, frontlencse nélkül használunk. A kollektorlencse marad a helyén, segédkollektor nem szükséges. (113. rajz A.)

Kis nagyítás. 10—25 mm gyújtótávolságú objektíveknel 2. számú komp. okulárt vagy Homalt, 24. sz. szemüveg kondenzort, vagy aplanatikus kondenzort, frontlencse nélkül helyezzük be. A kollektor a helyén marad. 70/6-os központosító lencsét állítunk az optikai padra. (113. rajz B.)

Középnagyítás. 4—8—16 mm gyújtótávolságú objektívekhez 4. sz. komp. okulárt, vagy II. Homalt, aplanatikus kondenzort, frontlencse nélkül, vagy központosítható akromatikus kondenzort alkalmazunk.



113. rajz. Megvilágító berendezések átesőfényben, Zeiss szerint, vázlatosan. A) Atnézeti kép beállítása. B) Kis nagyítás beállítása. C) Közepes nagyítás beállítása. D) Nagy nagyítás beállítása. — K = kollektor, J = fényrekesztő, Fi = fényszűrő-hűtőfolyadékédények, H = segédkollektor. Z = központosító lencse, K₂₀ = kondenzor, B = szemüvegkondenzor, MT = mikroszkóp-tárgyasztal.

A kollektor a helyén marad, 20/6-os központosító lencsét veszünk. (113. rajz C.)

Nagy nagyítás. 12—4—8 mm gyújtótávolságú objektív aplanatikus kondenzort vagy központosítható

foglalatba helyezett 10-es apokromat objektívet megfelelő foglalatban igényel. 4-es kompenzációs okulárt, vagy II. Homalt használunk. A kollektor marad a helyén 20/6-os központosító lencse. (113. rajz D.)

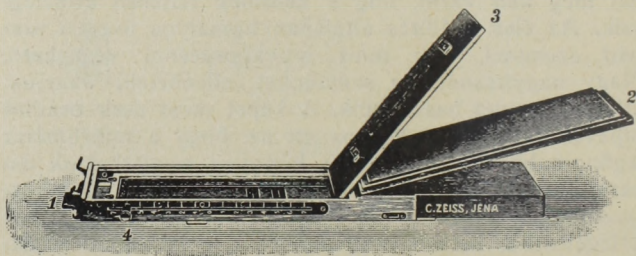
A kamrahuzattal fokozhatjuk a nagyítást s ekkor a kihúzathoz állítani kell a Homalt vagy a kompenzációs szemlencsét.

A kép beállítása. A vízszintesre állított mikroszkópnál meg kell várni, míg a készülék teljesen átmelegszik. Az éles beállítás általában homályos üvegen szabad szemmel, úgy mint fényképezésnél végezhető. Nagy nagyításnál, ha szemünket ellenőrizni akarjuk, átlátszó üveget használunk. A képet most csak beállító lupával nézhetjük. Fontos itt az, hogy a mikrométer legfinomabb elmozdulását is könnyen megláthatjuk dacára annak, hogy a legélesebb kép is a lupán át homályosan látszik. Tehát nem azt kell nézni, hogy mikor a legélesebb, hanem hogy mikor a legkevésbé homályos a kép. A végleges éles beállítás a fényesűrő beállítása után történhet.

Expozíció. A megvilágítási idő függ a lámpa fényerejétől, a színszűrőktől a kondenzortól, annak fényrekesztőjétől, a nagyítástól, a készítmény minőségétől és a lemez fényérzékenységtől. Legbiztosabban tolok a zettával, multiplikátorral határozhatjuk ezt meg. (114. rajz.) Használata abból áll, hogy a kamara hátsó ráájába elhelyezett fémlap 1—2 cm széles, hosszanti rése előtt eltoljuk a lemezt, így mindig csak az eltolásnak megfelelő csíkot világíthatjuk meg. A Zeiss-féle kazettával 9×12 lemezen 7 csíkot fényképezhetünk. A megvilágítási időt csíkonként mindig az előző csík megvilágítási idejének kétszeresével emeljük. Fontos az, hogy pontosan feljegyezzük a sorrendet és a megvilágítási időtaramot. Az előhíváskor normális előhívó oldattal 2—5 percig dolgozunk. Rögzítés után meghatározzuk, illetve kiválasztjuk a pontos megvilágítási időt.

Eltávolítjuk a rést és kerek kivágású fémlapot teszünk a helyébe. Mégegyszer ellenőrizzük a beállítás helyességét, a kazettát óvatosan behelyezzük, elzárjuk a fényt és kihúzzuk a kazetta fedelét. Rövid ideig várunk, míg a készülék megnyugszik, rezgése megszűnik. Ezután a lemezt megvilágítjuk.

Készítmény. Vezérelvként szolgáljon a mikrofotografálásnál az, hogy rossz készítmény lehet ugyan jó



114. rajz. Tolókazetta (multiplikátor).

bizonyíték, de sohase kaphatunk jó felvételt róla. Ezért csak a vékonyra metszett, általánosságban $10\ \mu$ -nál nem vastagabb, jól festett, kellően felvilágosított metszetek alkalmasak. Ügyeljünk arra, hogy itatóspapírszál, vagy kicsapódott festék-szemcse ne zavarja a beállítást.

A felkent preparátumokat, függő csepp készítményt, többnyire függőlegesen állított kamarával vehetünk fel. Fényképezhetünk Petri-csészén keresztül baktériumtelepeket is; a csészét ragtapasz csíkkal erősítjük a tárgyasztalra.

A kazetta megtöltése és a lemez kidolgozása. Lemez berakás előtt a kazetta belsejéből kitörüljük a port. Ne felejtkezzünk meg arról, hogy egyszerű vagy kettős kazettába rakjuk be a lemezt, mert közönséges leme-

zeknél a fényérzékeny rétegeknek kell a fényforrás irányába lenni.

Az előhívás lényege a megvilágított ezüst sók redukálása. Használhatunk bármilyen előhívót. Ez utóbbi 19 fok Celsius hőmérséklet mellett használható ki a legjobban. Az előhívó tálba annyi oldatot öntünk, hogy a folyadék a lemezt, vagy lemezeket jól ellepje; ügyeljünk arra, hogy az előhívó egyenletesen érje a fényérzékeny réteget, különben a lemez foltos lesz. Az emulzióhoz tapadt léghólyagokat távolítsuk el. Az előhívóban legalább öt-hét percig tartsuk a lemezeket, mert a rögzítő fürdőben a kép veszít élességéből. Ne kísérletezzünk helytelenül megvilágított lemezek erősítésével, vagy gyöngítésével, inkább ismételjük meg a felvételt.

Folyóvízben egy-két percnyi lemosás után, rögzítő fürdőbe kerül a negatív. Itt addig marad, míg az üveg oldal felől látható fátyol eltűnik. Lehetőleg folyóvízben mossuk, egy-két óra hosszat. Az egyes oldatok hőmérséklet különbsége lehetőleg kicsiny legyen, mert különben zsugorodik a zselatin réteg, 25 C° felett pedig feloldódik.

Hűvös, pormentes helyiségben szárítsuk, sohasem napon. A lemez sérülési hibáit negatív retussal javítjuk ki. A kémiai tisztaságra ügyeljünk!

A pozitív kép. Papír másolatokat készíthetünk nap másoló papíron, ekkor aranyfürdővel rögzítünk, vagy előhívópapíron (brómezüst gázfénypapír), amelyeknek kidolgozása ugyanúgy történik, mint a negatívoké. A legszebb képeket a fényes papíradja. Lemezhibákat pozitív retussal is javíthatunk. A kópiát világosabb kartonlapra felragasztjuk és az utóbbira vezetjük rá a magyarázó feliratot. A nagyítás ugyanúgy történik, mint a közönséges fénykép nagyítása.

Diapozitívkészítés. Pozitív képet nyerhetünk azáltal

is, hogy az ú. n. diapozitívlemezre másolunk. Kidolgozása ugyanúgy történik, mint a negatívé. Megszáritása után érzékeny rétegre fektetett vékony tüköruveggel lezárjuk, széleit bekeretezzük.

Lemezek. A közönségesen használt lemezek mikro-fotografálásra nem alkalmasak, mert nem eléggé finom szemcséjük és túlérzékenyek a kék fény iránt, viszont sárga-zöld, főleg vörös iránt kevésbé. A mesterséges világítás pedig főleg sárga és vörös fényben gazdag, kékben szegény. Ezért orthochromatikus lemezeket készítettek. Minthogy kék fény iránt ez is túlérzékeny, ezért színszűrőket alkalmazunk. Lemezeink egyúttal fényudvarmentesek is; a fényudvar azáltal jön létre, hogy a lemez érzékeny rétegén áthaladó fénysugarak az üveg hátsó felszínéről visszaverődnek az érzékeny réteg hátsó felszínére. Ettől azáltal mentesítik, hogy a fény-érzékeny réteg alá fényt át nem eresztő vörös, vagy barna festésű zselatinréteget alkalmaznak.

Színes (autochrom) felvételek. Felfedezése LUMIÈRE nevéhez fűződik. A brómezüst fényérzékeny réteg előtt színrács (*raster*) van, amelyen át világítódik meg az előbbi. A lemez előhívásánál legelőbb a lefotografált tárgyak színeit, ú. n. komplementer színekben kapjuk, a helyes színek a brómezüst kioldása után jelennek meg. A Lumière-féle színrács vörös, zöld és ultramarin kékre festett keményítőszemcsékből áll. A szemcsék átmérője 0.01 mm, vékony lakkrétegbe vannak ágyazva, a szemcsék közti szabad tér fekete fedőfestékkel van kitöltve.

A színes képek létrejötte autochrom eljárással. Ha prizmával a fehér fényt színekre bontjuk, azt látjuk, hogy a fehér színt túlnyomó részben a vörös, zöld és kék fény képezi, keskenyebb csíkokban sárga és kékeszöld. HELMHOLTZ megállapítása szerint nemcsak vörös, zöld és kék szín összeadása után kaphatunk fehér fényt, hanem bizonyos kiválasztott két szín is, ú. n.

komplementer színek is előidézik; például sárga és kék, stb. Ez a szabály csak a spektrum színeire vonatkozik, festékkeverésre nem, mert itt sárga és kék zöldet ad.

BRÓMEZÜST HÁROMSZÍNŰRÁCS ÜVEGLEMEZ		BRÓMEZÜST HÁROMSZÍNŰRÁCS ÜVEGLEMEZ	
V		V	CINBERVÖRÖS
Z		Z	
K		K	SÁRGÁSZÖLD
V		V	
Z		Z	KÉK
K		K	
V		V	SÁRGA
Z		Z	
K		K	KÉKESZÖLD
V		V	IBOLYAVÖRÖS
Z		Z	
K		K	FEHÉR
V		V	FEKETE
Z		Z	
K		K	STURKE
V		V	NARANCSJÁRGA
Z		Z	
K		K	FEHÉRES NARANCS
V		V	
Z		Z	BARNA
K		K	

115. rajz.

A folyamat a következő: A fény a rácsra jutva csak a saját színével megegyező színű szemcsén tud keresztül jutni, a többi elnyelődik és így csak a megfelelő színű szemcse alatt nyer a brómezüst megvilágítást. Kevert szín, pl. fehér úgy jön létre, hogy a különböző színű szemcsék által átbocsátott fény hatása keveredik.

A 115. rajzból kitűnik, hogyha tiszta vörös fény éri a lemezt, akkor a vörös szemcse alatt világítódik meg a brómezüst, ha fehér fény kerül rá, akkor a vörös, zöld és kék szemcsék egyaránt átengedvén a fényt az egész megfelelő brómezüst területen történik a megvilágítás. Ha ezt előhívjuk, negatív képet kapunk, de most ezt nem rögzítjük, hanem kénsavas káliumhipermanganattal oxidáljuk; ha most a megvilágított brómezüstöt kioldjuk, megjelennek eredeti színekkel a pozitív elemek is. Második előhívóban megvilágítjuk a lemezt, így az eddig meg nem világított szemcsék felett a brómezüst megfeketedik, ami a komplementer színeket eltakarja. Ezzel az eljárás befejeződött.

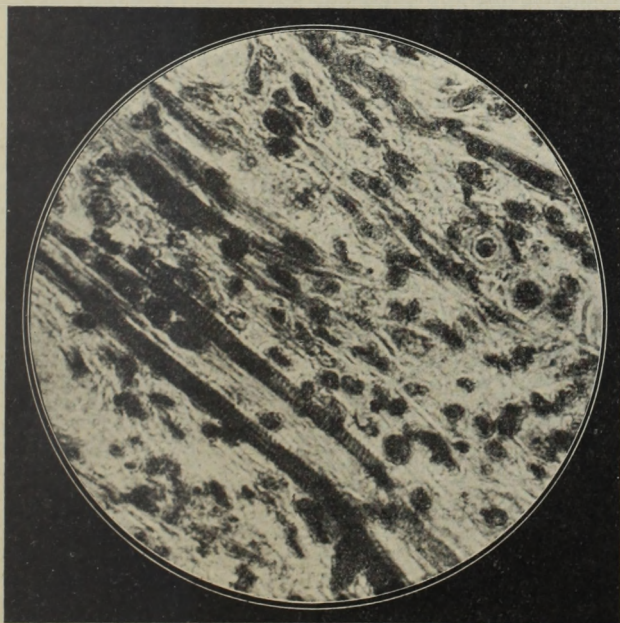
Fényszűrők. A színes lemezekhez különböző fényforrásoknak megfelelőleg a gyáraik által előírt és forgalomba hozott színszűrőket kell okvetlenül használni.

Beállítás. Minthogy az autochromlemezek az üveg felsőli oldalukkal vannak a fény irányában, a beállításnál ennek vastagságát (1,5 mm) javítani kell. Nagy nagyításnál ez elmellőzhető, de kis nagyításnál fontos. Módjai: fordítva tesszük be a homályos üveget; rendes beállítás után 1,5 mm-rel megrövidítjük a kihuzatot; vagy a tükörüveg ernyőre erősítjük ragtapaszcsíkkal a homályos üveget.

A lemez kazettába rakása és megvilágítása. Teljesen elsötétített sötétkamrában az érzékeny felületen megtartott kartonlappal befelé, üvegfelületével kifelé helyezzük el a lemezt. Megvilágításnál ne kísérletezzünk bonyolult számítások alapján, hanem használjuk a tolókazettát.

A lemez kidolgozása. Ügyeljünk a kémiai tisztaságra! Használjuk a gyár saját csomagolású vegyszereit. Az előírás szerint hígított előhívóban 2,5 percig hívjuk elő lehetőleg teljes sötétben a lemezt, 20 másodperc elteltével egy pillanatra viridafénynél meg-

nézhetjük. 15—16° Celsius folyóvízben sötétben öblítés egy percig, ezután belehelyezzük a fordítófürdőbe s teljes világítás mellett addig tartjuk benne, míg telje-



116. rajz. Mikrofotogramm. (Haránt-csikra izom szarkómája a heréből. Nagy. 1200:1.) Készítette dr. Szabó E.

sen átlászó nem lesz. Innen visszakerül az első előhívóba, megvilágítás mellett addig tartjuk itt, míg teljesen fekete lesz és az eredeti színek előtűnnek.

15—16° Celsius vízben 2—5 percig mossuk. Utána ferde vagy függőleges helyzetbe állítva megszárítjuk.

Mielőtt eltesszük a kész lemezt, vagy a diapozitívek-
nél említett módon festjük és keretezzük, vagy 100 ccm
kőszénbenzolban oldott 20 g dammargyanta oldatával
egyenletes vékony rétegben bevonjuk. A fényérzékeny
réteg a fenti hőmérséklet felett azonnal tönkre megy.
Sérülése helyrehozhatatlan zöld foltot eredményez.

NÉV- ÉS TÁRGYMUTATÓ.

- ABBE 25, 49, 54, 69, 101, 107,
 116, 117, 119, 173, 211, 221.
 Abbe-féle kocka 142.
 — kondenzor 81, 170.
 — nagy világítókészülék 83.
 — próbalemez 110.
 Abbe-féle rajzolókészülék 107.
 — tükrös-prizmás rajzolókészü-
 lék 141.
 — világítókészülék 84.
 aberrációk, monokromatikus 34.
 ábrázolóképeség 29.
 accomodatio 224.
 adaptáció 229.
 AHRENS 185.
 akromatikus lencse 47.
 — kondenzor 85.
 — objektív 97.
 alakai hasonlatosság 112.
 ALHAZEN 212.
 alkalmazkodás 224.
 állvány 58.
 AMICI 90, 94, 119, 166, 211.
 analizátor 185.
 anisol 134.
 APÁTHY 192, 221.
 apertométer 120.
 apertura 85.
 apertura, numerikus 92, 117.
 aplanatikus pont 35.
 apokromát 49.
 apokromatikus objektív 97.
 ARCHIMEDES 211.
 ARISTOPHANES 212.
 ARONE 200.
 asztigmatizmus 40, 41.
 átvilágítókészülék 79.
 autochrom eljárás 244.
 autochrom-felvételek 244.
 BACON 213.
 BAUSCH & LOMB 41, 60, 61, 70,
 71, 152, 157, 160, 191.
 beállítás 130, 241, 246.
 BECHER 134.
 BECK 61, 62, 63, 70.
 Beck-féle sötétlátóterű kondenzor 175.
 BEELDSNYDER 220.
 bikonkáv, szórólencsék 26.
 bikonvex, lencse 26.
 binobjektív-binokuláris rendszerek 151.
 binokuláris mikroszkóp 149.
 bitukni 160.
 BOEGEHOLD 101.
 BOEGEHOLD—KÖHLER 44.
 bolhanézó üveg 214.
 BONNANUS 177, 220.
 Bonnanus-mikroszkóp 220.
 borátfliint 56.
 BREWSTER 38, 51, 217.
 BROGLIE 19.
 BROWN J. H. 80.
 BUSCH 77.
 Busch-féle felsőmegvilágítású kondenzor 180.
 CARDAN 213.
 cédrusolaj 119, 131.
 CHESTER MORE HALL 39, 47,
 218.

CHEVALIER CH. 38, 217, 221.
 CHEVALIER V. 217.
 coronaüveg 39.
 CODDINGTON 217, 218.
 csarnokvíz 222.
 csiptető-foglalat 72.
 cső 67.
 csukló 61.

DAVY 195.
 definiálóképesség 91.
 DELLA PORTA 213.
 DELLA TORRE 217.
 DESCARTES 37, 213, 214.
 DEYL 220.
 diaphragma 37, 80.
 diapozitívkészítés 243.
 diszperzió 23.
 — közepes 25.
 — parciális 25.
 — totális 25.
 DIVINI 218.
 — mikroszkópja 219.
 DOLLOND 47, 218.
 domborodás, valódi 42.
 durvacsavar 74.

Edinger-féle vetítő-rajzolókészülék 138.

EINSTEIN 19.
 EINTHOVEN 161.
 elemzőkészülék 185.
 előhívás 243.
 EMICH 153.
 EUGLIDES 211.
 EULER 218, 220.
 euphosüveg-fedőlemez 167.
 expozíció 241.

FABER 214.
 FARADAY 17.
 fedőlemez 94.
 fedőlemezvastagságmérő 96.
 feloldóképesség 114.

félapokromát 97.
 fény 17.
 fény, áteső 162.
 fényforrás 129, 191, 192.
 fényhatár 80.
 fényrekesztő 37, 80.
 —, központi 172.
 —, tölcéses 171.
 fényszűrők 235, 246.
 —, folyadék 235.
 —, szilárd 235.
 fénytörés 20.
 fényvisszaverődés 19.
 finomcsavar 74.
 flintüveg 25, 39, 52.
 fluoreszcencia 178.
 fluoreszcencia-mikroszkóp 166.
 fluorit 57.
 fluorit-rendszer 48.
 foglalat, korrekciós 95.
 fókusz 28.
 folyópát 57.
 FONTANA 177, 216, 220.
 FOUCAULT 195.
 FRAUNHOFER 24, 53, 54, 210.
 Fraunhofer-féle akromát 47.
 — vonalak 24.
 FRESNEL 17.
 frontlencse 88.

GAUSS 19.
 gaultheriaolaj 134.
 geometriai optika 19.
 GLAN-THOMPSON 185.
 gömbi eltérés 34, 35, 50.
 GOULDE 216.
 Greenough-féle mikroszkóp 152.
 GUINARD 54.
 gyújtópont 28.
 gyújtótávolság 28.

HARCOURT 54.
 HARTING 211, 213, 216, 217.
 HARTNACK 69.
 hajszalér-mikroszkóp 178.

- határszög 22.
 hátsó lencse 88.
 Hauser-féle kondenzor 179.
 hegyi kristály 58.
 HEIMSTÄDT 156.
 HELMHOLTZ 117, 224.
 HENSOLDT 157.
 HERAEUS 201.
 HERBST 159.
 HERON 211.
 HERSCHEL 210.
 HERTZ 17.
 higanylámpás 200.
 HILL 51.
 HIMMLER 41, 70.
 Himmler-féle mikroplan 112.
 holoszkópikus objektív 48.
 homal 101, 112.
 homal szemlencsék 231.
 homalokulár 44.
 homogén immerzió 95, 118.
 homorú tükör 80.
 HOOKE 217.
 HOOKE mikroszkópja 219.
 hőszűrő 197.
 HUYGENS 17, 98.
 Huygens—Campani-féle okulár 98.
 ibolyántúli sugarak 165.
 ideghártya 222.
 idegpályák 222.
 immerziós olajüveg 134.
 immerziós vizsgálat 131.
 incidentia 21.
 inhártya 222.
 iris 222.
 iris-diaphragma 80.
 ívlámpa 132, 194.
 ívlámpás, egyenáramú 194.
 ívlámpák, liliput 197.
 ívlámpás, váltóáramú 196.
 izzólámpás 192.
 izzólámpás, alacsonyfeszültségű 193.
 JANSSEN, HANS 211.
 JANSSEN, HANS 213.
 Janssen-féle mikroszkóp 218.
 JANSSEN, ZACHARIÁS 213.
 kardiodoid 172, 174.
 keresztasztal 64, 65, 66.
 kereszttezett nikolok 186.
 KEPLER 213.
 képdomborodás 43, 110, 238.
 képesség, ábrázoló 11.
 kép színe 114.
 képtorzítás 112.
 képtorzulás 41, 42.
 képzetes kép 31.
 kikent készítmény 96.
 KIRCHER 213.
 kisapertúrájú objektív 97.
 kismagyítású tárgylencse 96.
 KOCH 133.
 kollektív szemlencse 98.
 kollektorlencse 234.
 kóma 40.
 kompenzációs okulár 49.
 kondenzor 81, 172.
 kondenzorfoglat, központosít-
 ható 86.
 kondenzor, nyílásszög 85.
 kondenzor, sötétlátóterű 173.
 konkáv-konvex, lencse 26.
 kontrasztmikrométer 146, 148.
 konvergens poláros fény 188.
 konvergentia 226.
 konvex-konkáv, szórólencsék 26.
 koordinataasztal 66.
 KARISKA 70, 153, 176.
 koronaüveg 25, 52.
 KÖHLER 101, 165, 166.
 Köhler-féle ultraibolya-mikro-
 szkóp 120.
 középnyagyítású tárgylencse 96.
 központosítás 237.
 központosító lencsék 235.
 KREMP 66.

- kromatikus aberráció 35, 44.
 KÜCH 201.
 küvetta 198.
 kvarc 58.
 kvarclámpás 199.
 kvarclámpás, hanai 201.

 lámpaház 191, 202.
 láb 60.
 látás, sztereoszkópiás 150.
 látás, térbeli 150.
 látószerv 222.
 látószög 12.
 látótér, sötét 167.
 LAYARD 212.
 LEEUWENHOEK 32, 51, 177, 215.
 LEITZ 41, 70, 71, 153, 154, 157,
 159, 160, 182.
 Leitz-féle rajzoló-okulár 141.
 lemezek 244.
 lemezkondenzor 176.
 lencseanyagok 51.
 lencse, bikonvex 26.
 —, javító 37.
 —, konkáv-konvex 26.
 —, korrekciós 57.
 lencsemélység 91.
 lencse, plánkonvex 26.
 —, száraz 94.
 lencsehibák 33.
 lencerendszer 32.
 LENDL ADOLF 122.
 Lendl-féle összetett mikroszkóp
 116.
 lépcsőzetes mikrométer 147.
 LIEBERKÜHN 177.
 Lieberkühn-féle tükör 179.
 Lieberkühn-féle tükör 180.
 LIPPERSHEY 214.
 LISTER 116.
 LISTING 17.
 LORENZ 19.
 lupe 16.

 MALPIGHI 215.
 MAXWELL 17.
 megvilágítás 162.
 —, alsó 162.
 —, felső 163, 176.
 —, ferde 167.
 —, oldalról 163.
 mechanikai okulárszám 108.
 mechanikai tubushosszúság 69.
 menet, angol 69.
 menet, nemzetközi 69.
 metami 106.
 methylbenzoat 134.
 METIUS 214.
 Metzner-féle parabolikus tükör
 180.
 mélységmérés 144.
 mikrodiszsekcio 168.
 mikrológia 7.
 mikrométer 74, 75.
 mikrométer-érték 149.
 mikrométer okulár 145.
 mikrometria 142.
 mikrofotografálás 229.
 mikrofotogramm 229.
 mikroszkóp, fémpari 183.
 mikroszkópi kép élessége 109.
 — — definiáló képessége 109.
 mikroszkóp, közettani 183.
 mikroszkóplámpások 188.
 mikroszkóp nagyítása 104.
 mikroszkóp, polarizációs 183.
 mikroszkópi preparátum 8.
 mikroszkóp, réslámpás 178.
 mikroszkóp sugármenete 102.
 mikrotechnika 8.
 mikrotopographia 112.
 monobjektív-binokuláris mikro-
 szkóp 153.
 monobjektívbinokuláris sztereos-
 mikroszkóp 151.
 monobrómnafalin 119.
 monokromát 97.
 monokromátor 166.
 multiplikátor 234.

- NACHET 176, 181.
 nagyaperturájú objektív 97.
 nagyítás 31.
 nagyító, egyszerű 16.
 nagyítás, hasznos 121.
 nagyítási táblázat 106.
 nagyítás, üres 100.
 nagyítás színi hibája 46.
 nagyítóképesség 91.
 nagyítórendszer 86.
 nagynagyítású tárgylemez 97.
 NERO 212.
 NEWTON 23, 218.
 nikol 185.
 novakromát 48.
 hylásszög 116.
- objektív 86.
 — feloldóképesség 91.
 —, immerziós 97.
 — mikrométer 236.
 —, száraz 97.
 okulár, fényképező 101.
 —, kompenzációs 101.
 okulárlencse 33.
 okulár mikrométer 145, 146.
 —, negatív 98.
 okulárpótlék 156.
 okulár, projekciós 111.
 —, projekciós 101.
 oldalt fordítható kondenzor 82.
 opálilluminátor 181.
 optikai csalódás 161.
 — feloldás 13.
 — főtengely 27.
 — pad 60, 231.
 optikai tubushossz 107.
 oszlop 60.
 összetérités 226.
- paraboloid 172, 174.
 paraffinolaj 134.
 paralel nikolok 186.
 paralel poláros fény 188.
- penetráció 91.
 PETERSEN 165.
 plankonkáv, szórólencsék 26.
 plankonvex, lencse 26.
 Pleurosigma angulatum 110, 120.
 PLINIUS 211, 212.
 polarizátor 185.
 pontfénylámpás 199.
 pontszerű ábrázolás 29.
 Porro-féle prizmarendszer 113.
 pozitív kép 243.
 PRITCHARD 51.
 prizmás mikrométer 76.
 projekciós okulár mérőszalag 236.
 protami 106.
 pseudosztereoszkópiás tüne-
 mény 161.
 PTOLOMAEUS 211.
 pupilla 222.
- rajzolás 136.
 —, mikroszkópikus 137.
 rajzolóképesség 91.
 rajzolókészülékek 138.
 rajzolókészülék, tükrös 139.
 —, prizmás 133.
 rajzóokulár 140.
 rajzó-prizma 140.
 Ramsden-féle pozitív okulár 99.
 raster 244.
 reális, kép 30.
 rezidencia 21.
 reflexió 19.
 refrakció 20.
 REICHERT 70, 71, 72, 77, 156,
 157, 159, 176, 204.
 REICHERT—CERNY, mikrofoto-
 grafálóberendezés 234.
 retina 222.
 revolver 80.
 revolver-foglat 72.
 ricinusolaj 134.
 ROBERVAL 75.

- Rohr-féle kvarc-monokromátok 167.
- Ross 76, 94, 95, 173.
- SALVINO 213.
- sarkítókészülék 185.
- SCHEINER 215.
- SCHOTT 54, 55, 221.
- SCHÜRHOFF 161.
- segédkollektorlencse 234.
- SEIBERT 70.
- SELLIGUE 221.
- SENECA 212.
- SIEDENTOPF 161, 168, 173.
- SIEDENTOPF—ZSIGMONDY 163.
- síktükör 80.
- sötét kamra 231.
- sötétlátóterű vizsgálat 162.
- SPENCER 70, 152, 153, 156, 157, 159.
- SPINA 213.
- Spirochaeta pallida 168.
- statív 58.
- Steinach-féle mikrométer 77.
- STEINDORF 70, 71.
- STEPHENSON 119.
- STOKES 54.
- Surirella gemma 110, 120.
- súrlódó sugár 22.
- susztergolyó 203.
- szalaglámpás 193.
- szantálolaj 134.
- szarúhártya 222.
- szánkaváltó 73.
- szánkaváltókészülék 72.
- szekundér spektrum 48.
- szembogár 222.
- szem, emmetróp 225.
- szemgolyó 222.
- szem-apokromát 48.
- szemlencse 33, 98, 222.
- szemlencse, tulajdonképeni 98.
- szem, normális 225.
- , rövidlátó 225.
- , távollátó 225.
- szemüvegkondenzor 84.
- szferikus aberráció 35.
- szilikát-ólomüveg 56.
- színes felvételek 244.
- színi eltérés 44.
- színkép, elektromágneses 18.
- , látható 18.
- színács 244.
- színszóródás 23.
- színusfeltétel 35.
- szívárványhártya 222.
- szórólencsék, bikonkáv 26.
- , konvex-konkáv 26.
- , plánkonkáv 26.
- szög, beesési 21.
- , törési 21.
- sztereomikroszkóp 125, 149.
- tami 106.
- tangens feltétel 35.
- tárgyasztal 63.
- , forgatható és központosítható 64.
- , fűthető 66.
- , hűthető 66.
- tárgylemez 127.
- tárgylencse 33, 87.
- tárgylencse-váltókészülék 71.
- tárgymikrométer 136, 146.
- tárgytávolság, szabad 89.
- terciér spektrum 49.
- térbeli tájékozódás 125.
- tolókazetta 242.
- totalis reflexió 22.
- törésmutató 21.
- tubus 67.
- tükörkondenzor 173.
- Tyndall-féle jelenség 169.
- ultramikron 169.
- ultramikroszkóp 163, 167, 169.
- ultraviola-szűrő 166.
- UTZSCHNEIDER 54.
- uvioüveg-tárgylemez 167.



üvegfajták 52.
 üvegtest 222.

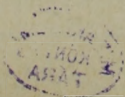
valós, kép 30.
 váltókondenzor 176.
 VAN HEURCK 192.
 vastagságmérés 143.
 vertikálilluminátor 164, 181.
 —, prizmás 181.
 vetítőlámpások 195.
 világító készülékek 162.
 világosság 123.
 virtuális, kép 31.
 visszaverődés, teljes 22.

vízimmerzió 118.
 VONWILLER 182.

WATSON 61, 70.
 WINKEL 70, 72.
 WINKLER 41.
 WOLLASTON 217, 218.

YOUNG 17.

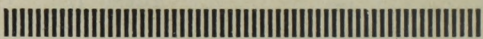
ZEISS 44, 49, 55, 64, 65, 70, 71,
 72, 73, 119, 153, 157, 160, 221.
 Zeiss-féle rajzolóprizma 139.





MIKROSKOPOK

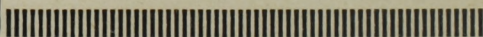
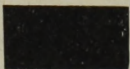
MIKROPHOTOGRAFÁLÓ KÉSZÜLÉKEK
MIKROSKOPIAI VETÍTŐLÁMPÁK



MIKROTOMOK POLARISATIÓS KÉSZÜLÉKEK EPIDIASKOPOK

LEGÚJABB RENDSZERŰEK,
FÉNYHŰTŐVÍZKAMRÁVAL

ÁLLÓ FILM VETÍTŐKÉSZÜLÉKEK



KÉRJEN DÍJTALAN ÁRJEGYZÉKET VAGY AJÁNLATOT

REICHERT K.

UTÓDA

REIMANN GYÖRGY

BUDAPEST VIII, ÜLLŐI-ÚT 12. TEL. 39-9-08.

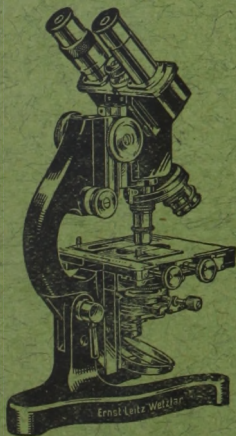


Leitz

MIKROSKÓPOK

MONOKULÁRIS ÉS BINOKULARIS KIVITELBEN

*újrendszerű golyóscsapágyas finombeállítással, mely
abszolút pontosság mellett legmesszebbmenő
preparátumvédelmet nyújt.*



MELLÉKKÉSZÜLÉKEK

~
MIKROTOMOK

~
KOLORIMETEREK

~
POLARIMETEREK

~
**VETÍTŐ- ÉS MIKRO-
FOTOGRAFÁLÓ
KÉSZÜLÉKEK**

~
MIKROMANIPULATOR

~
ULTROPAK

*Árjegyzéket, költségvetést díjmentesen küld és
mindennemű felvilágosítással szolgál az*

ERNST LEITZ OPT. WERKE, G. M. B. H. WETZLAR

magyarországi vezérképviselete:

RÉV GYÖRGGY

Budapest VII, Damjanich u. 54. Tel.: 32,5,84

ZEISS

BINOKULÁRIS ÉS MONOKULÁRIS MIKROSKOPOK

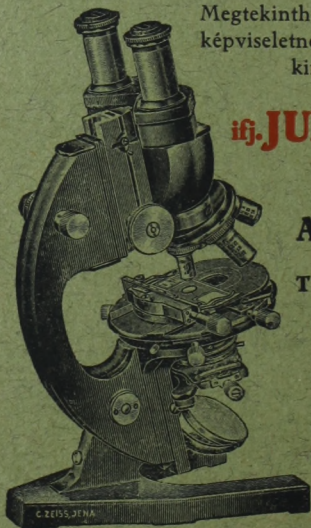
minden célnak megfelelő összeállításban.

Megtekinthetők a magyarországi vezér-
képviselőnél. Ugyanott katalógusok és
kimerítő árajánlatok.

ifj. **JURÁNY HENRIK**

**BUDAPEST VI,
ANDRÁSSY-ÚT 28.**

Telefon: Automata 186-17.



CARL ZEISS
JENA