

VOGL · HAJDA · KRÁL

PRAKTICKÁ
OPTIKA

PRAHA 1938

PRAKTICKÁ OPTIKA

Napsali techničtí pracovníci závodu Srb a Štys:

JIŘÍ VOGL,

dipl. opt. Vysoké školy optické v Jeně, přednosta optického oddělení,

JAROMÍR HAJDA,

ing. Optického ústavu v Paříži, přednosta počtářského oddělení,

KAREL KRÁL,

šéfkonstruktér.

()

V PRAZE 1937.

TISKL A VYDAL MELANTRICH, AKC. SPOL. PRO PRŮMYSL TISKAŘSKÝ V PRAZE.

*Zakladatelům čsl. optického průmyslu
pánům továrníkům*

JAROSLAVU SRBOVI,

radovi patent. soudu, a

JOSEFU ŠTYSOVI

z úcty a vděčnosti věnují

AUTOŘI.

Všechna práva vyhrazena. Otisk ani překlad bez autorova svolení není dovolen.

Copyright 1937. By KAREL KRÁL, Praha, Č. S. R.

PŘEDMLUVA.

Popud k vydání »Praktické optiky« vyšel nejen z přirozené potřeby našeho mladého, ale slibně vzrůstajícího optického průmyslu, ale i od všech těch, kteří byli dosud odkázáni na literaturu německou, francouzskou a anglickou. Bezprostředním impulsem bylo pak přání pánů z ústředí Odborového sdružení československých kovopracovníků, tlumočené panem tajemníkem Kulšteinem, který sám osobně se za tuto akci postavil.

Vydání knihy bylo spojeno, při dosti omezeném kruhu zájemců, se zdánlivě nepřekonatelnými finančními obtížemi. Setkali jsme se však se vzácným porozuměním mnohých výrobců, kteří svým přispěním, ať již finančním či zapůjčením štočků, nám náš opravdu těžký úkol pomohli vykonati. V první řadě děkujeme pánům továrníkům S r b o v i a Š t y s o v i a všem firmám, na posledních listech knihy uvedeným. Za štočky děkujeme firmě Barr & Stroud, firmám Rodenstock, Meyer, Wildt, Peter a Škodovým závodům. S údivem však znamenáme odmítavé stanovisko některých velikých firem německých, které svojí neochotou ztížily nestrannou informaci čtenáře o všech na trhu jsoucích přístrojích. Věříme však, že tak bylo učiněno nedopatřením a nikoliv z důvodů jiných, u nás na tomto poli tak řídkých.

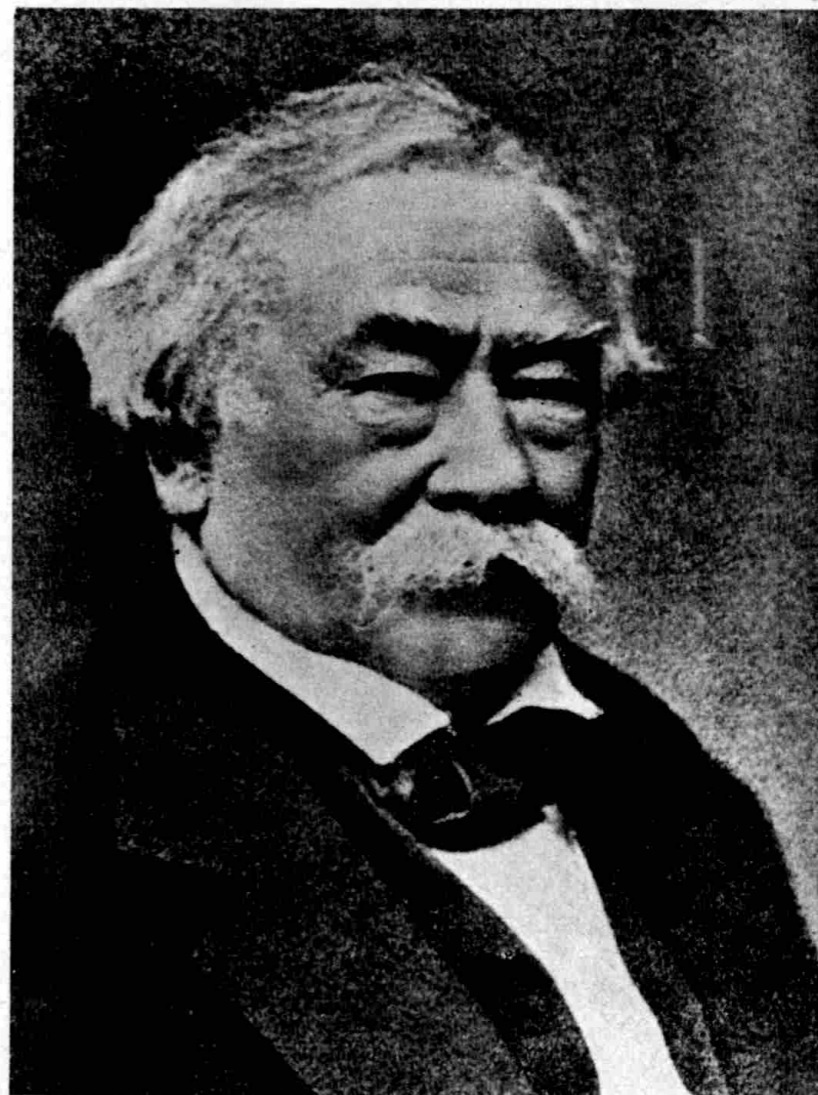
Osnovu knihy rozdělili jsme takto: Stať o promítacích přístrojích, o dalekohledech a kolimátorech a kapitolu o brýlích napsal J. V o g l. Všeobecný úvod, stať o mikroskopech a fotoobjektivech napsal J. H a j d a. Pojednání o geodetických strojích, pomocných zařízeních a o volbě a zkoušení materiálu K. K r á l. Za rychlé

a obětavé zhotovení spousty obrázků děkujeme technické kanceláři firmy Srb a Štys, zvláště pak panu K o p ř i v o v i.

Vzhledem ke krátkému času, který jsme si na sestavení knihy vytkli, jest snadno možné, že při korektuře vznikla určitá nedopatření. Budeme vděčni za každé zjištění chyb a nedostatků. Materiál není se stejnou podrobností probírán. Některé kapitoly, o nichž jsme usoudili, že mají větší důležitost, zabíhají značně do detailů, jinde opět jen přehledně informujeme. Pokud bylo možno, vyhýbali jsme se matematickému odvozování a teoretickým úvahám. Tyto naleznou zájemci v literatuře, na konci knihy uvedené.

Prosíme o laskavé přijetí této knihy, ve které jsme se snažili dáti veřejnosti co jsme nejvíce mohli.

VOGL, HAJDA, KRÁL.



Dr. JOSEF PETZVAL

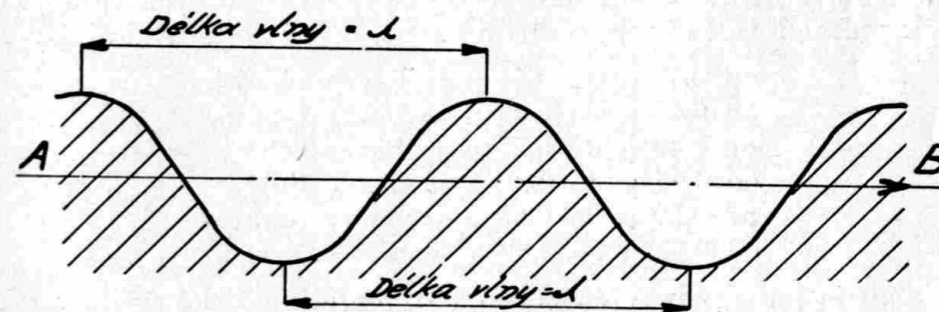
(1807 až 1891)

vypočítal první hodnotný fotografický objektiv. Pocházel ze Spišské Bělé na Slovensku a byl profesorem matematiky na vídeňské universitě. Byl Čech a byl též čestným členem Jednoty českých matematiků. Je naší chloubou, že náš rodák byl jedním z předních tvůrců matematických základů, na nichž spočívá dnešní optika.

ÚVOD DO OPTIKY.

Všeobecná část.

Podle t. zv. *vlnové teorie světla* představujeme si, že světlo je vlnění něčeho, čemu říkáme *světelný éter*. Tento éter prostupuje všechny hmoty, je obsažen i ve vzduchoprázdném prostoru, a vůbec v celém vesmíru. Dále se vlastnostmi éteru nebudeme zabývat. V hrubých rysech si můžeme představit, že takové vlnění světelného éteru se podobá vlnám, které se šíří na hladině vodní, když hodíme do vody kámen. Od místa, kde kámen dopadl, se šíří na hladině vlny. Řez takovými vlnami je naznačen na obr. 1.



Obr. 1.

Částičky vody zůstávají při tom na svém místě, nepostupují ve směru postupujících vln, nýbrž jen kmitají na témže místě nahoru a dolů. Takovému vlnění říkáme *vlnění příčné*. Při kmitání předává jedna částička vody tento pohyb druhé a tak se vlnění šíří a nám se zdá, že vlna postupuje. Se světelnými vlnami je tomu podobně. Částice světelného éteru kmitají kolmo na směr postupujícího světelného paprsku. Přímkou AB na obr. 1., která naznačovala vodní hladinu v klidu, značí zde směr světelného paprsku.

Vzdálenost mezi dvěma následujícími vrcholy vln nebo mezi dvěma následujícími důly nazývá se *vlnová délka* a značí se řeckým

písmenem λ (čte se lambda). Světelný paprsek urazí za vteřinu 300.000 km ve vzduchoprázdném prostoru. Dělíme-li tuto dráhu vlnovou délkou, obdržíme *kmitočet* neboli *frekvenci*, již značíme krátce řeckým písmenem ν (čte se ny). Kmitočet udává, kolik kmitů (nahoru a dolů) vykoná částice éteru za 1 vteřinu. Dělíme-li jednu vteřinu kmitočtem, odřízíme *periodu* kmitání. Je to doba, za kterou je vykonán jeden pohyb částice nahoru a dolů. Periodu značíme písmenem T a rychlost světla písmenem c ($c = 300.000$ km/vteř). Můžeme psát tyto vzorce:

$$\begin{aligned} \nu &= \frac{c}{\lambda} \\ \lambda &= \frac{c}{\nu} \\ \nu &= \frac{1}{T} \end{aligned} \quad (1)$$

Obyčejné bílé světlo, na př. světlo sluneční, skládá se ze světelných vlnění o různých délkách vln. Nejkratší světelné vlny jsou okolo 0,4 tisíciny milimetru, nejdelší asi 0,8 tisíciny mm neboli 0,8 μ ($\mu = \text{mikron} = \text{tisícina milimetru}$). Světlo, sestávající pouze z vlnění jedné vlnové délky nebo z úzkého úseku málo rozdílných vlnových délek, vnímá lidské oko jako světlo barevné. Tak světlo vlnové délky

od 0,40 μ do 0,44 μ je barvy fialové,
od 0,44 μ do 0,49 μ je barvy modré,
od 0,49 μ do 0,55 μ je barvy zelené,
od 0,55 μ do 0,59 μ je barvy žluté,
od 0,59 μ do 0,63 μ je barvy oranžové,
od 0,63 μ do 0,80 μ je barvy červené.

Čím je rozsah vlnových délek, jež obsahuje nějaké světlo užší, tím je takové světlo jednobarevnější. Vysílá-li světelný zdroj vlny od 0,44 μ do 0,46 μ , je méně jednobarevný, méně monochromatický, nežli světelný zdroj, který vysílá jen vlny od 0,440 μ do 0,445 μ .

Barvy, v které lze rozložit bílé světlo sluneční, přecházejí spojitě, bez určitých hranic, jedna v druhou. Hranice námi naznačené jsou tedy pouze přibližné. V této stupnici barev, kterým říkáme též *spektrální barvy*, nejsou obsaženy všechny barevné odstíny, jež lidské oko rozezná. Tak na př. světlo, jež by obsahovalo pouze paprsky vlnových délek odpovídajících červenému a fialovému konci spektra, jeví se oku v barvě purpurové, kterou mezi spektrálními barvami nenajdeme. Dále je možno získati stejný zrakový dojem, jaký by dala určitá spektrální vlnová délka, když použijeme směsi dvou nebo více docela jiných oblastí spektrálních barev,

které tuto vlnovou délku vůbec neobsahují. Tak směs spektrální barvy vlnové délky 0,671 μ (červené barvy) se světlem vlnové délky 0,535 μ (zelené barvy) ve vhodném poměru obdržíme žluté světlo téhož odstínu jako žluté světlo vlnové délky 0,589 μ . Vyloučíme-li ze slunečního světla zelenou spektrální barvu, pak zbývající směs paprsků působí dojem červeného světla. Určitého barevného odstínu je možno dosáhnouti několika kombinacemi jiných spektrálních barev. Není tedy přesné závislosti barvy světla na vlnové délce u paprsků složených z několika druhů vlnových délek. Budeme-li v dalších částech této knihy používat někdy slova *barva* místo *vlnová délka*, pak se bude, až na výslovně označené výjimky, slovo *barva* vztahovati na barvy spektrální a nikoli na směs různých spektrálních barev, třeba by tyto působily stejným zrakovým dojemem.

Barevná skla nebo průhledná barevná prostředí pohlcují část bílého světla a propouštějí pouze paprsky určitých vlnových délek. Tak sklo, které propustí pouze spektrální žlutou barvu a pohltí ostatní paprsky jiných vlnových délek, jeví se v průhledu jako žluté sklo. Předměty neprůhledné se jeví oku v té barvě, kterou odrážejí. Bílé předměty odrážejí všechny barvy spektrální. Předměty, které všechny barvy pohlcují a žádné světlo neodrážejí, jsou černé. Předměty odrážející modrou barvu a pohlcující ostatní barvy jeví se nám modře. Podobně i předměty odrážející nebo propouštějící z bílého světla určitou směs spektrálních barev, jeví se nám v barvě odpovídající oné směsi. Někdy průhledné nebo průsvitné hmoty propouštějí jiné paprsky, nežli ty, které jsou jimi odraženy. Pak se takový předmět jeví jinak zbarven v průhledu, nežli v odraženém světle.

Lidské oko není stejně citlivé pro všechny druhy světelných paprsků. Nejcitlivější je pro světelné paprsky žlutozelené, vlnové délky 0,56 μ . Citlivost oka pak klesá k barvě fialové na jednu stranu a k barvě červené na druhou stranu. Záření, jehož vlnová délka je menší než 0,4 μ , je již lidskému oku neviditelné. To jsou známé *ultrafialové paprsky*. Za červenými paprsky jsou t. zv. *infračervené paprsky*, jejichž vlnové délky jsou větší než 0,8 μ . Jsou tedy také neviditelné.

Všechny tyto druhy paprsků nejsou v přírodě osamoceny. Jejich fyzikální povaha je v základech tatáž jako u radiových vln (rozhlas, bezdrátová telegrafie), röntgenových neboli X paprsků a u t. zv. gamma paprsků. Všechna tato záření jsou povahy elektromagnetické a liší se zásadně jen svoji vlnovou délkou.

Můžeme si představit všechny vyjmenované druhy záření takto seřazené, podle vlnových délek:

Radiové vlny od vlnové délky až 250 km
do vln o délce okolo 1 mm.

Infračervené záření od délky vln
asi 0,5 mm až do $\lambda = 0,8$ tisícinn mm.

Viditelné paprsky asi od 0,8 μ do 0,4 μ .

Ultrafialové paprsky od 0,4 μ do 150 desítmiliontin mm
(1 desítmiliontina mm se
nazývá též 1 Angström a
značí se 1A).

Paprsky X (röntgen) od $\lambda = 150$ A až asi do 0,05 A
a konečně

gamma paprsky, které jdou pravděpodobně
ještě pod $\lambda = 0,001$ A.

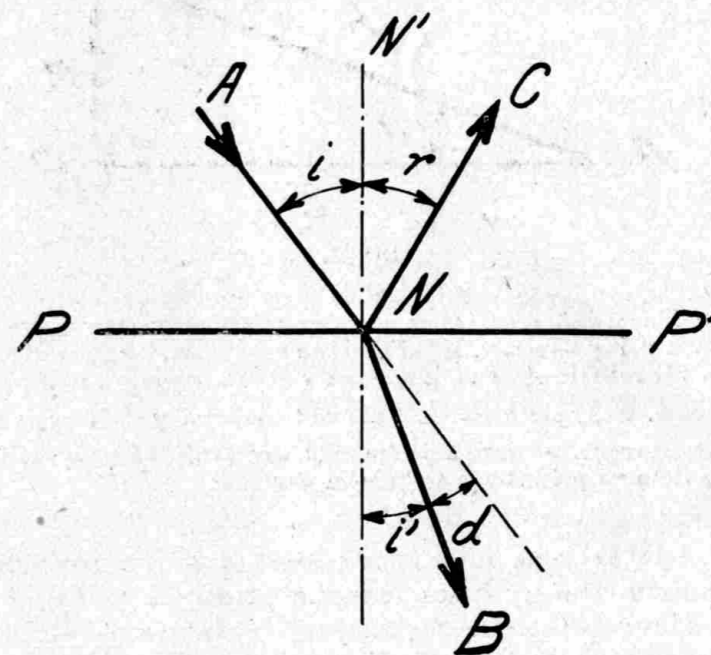
Vidíme, jak nepatrnou část v celé soustavě elektromagnetických
záření zabírá obor viditelných paprsků.

Délka vln viditelných paprsků činí méně nežli 1 tisícinu mm.
To znamená, že můžeme při konstrukci optických přístrojů ve
většině případů zanedbat zjevy způsobené vlnovou povahou světla,
jako je ohyb světelných paprsků a pod. V dalším budeme předpo-
kládati prostě, že se světlo šíří přímočaře, tak jak to známe z běž-
ného pozorování. Vlastnostmi světelných paprsků při předpokladu
přímochařého šíření světla se zabývá *geometrická optika*. Naproti
tomu *fyzikální optika* studuje zjevy způsobené vlnovou povahou
světla. Pro pochopení konstrukce optických přístrojů, vystačíme ve
většině případů s geometrickou optikou. Je tedy geometrická optika
jen hrubým přiblížením se skutečnosti, ale úplně stačí na jedno-
duché vysvětlení základních zjevů, jako lom a odraz světelných
paprsků.

Odraz a lom světla.

Dopadne-li světelný paprsek na plochu, jež odděluje dvě ne-
stejná prostředí, na př. vzduch a sklo, rozdělí se na dvě části. Čás-
tečně se odrazí na této ploše a zůstává v prvním prostředí, částečně
prochází do prostředí druhého. Při průchodu do druhého prostředí
se paprsek odchýlí od svého původního směru; paprsek se lomí.
Vztyčíme-li kolmici na plochu v bodě, kde dopadá světelný pa-
prsek, obdržíme mezi dopadajícím paprskem a kolmicí *úhel do-
padu*, jež značíme písmenem i ; mezi paprskem lomeným a kol-
micí *úhel lomu* (i') a mezi paprskem odraženým a kolmicí *úhel
odrazu* (r). Na obr. 2. je PP' řez plochou, oddělující obě prostředí.
Dopadající paprsek AN se odráží ve směru NC a lomí se ve směru

NB. Zákony, kterými se řídí vztahy mezi úhly i , r , i' , jsou základem
geometrické optiky.



Obr. 2. Odraz a lom světla.

*Zákon o odrazu světla. Úhel dopadu a úhel odrazu leží v jedné
rovině a jsou stejné. Paprsek dopadající, kolmice a paprsek odra-
žený v jedné rovině. Platí vztah*

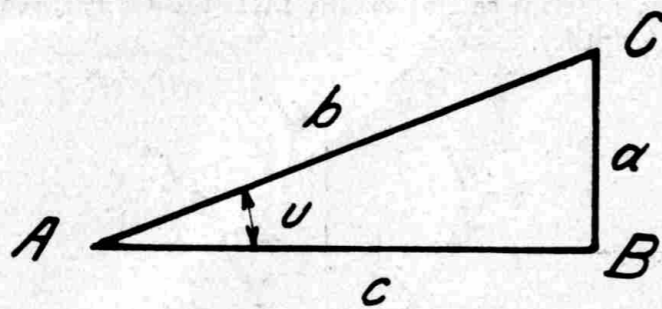
$$i = r \quad (2).$$

*Zákon o lomu světla. Úhel dopadu a úhel lomu leží v jedné
rovině a poměr sinů obou úhlů je roven stále veličině n , závislé na
obou prostředích a nazvané indexem lomu druhého prostředí, vzhle-
dem k prvému. Platí pak vztah*

$$\sin i = n \sin i' \quad (3).$$

Tyto dva zákony stačí pro určení dráhy světelných paprsků, zná-
me-li indexy lomu příslušných prostředí a polohu hraničních ploch,
jež tato prostředí oddělují.

Mezi lomeným paprskem a směrem paprsku dopadajícího je
úhel $d = i - i'$, to je odchylka paprsku od jeho původního smě-
ru. Dopadá-li paprsek kolmo na plochu; $\sin i$, $\sin i'$, i a i' jsou rovny
nule. Odražený paprsek se vrací zpět ve směru dopadajícího pa-
prsku a paprsek vnikající do druhého prostředí, zachovává původní
směr.



Obr. 3.

Poznámka: Sinem úhlu (značí se ve výpočtech *sin*) rozumíme v pravoúhlém trojúhelníku poměr délky odvěsny, ležící proti tomuto úhlu, k přeponě trojúhelníka. Sinus úhlu u při vrcholu A na trojúhelníku v obr. 3 se proto rovná poměru strany a ke straně b . Tedy $\sin u = \frac{a}{b}$. Takové trojúhelníky si můžeme myslet na obr. 2, tak postavené, že jejich jednu odvěsnu tvoří vždycky kolmice NN' . Přepona je potom na příslušném světelném paprsku.

V rovnici (3) jsme měli index lomu druhého prostředí vzhledem k prvnímu. Indexy lomu jednoho prostředí, vzhledem k nějakému druhému prostředí se nazývají *relativními indexy lomu*. Index lomu nějakého prostředí, vzhledem k vzduchoprázdnému prostoru je *absolutním indexem* lomu tohoto prostředí. Je-li n_1 absolutní index jednoho prostředí a n_2 absolutní index druhého, pak je poměr $\frac{n_2}{n_1}$ roven relativnímu indexu druhého prostředí vzhledem k prvnímu. Rovnice (3) má proto často tvar

$$n_1 \sin i = n_2 \sin i' \quad (4).$$

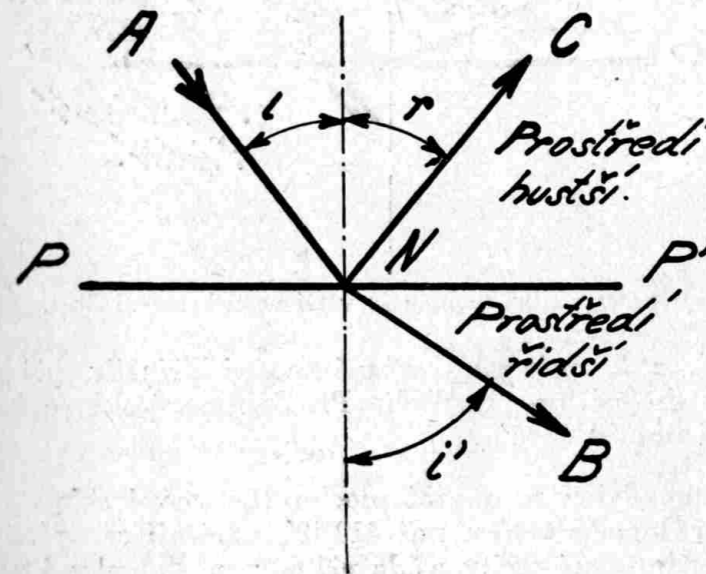
Vzduch má za normálních podmínek absolutní index 1,00029. Vzduchoprázdný prostor má ovšem absolutní index přesně 1,00000. Rozdíl mezi indexem vzduchu a vzduchoprázdného prostoru obyčejně zanedbáváme; nečiníme rozdíl mezi absolutními indexy různých hmot a jejich relativními indexy vzhledem ke vzduchu. Říkáme na př., že optické sklo má index lomu, podle druhu skla, od 1,48 do 1,80. Pak se myslí indexem lomu, prostě index vzhledem ke vzduchu. Čím nějaká hmota má větší index lomu, tím je, jak říkáme, opticky hutnější. Index lomu je tedy jakýmsi ukazatelem velikosti vlivu prostředí na světelný paprsek. Když paprsek prochází z prostředí řídkšího do hustšího, láme se ke kolmici a opačně, při přechodu z prostředí hustšího do řídkšího, láme se od kolmice. Zmínili jsme se již, že světlo se šíří vzduchoprázdným prostorem rych-

lostí 300.000 km za vteřinu. V prostředí, jehož absolutní index lomu je n , šíří se světlo rychlostí n krátě menší; tím se zkrátí i délky vln světelných, ale kmitočet a perioda zůstanou nezměněny.

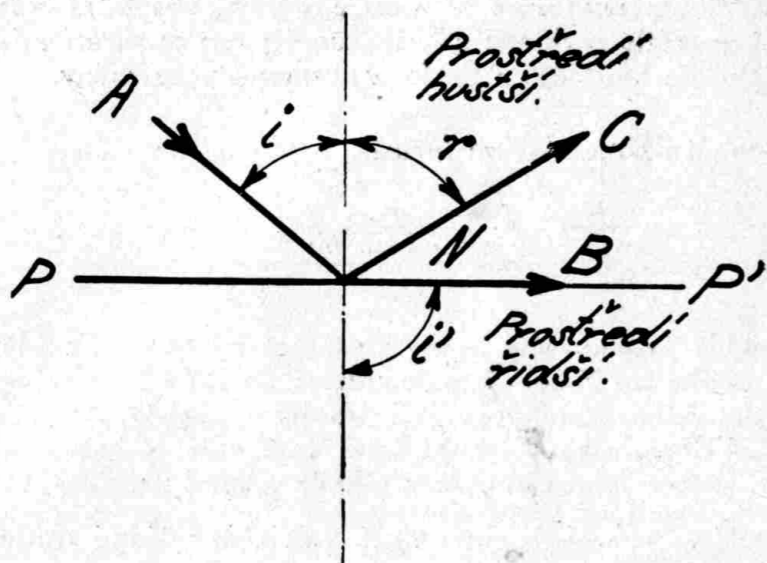
Píšeme-li rovnici (4) ve formě

$$\frac{n_1}{n_2} \sin i = \sin i' \quad (5)$$

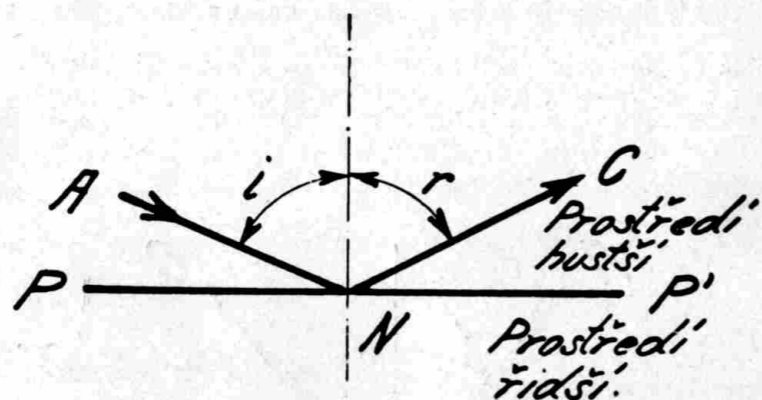
a uvážíme-li případ, kdy n_1 je větší než n_2 (paprsek jde z prostředí hustšího do řídkšího), pak vidíme, že $\sin i$ je násoben faktorem větším než 1. V takovém případě by se mohlo stát, že by pro velký úhel dopadu $\sin i'$ mohl být větší než 1, což neodpovídá žádnému skutečnému úhlu. Aby takový případ nenastal, musí být $\sin i$ menší než $\frac{n_2}{n_1}$. Je-li $\sin i$ větší, pak vůbec žádné světlo neprochází do řídkšího prostředí a nastává *úplný odraz světla*, či *totální reflexe*. Úhel, jehož $\sin i = \frac{n_2}{n_1}$ je mezním úhlem, pro který ještě část světla se láme do řídkšího prostředí. Poněvadž pak $i' = 90^\circ$, je vystupující paprsek rovnoběžný s plochou omezující hustší prostředí.



Obr. 4. Úhel dopadu je menší nežli hraniční úhel.



Obr. 5. Úhel dopadu je roven hraničnímu úhlu.

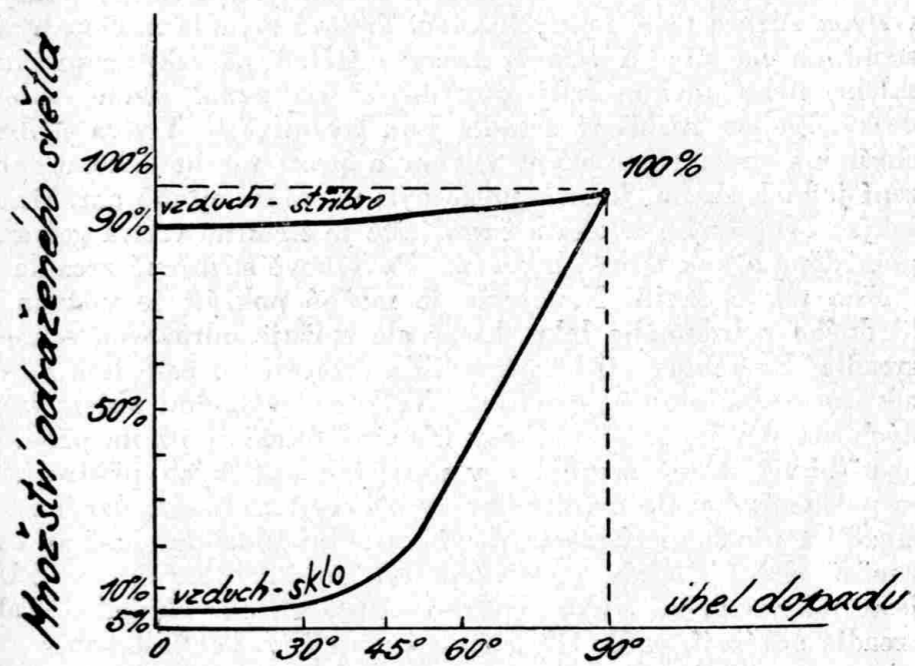


Obr. 6. Úhel dopadu je větší nežli hraniční úhel.

Obr. 4., 5. a 6. znázorňují různé možné případy při přechodu z hustšího do řidšího prostředí. Pro korunové sklo o indexu 1,5 činí mezní úhel $41^{\circ} 48'$.

Paprsky, dopadající na mezní plochu (korunové sklo — vzduch) pod úhlem dopadu větším než $41^{\circ} 48'$, odrážejí se úplně zpět do skla. Není zde žádné ztráty světla při odrazu. Paprsky, které by dopadaly na dělicí plochu, na př. již pod úhlem 41° , částečně procházejí do druhého prostředí a odraz světla již není úplný.

Poměr mezi množstvím světelné energie odražené a lomené závisí na úhlu dopadu, na jakosti odrazové plochy, na optických vlastnostech obou prostředí a též na délce vlny použitého světla. Všeobecně možno říci, že u kovů hraje úhel dopadu daleko menší úlohu, nežli u hmot průhledných, jako je sklo. Je to dobře viděti z obr. 7., kde je zakreslena křivka, udávající jak stoupá odrazová schopnost na zrcadlicí ploše ze stříbra a jak na odrazové ploše ze skla.



Obr. 7.

U skla je pro kolmo dopadající paprsky odrazová schopnost velmi malá a zůstává nepatrnou až asi do úhlu 60° ; a pak teprve se rychle blíží 100% pro úhel dopadu rovný 90° . Naproti tomu na stříbrném nebo postríbrněném zrcadle je již při kolmém dopadu světla značná část paprsků odražena a odrazová schopnost stoupá nepatrně se zvětšujícím se sklonem dopadajících paprsků.

Hraniční plocha mezi dvěma prostředími odráží, při kolmém dopadu paprsků, zlomek světla vyjádřený vzorcem

$$R = \left(\frac{n_2 - n_1}{n_2 + n_1} \right)^2 \times 100 \quad (6),$$

kde n_1 je index lomu prvního a n_2 index lomu druhého prostředí a R je množství odražené energie v procentech. Předpokládáme

ovšem, že zrcadlicí plocha je dokonale hladká. Při kolmém odrazu na vodě ze vzduchu je R rovno 2%, na korunovém skle indexu lomu $n_2 = 1,5$ je R rovno 4% a u zvláště těžkých skel ($n_2 = 1,75$) dosahuje R až 7½% dopadajícího světla.

Kovy ve velmi tenkých vrstvách propouštějí světlo, avšak již ve vrstvách o síle několika tisícín mm úplně pohlcují světelné paprsky. Leštěný povrch kovů odráží velkou část dopadajícího světla. Proto se používá k odrazu světla skleněných zrcadel, pokrytých vrstvou stříbra nebo i jiných kovů. Taková zrcadla mohou být postříbřena na přední straně, takže světelné paprsky neprocházejí sklem, nebo mohou být postříbřena na zadní straně skleněné desky. Zadím stříbřená zrcadla jsou trvanlivější. Vrstva stříbra je chráněna proti chemickým vlivům a proti mechanickému poškození jednak sklem, jednak může být na zadní straně chráněna nějakým ochranným lakem a často ještě je stříbrná vrstva galvanicky poměděna a pak teprve lakována. Povrchově stříbřená zrcadla není možno tak chránit. Nanejvýše je možné pokrytí je vrstvou průhledného ochranného laku, který ale snižuje odrazovou schopnost zrcadla. Povrchově stříbřená zrcadla ztrácejí po čase lesk a jejich odrazová schopnost se zmenšuje. Velkou nevýhodou zadím stříbřených zrcadel je, že se paprsky částečně odrážejí již na přední nepostříbřené straně zrcadla a v mnohých optických přístrojích by to pak způsobovalo dvojité obrazy překrytím obrazu, daného zadním zrcadlicí plochou, obrazem daným přední plochou, jenž je ovšem značně slabší. Někdy používáme též polostříbřených zrcadel, jež jsou pokryty velmi tenkou vrstvou stříbra a jsou průhledná. Taková zrcadla odrážejí, podle síly stříbrné vrstvičky, jen část světla a zbytek propouštějí.

Nevýhodou stříbřených zrcadel je, že neodrážejí stejně paprsky různých vlnových délek. Pro ultrafialové paprsky je dokonce stříbrná vrstva zrcadel asi tak propustná jako sklo. Proto se v poslední době uplatňují zrcadla aluminovaná. Taková zrcadla se vyrábějí rozprašováním alumina ve vzduchoprázdném prostoru. Hliníková zrcadla zachovávají dobrou odrazovou schopnost i pro ultrafialové paprsky a jsou trvanlivější. Ovšem, jejich výroba je nákladnější. Pro viditelné paprsky mají sice o málo menší odrazovou schopnost, nežli čerstvě postříbřené zrcadlo, ale již po krátké době ztratí povrchově stříbřené zrcadlo tolik ze své odrazové schopnosti, že je hliníkové zrcadlo předčí. Také se vyrábějí rhodiovaná zrcadla. V poslední době se používají častěji též zrcadla, vyrobená ze speciálních nerezavějících ocelí, jichž je možno užiti jen ve zvláštních případech.

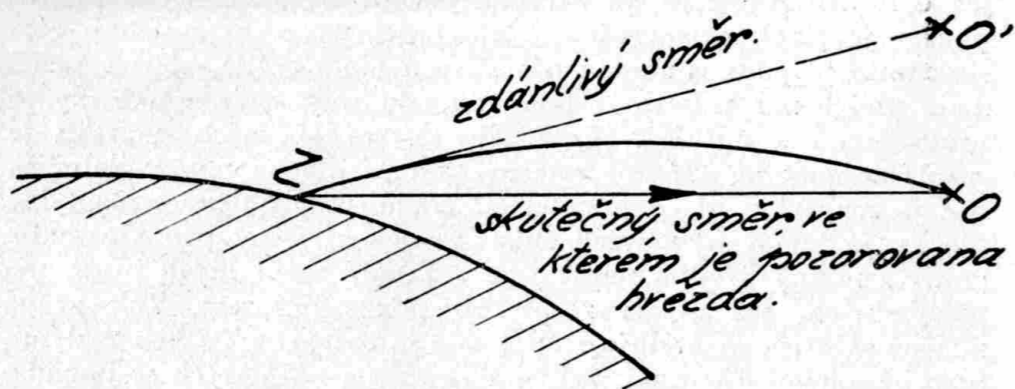
Doposud jsme stále předpokládali, že plochy, na nichž se děje odraz a lom světelných paprsků, jsou rovné a hladké. Je-li plocha,

jež dělí dvě prostředí, drsná, pak vlastně každá částička takové plochy je jinak orientována. Dopadající paprsky podléhají sice i v tomto případě zákonům o odrazu a lomu světla, ale na každé malé plošce má kolmice v bodě dopadu jiný směr a paprsky se proto lámou a odrážejí různě. Svazek rovnoběžných paprsků je rozptýlen pak na všechny strany. Čím je plocha nepravidelnější, tím je rozptýl světla dokonalejší. Příkladem průhledné, rozptylné plochy je matovaný povrch skla. Projekční stěny pro kinematografii a matný kreslicí papír jsou příklady rozptylných ploch neprůhledných, jež ovšem rozptylují pouze odrazem. Tak zvané mléčné sklo též rozptyluje světlo. Zde je rozptýl způsoben malými, nestejnorodými částicemi, jež jsou ve skle a na kterých se dopadající paprsky rozptylují tak, jako se rozptylovaly na nerovném povrchu matného skla. Odraz a lom na drsných plochách, v mléčném skle a pod., je nazýván *nepravidelným* nebo *difusním*; na rozdíl od pravidelného lomu a odrazu na hladkých plochách.

V předešlých odstavcích jsme měli na mysli pouze ty případy, kdy mezi dvěma optickými prostředími je hraniční plocha, na které se index lomu náhle mění (na př. při přechodu ze skla do vzduchu a pod.). Paprsky světelné se na takové ploše lámaly, měnily svůj směr. Jsou ale případy, že průhledná prostředí mění svůj index lomu ponaáhlu, spojitě. Mezi dvěma body v takovém prostředí je rozdíl v indexech lomu, ale není zde žádné mezní plochy, kde by se náhle index měnil. Index lomu se bez náhlých přechodů spojitě mění s jednoho místa na druhé. Paprsky světelné mění pak svůj směr též spojitě; nelámou se, ale jejich dráha je zakřivena,

Vzduch není naprosto stejnorodé prostředí a při přesných zeměměřických pracích je třeba dbáti rušivého vlivu zakřivení světelných paprsků, způsobeného nestejnorodostí vzduchu. Index lomu vzduchu závisí na jeho hustotě, která je určena výškou, teplotou a vlhkostí. Tyto podmínky nejsou ovšem všude stejné. Proto paprsky světelné ve vzduchu nesledují všeobecně přímý směr. Zakřivení paprsků je zvláště značné pro body blízko obzoru. Vidíme na př. zapadající slunce nad horizontem, ačkoli ve skutečnosti již zapadlo. Nastává tedy při normálních okolnostech odklon paprsků v rovině kolmé, který způsobuje, že se nám pozorované předměty zdají býti výše nad obzorem, než ve skutečnosti.

Na obr. 8. je v přehnaném měřítku naznačen chod paprsků takto zakřivených: Z je bod na povrchu země a O je pozorovaný předmět (hvězda). Paprsek, jenž vychází z bodu O , je zakřiven a pozorovateli v bodě Z se jeví hvězda ve směru tečny na zakřivenou dráhu paprsku. Tečna v bodě Z míří výše nad obzor a pozorovatel vidí hvězdu v bodě O' , tedy výše, než je tato ve skutečnosti. Při pozorování hvězd je nutno vypočítavati zvláštní opravy, aby se



Obr. 8.

zjistila správná poloha pozorované hvězdy. Kdyby nebylo tohoto zakřivení světelných paprsků v atmosféře (čili, jak říkáme, *atmosférické refrakce*), viděl by pozorovatel na rovině, do dálky určené vzorcem

$$L = \sqrt{DH} \quad (7),$$

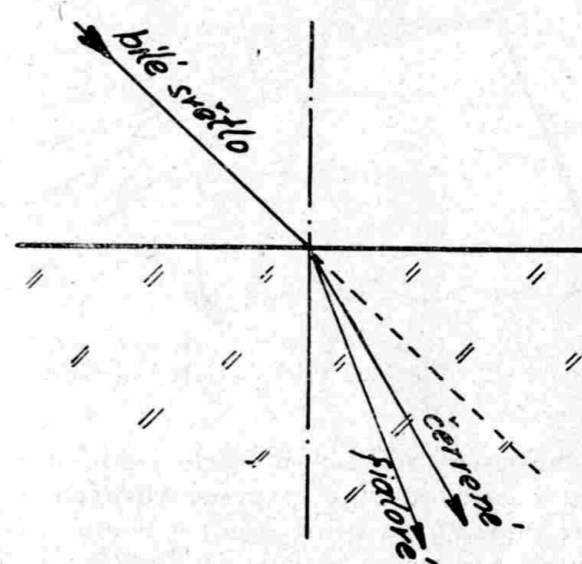
v němž D značí průměr země a H je výška pozorovatele nad povrchem zemským. Vlivem atmosférické refrakce se zvětší vzdálenost L průměrně asi o 3%. Je to ovšem jen přibližný údaj a praktická pozorování vedou mnohdy k docela jiným výsledkům. Viditelnost do dálky je omezena též nedostatečnou průzračností vzduchu, která se značně mění s povětrnostními podmínkami. Je-li zakřivení paprsků ve svislé rovině silně měnivé s povětrnostními vlivy, je tím obtížnější předvídati a vypočítávat zakřivení paprsků v rovině vodorovné. Neplatí zde žádný jednoduchý předpoklad, který by umožnil přibližný výpočet, jako je tomu při zakřivení paprsků v rovině svislé. Je štěstím, že zakřivení paprsků v rovině vodorovné je obvykle velmi malé. Při pozorování a měření s optickými přístroji o malém nebo středním zvětšení (na př. u vojenských zaměřovacích dalekohledů a při běžných měřeních v geodesii) je možno toto zakřivení zanedbat; ostatně ani zakřivení v rovině svislé v takových případech nemá vlivu na požadovanou přesnost. Při přesných triangulačních měřeních je nutno vyloučiti vliv ohybu paprsků v rovině vodorovné, opakováním měření po několik dnů za různých povětrnostních podmínek.

Atmosferickou refrakcí se vysvětlují různé zajímavé zjevy. Tak na př. nad velkými vodními plochami nebo nad sluncem zahřátou krajinou se stává, že vzduch je rozložen v pravidelných vodorovných vrstvách o velmi rozdílné hustotě a tedy o velmi rozdílném

indexu lomu. Paprsky světelné se pak úplně odrážejí na takových vrstvách a tím je umožněn vznik vzdušných, zrcadlových obrazů vzdálených předmětů. Takové obrazy, přímé neb převrácené, mnohdy značně deformované, jsou nám známy pode jménem *fata-morgana*. Za horkých dnů stoupá prohřátý vzduch o menším indexu lomu od země a paprsky světelné jsou jim nepravidelně lomeny. Již pouhým okem mnohdy můžeme pozorovati podobná proudění vzduchu. Krajina skrze takový vzduch pozorovaná jeví se jako »ve varu«; pozorované předměty jsou deformovány a jejich zkreslení se každým okamžikem mění. Tento úkaz je daleko zřetelnější při pozorování silně zvětšujícími dalekohledy. U astronomických dalekohledů je velké zvětšení umožněno tím, že paprsky neprocházejí tak šikmo různými vrstvami vzduchu a že velká část dráhy paprsků je vzdálena od povrchu zemského. Čím více se blížíme v pozorování vodorovnému směru, tím se stává vliv nestejnorodosti vzduchových vrstev a vliv vzdušných proudů blízkých povrchů země zřetelnějším a při velkém zvětšení obraz daný dalekohledem tím velmi trpí. U dalekohledů, určených k pozorování pozemních cílů, není proto výhodné, až na výjimky, přeháněti zvětšení.

Disperse světla.

Index lomu průhledných prostředí není stejný pro paprsky všech barev. Všeobecně je možno říci, že index lomu vždy stoupá

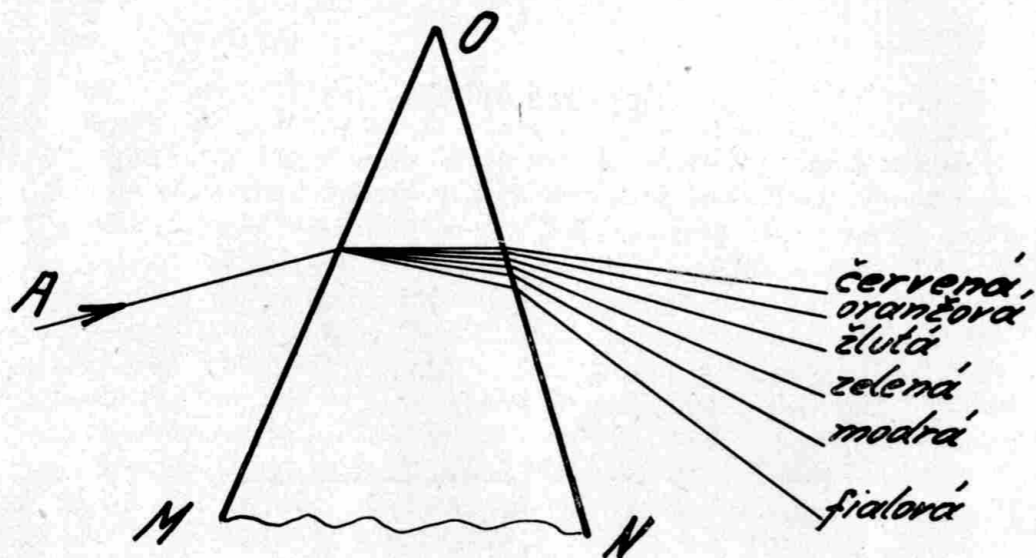


Obr. 9. Lom světelných paprsků různých barev.

s klesající vlnovou délkou světla; takové prostředí má *normální disperzi*. Má tedy na př. sklo vyšší index lomu pro paprsky fialové (okolo $0,400 \mu$), nežli pro paprsky červené (okolo $0,700 \mu$). Anomální disperse (index lomu stoupá s délkou vlny) se vyskytuje jen zřídka a nemá pro nás významu.

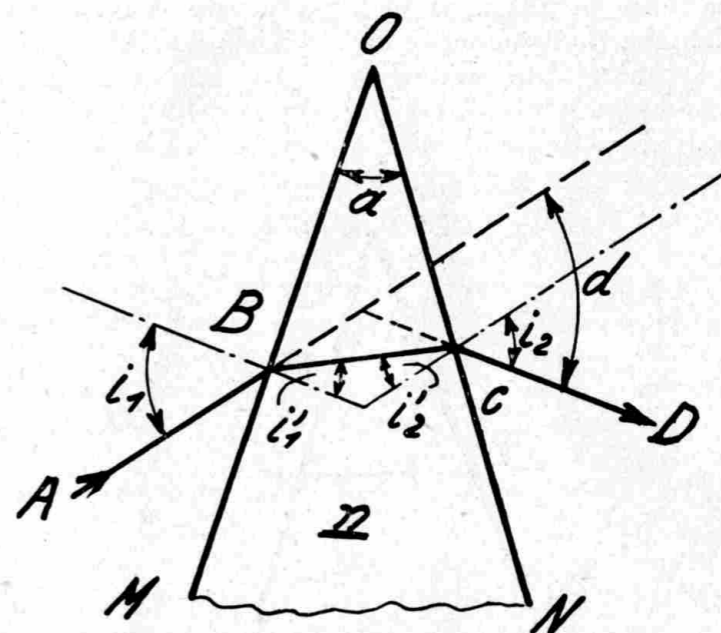
Proto také paprsky různých vlnových délek se nelámou stejně. Na obr. 9. je znázorněn lom světelných paprsků různé barvy. Pro paprsky fialové je index lomu druhého prostředí větší, než pro paprsky červené. Proto se fialový paprsek odchýlí více od původního směru, nežli paprsek červený.

Tento zjev se stane ještě znatelnějším, projdou-li paprsky skleněným hranolem, při čemž se lámou podle vlnové délky různě, na vstupní ploše a na výstupní ploše. Takto dovedeme rozložiti bílé denní světlo, jež je směsí světelných paprsků, v jeho jednotlivé složky. Mysleme si paprsek bílého světla (jak je to nakresleno na obr. 10.), dopadající na hranol, jehož průřez jsme naznačili. Pro náš pokus jsou důležité pouze strana *MO* a strana *NO*. Strana *MN* může míti jakýkoliv tvar, poněvadž světlo jí neprochází.



Obr. 10. Rozklad bílého světla hranolem.

Paprsky se hranolem rozkládají. Místo jednoho paprsku bílého světla vystupuje z hranolu vějíř paprsků různých barev. Zachytíme-li tento vějíř paprsků na bílou stěnu v temné místnosti, objeví se na stěně barevný pás, zakončený na jednom konci červenou a na druhém konci fialovou barvou. To je *spektrum* použitého bílého světla.



Obr. 11. Odchylka paprsku hranolem.

Všimneme si nyní blíže chodu paprsků hranolem (obr. 11.). Úhel mezi plochami *OM* a *ON* je lámavým úhlem tohoto hranolu. Paprsek *AB* dopadá na *OM* v bodě *B* a lomí se. Jeho odchylka je $i_1 - i'_1$. Na druhé ploše hranolu se paprsek odchýlí o úhel $i_2 - i'_2$ a úhel d , který svírá dopadající paprsek *AB* s lomeným paprskem *CD*, je dán rovnicí

$$d = (i_1 - i'_1) + (i_2 - i'_2) \quad (8).$$

Dále máme

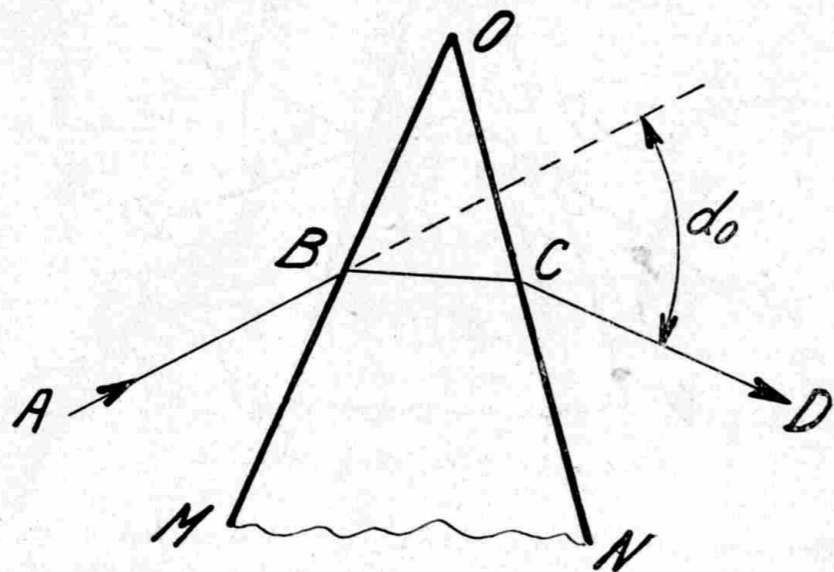
$$\begin{aligned} \sin i_1 &= n \sin i'_1 \\ \sin i'_2 &= \frac{1}{n} \sin i_2 \\ i'_1 + i'_2 &= a. \end{aligned}$$

Dosadíme-li do rovnice (8) hodnotu a z předcházejícího řádku, obdržíme

$$d = i_1 + i_2 - a \quad (9).$$

Úhel d závisí na úhlu i_1 a na úhlu a jakož i na indexu lomu skla, z něhož je hranol vyroben. Z těchto veličin se snadno vypočítá i úhel i_2 , obsažený ve vzorci (9). Úhel a a index n jsou charakteristikami hranolu. Jsou to veličiny dané tvarem a materiálem hranolu.

Jediné i_1 se může měnit a na něm závisí, jak se mění u určitého hranolu odchylka d . Říkáme, že d je závislé na úhlu i_1 , čili že je funkcí tohoto úhlu. Odchylka d má pro daný hranol nejmenší minimální hodnotu tehdy, když paprsky procházejí hranolem naprosto souměrně. (Obr. 12.) Pak $i_1 = i_2$. Odchylka d klesá od



Obr. 12. Chod paprsků hranolem při nejmenší odchylce.

$i_1 = a$, až k nejmenší odchylce d_0 a pak zase stoupá. Odchylka d_0 je určena rovnicí

$$n = \frac{\sin \frac{a + d_0}{2}}{\sin \frac{a}{2}} \quad (10).$$

Změříme-li u daného hranolu jeho úhel a a jeho minimální odchylku d_0 , pak nám rovnice (10) umožní určit index lomu skla, z něhož je hranol vyroben. Obvykle bývá a asi 60° . Ovšem je nutné měřit minimální odchylku pro paprsky určité vlnové délky. Musíme tedy použít světla monochromatického neboli jednobarevného. Úhel a a úhly d_0 pro různé barvy měříme na spektrometru.

Zkoumáme-li podrobně spektrum slunečního světla, objevíme v pásu spektrálních barev temné příčné čárky, t. zv. *Fraunhoferovy čáry*. Tyto Fraunhoferovy čáry odpovídají vždy určitým vlnovým

délkám světla a dělí celé spektrum viditelného světla na přesně ohraničené úseky. Najdeme-li ve spektru některou Fraunhoferovu čáru, určíme si pak snadno podle této čáry vlnovou délku v tomto místě spektra. Jsou tedy Fraunhoferovy čáry výhodnými orientačními značkami ve spektru slunečním. Jejich vlnové délky odpovídají těm paprskům, obsaženým ve slunečním světle, jež byly obzvláště silně pohlceny atmosférou země a plynnými obaly okolo slunce. Nejznámější z nich jsou označeny písmeny C, D, F, G' . Pomocí speciálních lamp, výbojových trubíc a jiných zařízení lze v laboratorích dosáhnouti monochromatického světla, odpovídajícího přesně různým Fraunhoferovým čarám slunečního spektra nebo i jiným, přesně známým vlnovým délkám. Musíme si zde připomenouti, že svítící plyny nebo páry různého chemického složení vydávají světlo, obsahující obvykle jen paprsky určitých vlnových délek, jež jsou charakteristické pro jejich chemické složení. Tak na př. plyn vodík, uzavřený ve výbojové trubici, vydává za určitých podmínek světlo, které, když je rozloženo, dává spektrum, sestávající pouze z řady čar. Každá čára odpovídá světlu určité vlnové délky a úzkému oboru bezprostředně sousedících vlnových délek. Spektrum není zde již spojitě; není plynulých přechodů mezi jednotlivými barevnými složkami světla. Je to t. zv. *spektrum čárové*. Jsou-li čáry ve spektru hodně široké, říkáme, že takové spektrum je *pásové*.

Ve zmíněném vodíkovém spektru jsou na př. obsaženy čáry, odpovídající Fraunhoferovým čarám C, F a G' . Čára D odpovídá zase žluté čáře ve spektru rozžhavených par prvku sodíku. (Žluté světlo, odpovídající čáře D , získáme, obarvíme-li bezbarvý plamen lihového kahanu nebo Bunsenova plynového hořáku malým množstvím kuchyňské soli, která je sloučeninou sodíku.) Podle toho, jaké čáry se nalézají ve spektru nějakého plynu, můžeme soudit na jeho chemické složení. Světlo, které vysílají na př. rozžhavené páry zkoumaného kovu, umožní nám bezpečně zjistit, o který kov se jedná. Této metodě chemického rozboru hmot říkáme *spektrální rozbor* čili *spektrální analyza*.

Abychom mohli měřit přesně indexy lomu pro různé vlnové délky světla, používáme světelných zdrojů, jež mají čárové spektrum s malým množstvím přesně známých čar. Měříme pak na spektrometru nejmenší odchylku hranolu vyrobeného z hmoty, jejíž indexy lomu máme zjistit. Měření provádíme pro každou vlnovou délku (pro každou čáru) a z rovnice (10) můžeme snadno vypočítat příslušný index lomu.

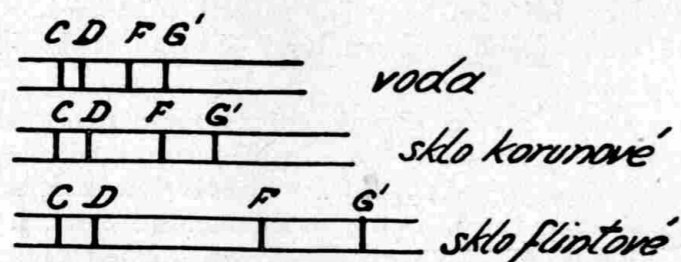
U optického skla jsou údaje indexů lomu velmi důležité a charakterisují jednotlivé druhy skla. Proto obsahují katalogy výrobců optických skel tyto indexy pro délky vln světla, odpovídající ně-

kterým čarám (hlavně čarám vodíku, helia a rtuťových par). Nej-
užívanější uvádíme v této tabulce:

Značka spektrální čáry	Délka vlny v mikronech (μ)	Barva	Poznámka
A'	0,7682	temně červená	páry draslíku
C	0,6563	červená	vodík
D	0,5893	žlutá	páry sodíku
d	0,5876	žlutá	helium
e	0,5461	zelená	rtuťové páry
F	0,4861	modrá	vodík
g	0,4359	modrofialová	rtuťové páry
G'	0,4341	modrofialová	vodík
h	0,4047	fialová	rtuťové páry

n_D značí index lomu pro čáru D, n_h je značka pro index lomu pro čáru h, atd. Čára D je v té části spektra, ve které je citlivost lidského oka největší; to je, při stejné energii je světlo této oblasti účinnější, nežli světlo jiných oblastí.

Optická skla můžeme zhruba rozdělit na skla o poměrně malé disperzi neboli *skla korunová* (krony) a na skla o větší disperzi (*flinty*) nebo skla olovnatá. Jaké jsou rozdíly v disperzi těchto skel, je patrné z přibližného diagramu na obr. 13, kde je schematicky zakresleno spektrum, dané hranolem z flintového a hranolem z korunového skla. Pro srovnání je naznačeno též, jaké spektrum by dal hranol, naplněný vodou.



Obr. 13. Schematické srovnání disperze způsobené korunovým sklem a flintovým sklem.

Při výběru skla pro optické přístroje je nutno znáti indexy lomu pro čáry C, D a F, když se jedná o přístroje k přímému pozoro-

rování okem. Pro fotografické objektivy nutno bráti v úvahu též indexy použitých skel pro čáru G'. Katalogy optického skla (*Schott*, Jena; *Parra-Mantois*, le Vésinet; *Chance-Brothers*, Birmingham a *Corning Glas Works*, USA) udávají u každého druhu optického skla též rozdíl $n_F - n_C$, nazývaný *střední disperzí* a rozdíly $n_F - n_D$, $n_D - n_C$, atd., jež nazýváme *dispersemi částečnými*.

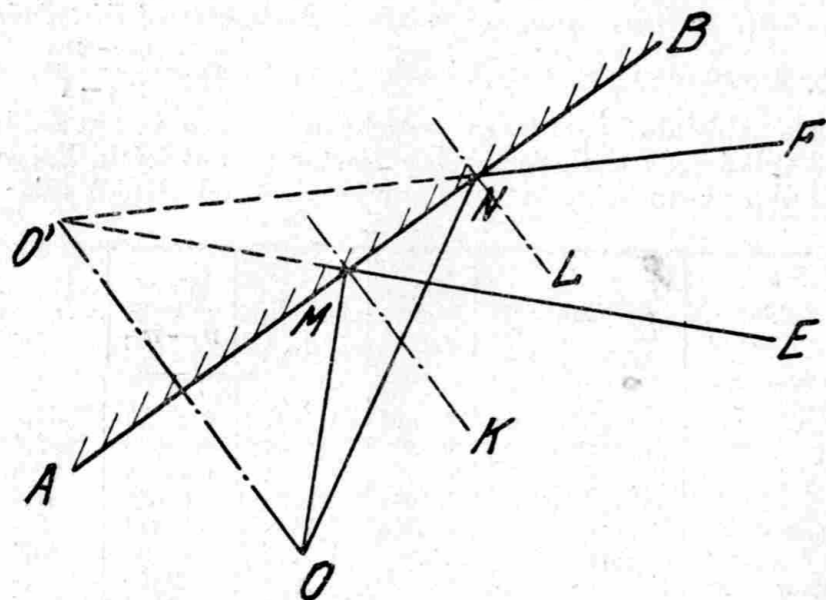
Důležitou konstantou pro optické sklo je výraz $\nu = \frac{n_F - n_C}{n_D - 1}$, nazvaný číslo Abbého. Požadavky optických továren vedou sklárny k výrobě velké řady skel, rozličných vlastností optických. Připojujeme tabulku vlastností některých nejvýznačnějších druhů skla:

Druh skla	Výrobce	Značka v katalogu továrny	Index lomu pro žluté sodík. světlo n_D	Střední disperze $n_F - n_C$	$\nu = \frac{n_D - 1}{n_F - n_C}$
Fluorkron	Parra-Mantois	A 6365	1,4631	0,00713	64,9
Borkron	Schott	BK 1	1,5101	0,00805	63,4
Kron	Schott	K 7	1,5111	0,00845	60,6
Kron	Parra-Mantois	B 1057	1,5096	0,00888	57,4
Barytkron	Schott	B a K 4	1,5688	0,01015	56,-
Těžký kron	Schott	SK 1	1,6102	0,01080	56,5
Lehký flint	Schott	LF 3	1,5822	0,01385	42,-
Flint	Schott	F 4	1,6166	0,01684	36,6
Těžký baryt. flint	Parra-Mantois	C 0740	1,6074	0,01509	40,3
Těžký flint	Schott	SF 1	1,7174	0,02431	29,5
Velmi těžký flint	Schott	SFS 1	1,9229	0,04408	20,9

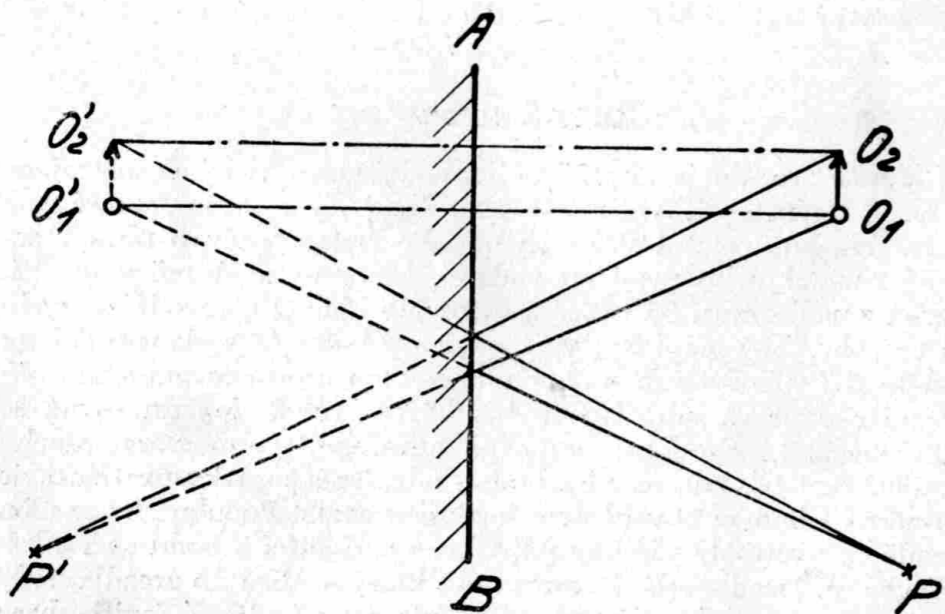
Rovná zrcadla.

Rovné zrcadlo je vlastně nejjednodušším optickým přístrojem. Je též jediným optickým přístrojem, který dává obrazy prosté vad, kdežto všechny ostatní složitější optické systémy dávají obrazy zatížené většími nebo menšími vadami, které nelze úplně vyloučiti. Plocha zrcadla musí býti ovšem dokonale hladká a rovná. Nakreslíme si (obr. 14.) paprsky, vycházející z bodu O a dopadající na zrcadlo AB v bodech M a N. Podle zákona o odrazu paprsků určíme směr paprsků odražených ME a NF (úhel dopadu rovná se úhlu odrazu). Prodloužíme nyní odražené paprsky za plochu zrcadla. Bod O', kde se nám budou odražené paprsky protínati, je souměrný s bodem O vzhledem k ploše zrcadla. Podobně by se nám v bodě O' protínaly všechny paprsky, vycházející z bodu O a odražené se na zrcadle AB. Pozorovateli, který se dívá do zrcadla, tedy proti směru paprsků odražených, bude se v bodě O' jevit obraz bodu O. Bod O, jenž je před zrcadlem, se jeví vyobrazen za zrcad-

lem a vzdálenost od bodu O k zrcadlu je tatáž, jako vzdálenost od obrazu tohoto bodu v O' k zrcadlu. Odražené paprsky zdánlivě vycházejí z bodu O' . Poněvadž se ale v bodě O' ve skutečnosti žádné paprsky neprotínají a pouze se tam protínají myšlené prodloužené paprsky, říkáme, že O' je *zdánlivý*, neskutečný neboli *virtuelní*

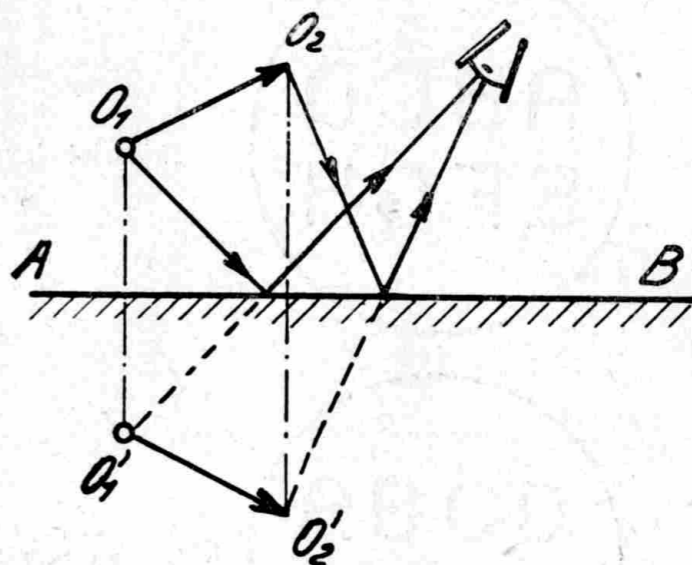


Obr. 14. Obraz bodu daným rovným zrcadlem.



Obr. 15. Převrácení obrazu rovným zrcadlem.

obraz bodu O . U zakřivených zrcadel vydutých a čoček poznáme případy, kdy paprsky opravdu procházejí obrazem. Takovému obrazu říkáme pak *skutečný* nebo *reelní* a lze jej zachytiti na fotografické desce nebo na matnici, umístěnou v místě reelního obrazu.

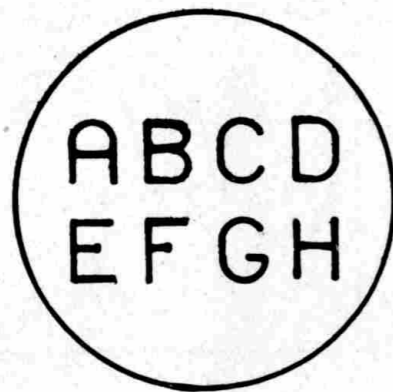


Obr. 16. Převrácení obrazu rovným zrcadlem.

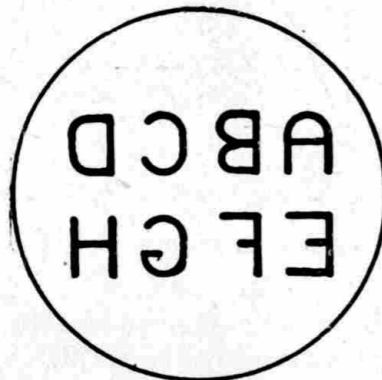
Chceme-li sestrojiti obraz nějakého předmětu, daný rovným zrcadlem, na př. šipky $O_1 O_2$ na obr. 15., najdeme obrazy koncových bodů předmětu podle zásady souměrnosti vzhledem k zrcadlu. Obdržíme obraz $O'_1 O'_2$. V bodě P je pozorovatel, jenž se dívá do zrcadla. V zrcadle vidí obraz šipky $O'_1 O'_2$, směřující špičkou doprava. Chceme-li šipku pozorovati bez zrcadla za stejných podmínek a s téže strany, jako ji vidíme v zrcadle, pak musí pozorovatel býti v bodě P' symetrickém s bodem P . Pozorovatel v bodě P' vidí šipku, je-li zrcadlo odstraněno, se špičkou směřující doleva. Je tedy na obraze přeměněna strana pravá za levou a naopak. Říkáme, že obraz $O'_1 O'_2$ je vzhledem k předmětu stranově převrácen. Výškově zůstává obraz správný. Obr. 16. ukazuje zase případ, kdy zrcadlem daný obraz je výškově převrácen a stranově správný. Všeobecně možno říci, že rovné zrcadlo obrací obraz stranově, je-li v poloze svislé a výškově, je-li umístěno vodorovně. Tyto zjevy jsou zvláště nápadné, pozorujeme-li v zrcadle písmo.

Na obr. 17. je znázorněn vedle správného, nepřevráceného obrazu obraz písma stranově převrácený a obraz písma výškově

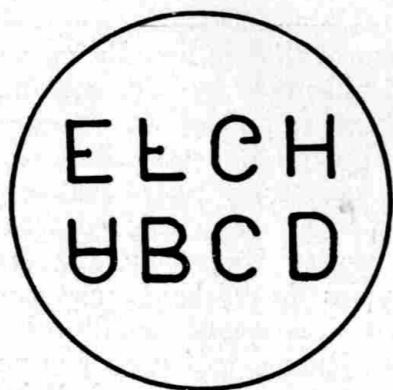
převrácený. Převrácení obrazu lze odstraniti použitím dvou zrcadel (na př. dvou zrcadel svislých). Jedno zrcadlo obraz převrací stranově a druhé dalším stranovým převrácením převádí obraz do polohy normální.



Normální obraz.



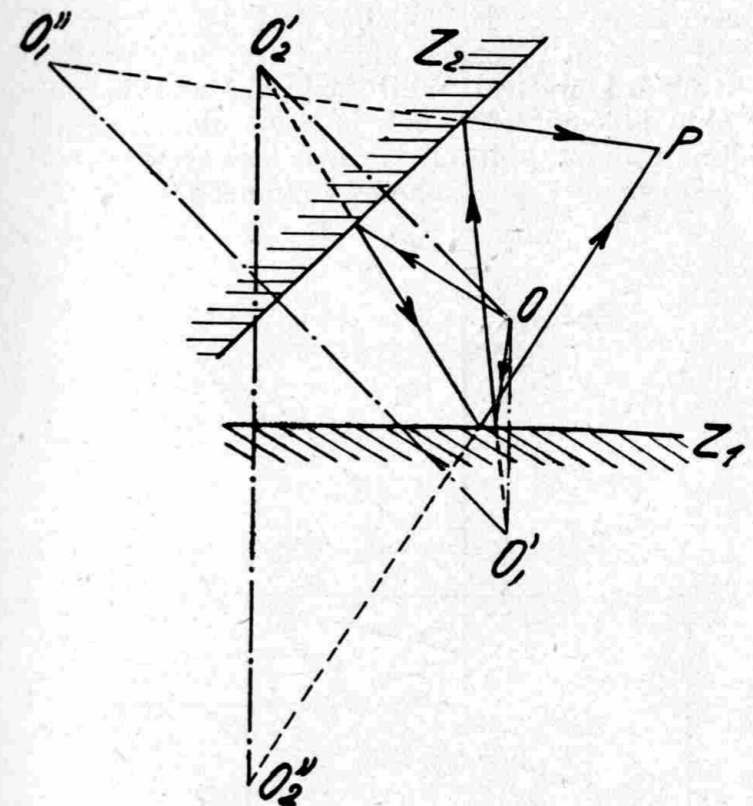
Stranově obrácený obraz, výškově správný.



Výškově obrácený obraz, stranově správný.

Obr. 17.

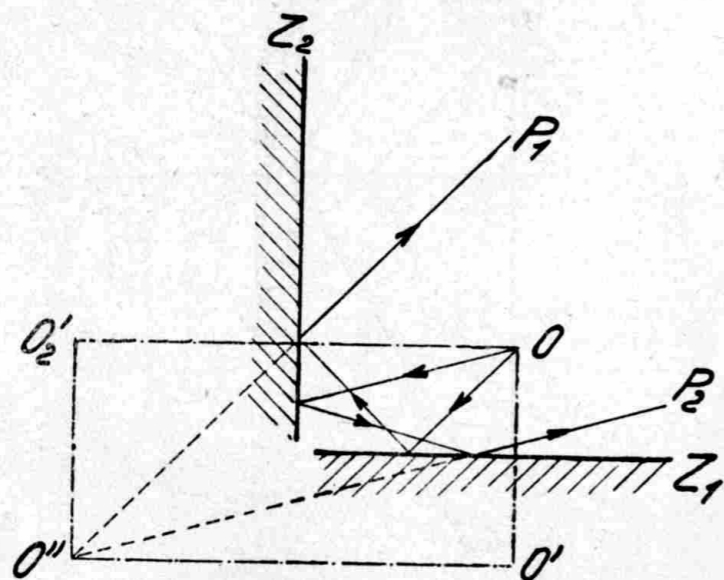
Na obr. 18. je znázorněno, jakým způsobem zjistíme polohu obrazu, daného dvěma zrcadly. Předmět je v bodě O . Obrazem tohoto předmětu v zrcadle Z_1 bude bod O'_1 . Tento obraz si podle výše uvedených pravidel sestojíme tak, že vedeme z bodu O kolmici na zrcadlo Z_1 a na prodloužené kolmici za zrcadlem je hledaný obraz O'_1 . Jeho vzdálenost od zrcadla rovná se vzdálenosti



Obr. 18. Obrazy vytvořené dvěma zrcadly.

bodu O od zrcadla. Podobně sestojíme obraz daný druhým zrcadlem Z_2 v bodě O'_2 . Obrazy O'_1 a O'_2 , vytvořené odrazem pouze na jednom zrcadle, mohou sloužiti za předměty pro zobrazení na protilehlém zrcadle. Tak bod O'_1 má v druhém zrcadle Z_2 obraz v bodě O_1'' a bod O'_2 se zrcadlením v Z_1 vyobrazí v bodě O_2'' . Z bodu O_1'' bychom mohli dalším odrazem, tentokrát na zrcadle Z_1 , vytvořiti obraz O_1''' a podobně též u O_2'' odrazem na Z_2 obraz O_2''' . Tyto obrazy nejsou na obr. 18. zakresleny, aby konstrukce se nestala příliš nepřehlednou. Přímký, jež slouží ke konstrukci obrazů v zrcadlech, jsou označeny čerchovanou čarou (čárka, tečka). V bodě P je pozorovatel. Plnými čarami jsou na-

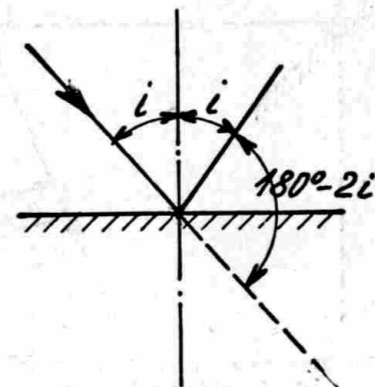
značeny paprsky, jež přicházejí do oka pozorovatele po dvojnásobném odrazu na zrcadlech. Jsou to tedy paprsky, které vycházejí zdánlivě z obrazů O_1'' a O_2'' . Pozorovatel vidí tedy dva obrazy vytvořené jedním odrazem; dva obrazy vytvořené dvojnásobným odrazem světla a případně další dvojice obrazů, vytvořené několikerým opětovným zrcadlením. Tyto další dvojice obrazů jsou stále slabší a méně zřetelné, následkem opětovných ztrát světla při odrazech. Další obrazy se již netvoří, jakmile poslední obrazy se vytvoří v úhlu mezi zadními plochami zrcadel (myšleně prodlouženými). Pouze, je-li úhel, který tvoří mezi sebou obě zrcadla, obsažen beze zbytku v úhlu plném (360°), pak je počet obrazů přesně určen a bod O vidíme tolikrát, kolikrát je úhel, jenž zrcadla tvoří, obsažen ve 360° , (počítáme-li v to i samotný předmět O).



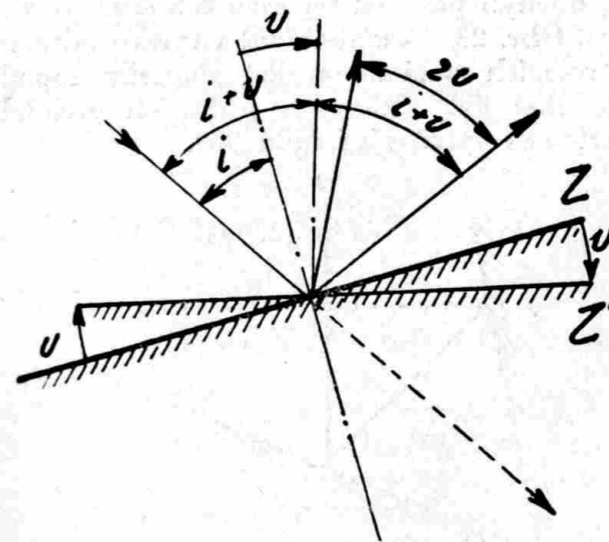
Obr. 19. Obraz vytvořený dvěma zrcadly, svírajícími úhel 90° .

Na obr. 19. je příklad takové dvojice zrcadel, jež spolu tvoří 90° úhel. Bude tedy pozorovatel vidět mimo bod O ještě tři obrazy (O_1' , O_2' , O''). Obraz vytvořený dvojnásobným zrcadlením, nejprve na Z_1 a pak na Z_2 , splývá s obrazem vytvořeným v pořadí $Z_2 - Z_1$. Pozorovatel (na př. P_1 nebo P_2) vidí obraz po dvou odrazech v bodě O'' . Dvojice obrazů (O_2'' a O_1'') na obr. 18. vytvořená dvěma odrazy v opačném pořadí, je zde nahrazena jediným obrazem O'' . Tato vlastnost zrcadel, svírajících pravý úhel, je velmi důležitá. Na ni se zakládá konstrukce t. zv. střešových hranolů.

Zákon o odrazu světla říká, že úhel dopadu rovná se úhlu odrazu. Při tom je odchylka paprsku od jeho původního směru rovna $180^\circ - 2i$ (obr. 20.). Natočíme-li nyní zrcadlo Z o malý úhel u do polohy Z' , aby paprsky dopadaly pod větším úhlem $i + u$, pak bude odražený paprsek odchýlen od původního směru o úhel $180^\circ - (2i + 2u)$. Mezi paprskem odraženým od zrcadla v jeho původní poloze a paprskem odraženým po natočení zrcadla o úhel u , bude tedy rozdíl ve směru rovnající se úhlu $2u$. Paprsek se otočí o dvojnásobný úhel naklonění zrcadla. Natočíme-li zrcadlo na př. o 5° , změní se směr odraženého paprsku o 10° .

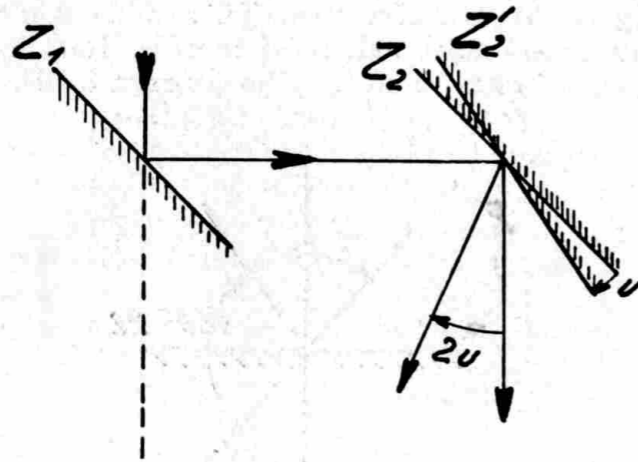


Obr. 20. Odchylka paprsků při odrazu.



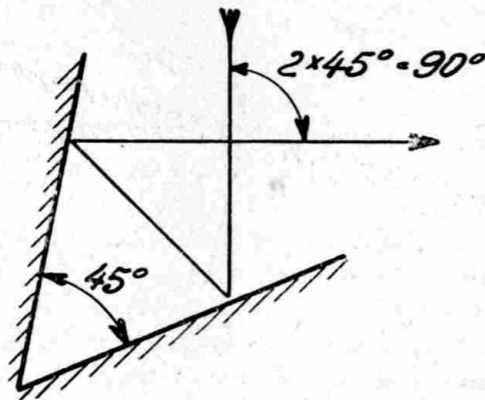
Obr. 21. Vliv naklonění zrcadla na odražené paprsky.

Všimněme si nyní odrazu paprsků na dvou rovnoběžných zrcadlech (obr. 22.). Světelné paprsky vycházejí po odrazu na zrcadlech rovnoběžně se směrem dopadajících paprsků. Otočíme-li zrcadlem Z_2 o úhel u do polohy Z'_2 , změní se směr odražených paprsků o úhel $2u$ a tentýž úhel tvoří paprsky, dopadající na zrcadla, s vycházejícími paprsky.



Obr. 22. Obraz paprsků na dvou rovnoběžných zrcadlech, z nichž jedno se otáčí.

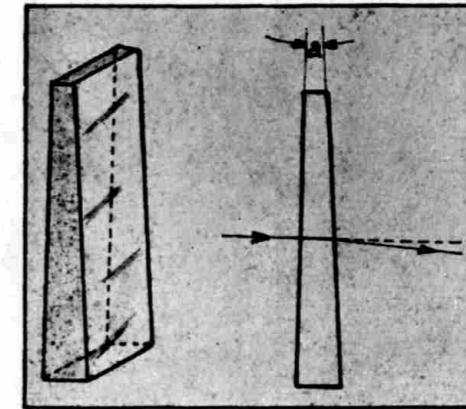
Po otočení zrcadla o úhel u svírají obě zrcadla mezi sebou tento úhel. Proto můžeme všeobecně říci, že dvě zrcadla, svírající mezi sebou úhel u , odchýlí paprsek na nich odražený o úhel $2u$ od původního směru. Obr. 23. ukazuje chod paprsku odraženého na dvojici zrcadel, tvořících mezi sebou 45° . Paprsky dopadající a odražené tvoří zde úhel 45° . Takových úhlových zrcadel se používá v zeměměřictví pro vytyčování úhlu 90° .



Obr. 23. Úhlová zrcadla na 45° .

Klíny a hranoly.

V optických přístrojích je často zapotřebí lomiti světelné paprsky do změněného směru. Jedná-li se o odchylku menší — nanejvýše několik stupňů — lze použít optických klínů.



Obr. 24. Klín.

Klíny jsou hranoly, s malým lámavým úhlem a . Odchylky paprsků dosahujeme pouze lomem a nikoli odrazem, jak tomu bude u odrazových hranolů. Paprsek, jenž vystupuje do klínu kolmo, se láme teprve na druhé ploše klínu. Pro lom na druhé ploše klínu máme vztah

$$\sin r = n \sin a,$$

kde a je lámavý úhel klínu. Protože a je malé a tedy i úhel r , můžeme zaměnit $\sin a$ a $\sin r$ za a a r , čímž obdržíme vztah

$$r = n a$$

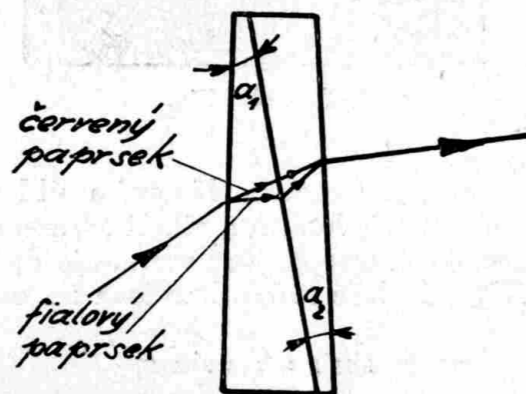
a úhel, o který se paprsek odchýlí, je dán rovnicí

$$d = n a - a = (n - 1) a.$$

Klíny, jichž se užívá v dálkoměrných přístrojích, mají odchylku d , velikosti několika minut.

Odchylka paprsků, způsobená lomem, se mění s délkou vlny použitého světla. Paprsky různých barev budou různě klínem odchýleny. Obrazy by pak vykazovaly barevnou vadu. Ale pokud úhel a je u klínu malý, zůstává rozptyl barev tak nepatrný, že ve většině případů není nikterak rušivý. Klíny s větším úhlem by však vykazovaly značnější barevnou vadu, a proto je nutno použití při větších úhlech d t. zv. *achromatických klínů*. Takové klíny se

skládají ze dvou jednoduchých, slepených klínů z různého skla a tak postavených, že jejich odchylky působí opačně. Výsledná odchylka paprsku se rovná rozdílu odchylek obou klínů (obr. 25.). Jeden hranol je z flintového skla o velké dispersi. Druhý je ze skla korunového o malé dispersi. Flintový hranol má menší úhel a_1 nežli korunový a úhly a_1 a a_2 jsou tak voleny, aby byla střední disperze prvního klínu rovna střední dispersi druhého klínu. Protože klíny jsou na sobě v opačném směru, ruší disperze jednoho klínu rozptyl světla druhým klínem a z achromatického klínu vychází opět nerozložený paprsek. Barevná disperze mezi čarami C a F je tím odstraněna. Kdyby u použitých skel stoupal index lomu od C k F stejně, takže by pro kteroukoli vlnovou délku byl vždy stejný rozdíl mezi indexy obou skel, odstranil by se achromatickým klínem úplně rozptyl paprsků. Poněvadž v praxi tomu tak není, zůstává u achromatických klínů ještě nepatrný zbytek rozptylu — t. zv. *sekundární spektrum*.

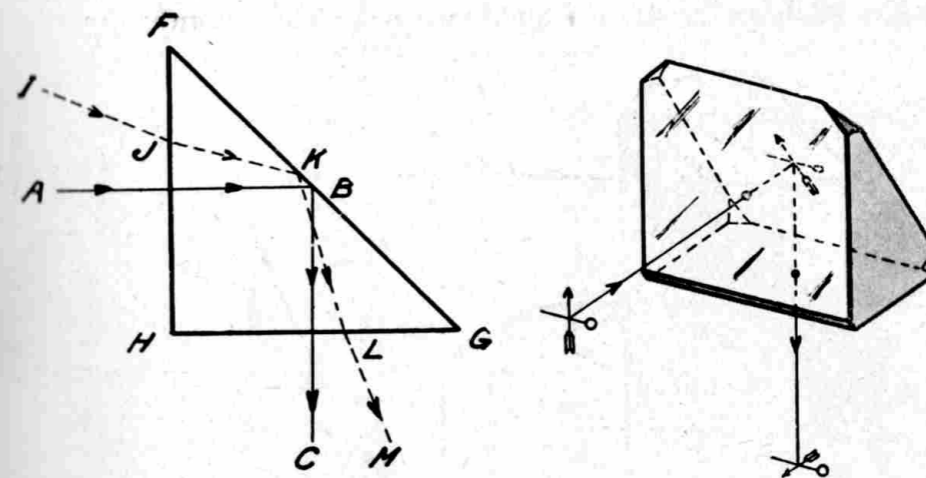


Obr. 25. Achromatický klín.

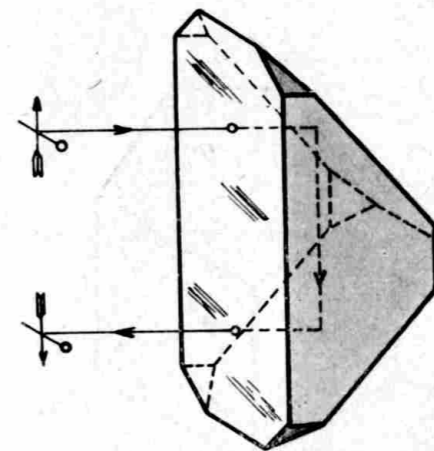
Chceme-li lomiti dráhu paprsků o značnější úhel, používáme buďto rovných zrcadel nebo odrazových hranolů. Zrcadla jsou často zdrojem nepříjemností v optických přístrojích a ve většině případů používá se proto hranolů. U hranolů jsou postříbřené odrazové plochy vždy dobře kryty a často i stříbření odpadá, protože světlo dopadá na odrazovou plochu pod úhlem větším, nežli je mezní úhel totální reflexe, a odráží se beze ztrát.

Nejjednodušším odrazovým hranolem je *pravoúhlý hranol*, jehož řez je na obr. 26. Paprsek, dopadající kolmo na první plochu, prochází jí beze změny směru; dopadá na přeponu hranolu FG pod úhlem větším, nežli je mezní úhel úplného odrazu a proto se beze ztrát odráží ve směru BC . Ztráty světla jsou pouze na vstupní a výstupní ploše hranolu (asi 4% na každé). Paprsek, jenž nedopadá

na první plochu kolmo, vychází z hranolu pod tímtež úhlem s paprskem kolmým, jako při vstupu do hranolu (paprsek $IJKLM$). Na obr. 27. je takový hranol nakreslen perspektivně. Na odrazové ploše hranolu se obraz stranově nebo výškově převrátí.



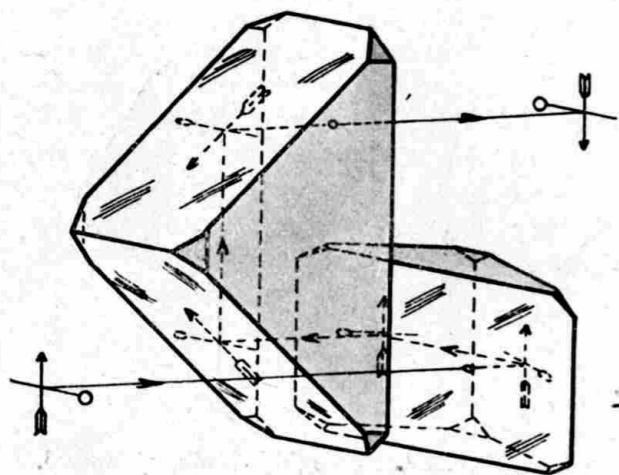
Obr. 26. Pravoúhlý odrazový hranol. Obr. 27. Pravoúhlý odrazový hranol.



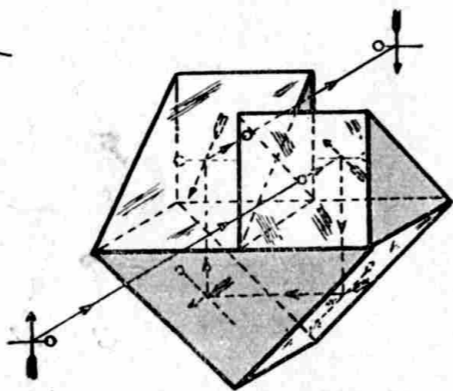
Obr. 28. Pravoúhlý hranol z kombinace Porro.

Pravoúhlých hranolů se používá též tak, že paprsky dopadají a vycházejí z plochy proti pravému úhlu. Paprsky se pak v hranolu odrážejí dvakrát, jak je viděti na obr. 28. Tak upravených hranolů se užívá v t. zv. *Porrově kombinaci* (obr. 29.), jež sestává ze dvou pravoúhlých hranolů a slouží ke vzpřímení stranově i výškově pře-

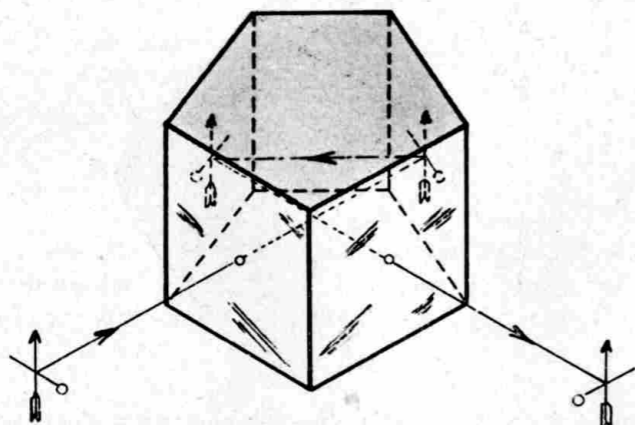
vrácených obrazů. Tyto hranoly, jak viděti z obr. 29., vlastně otáčejí celým obrazem o 180° . Hranolů Porro této kombinace se užívá běžně v triedrech. Popsali jsme nyní první typ Porro kombinace. Druhá kombinace je znázorněna na obr. 30. Taktéž vzpřimuje převrácený obraz. Princip je u obou kombinací stejný. Druhá vznikne rozpůlením hranolů první kombinace a jejich přeskupením.



Obr. 29. Porrova kombinace hranolů, první způsob.



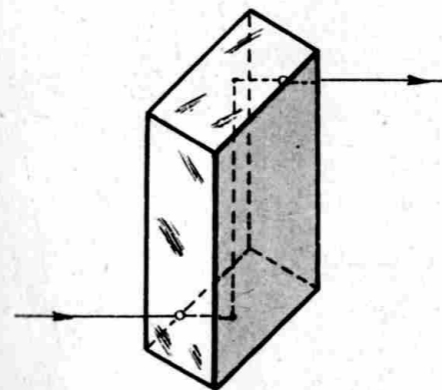
Obr. 30. Druhá kombinace dle Porro.



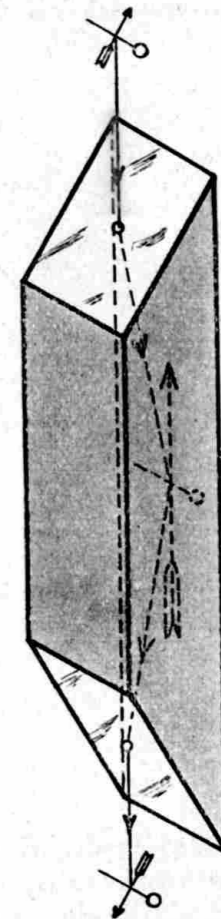
Obr. 31. Pentagonální hranol.

Pentagonální neboli *pětiboký hranol* (obr. 31.) nám připomíná úhlová zrcadla na 45° . Ostatně i jeho úkol je stejný. Takový hranol totiž lomí směr paprsků o 90° . Proti pravoúhlému hranolu má tu výhodu, že úhel 90° je nezávislý na případném malém natočení

hranolu, v rovině odrazu. Pravoúhlý hranol by po natočení odrážel paprsky o úhel 90° , plus *dvojnásobný* úhel natočení hranolu (jak jsme to viděli u otočného zrcadla). Pentagonálních hranolů se proto hojně užívá v malých telemetrech (dálkoměrech). Obě odrazové plochy penta-hranolu svírají úhel 45° a musí být postříbřeny, protože paprsky na ně dopadají pod úhlem menším, nežli je úhel totální reflexe.



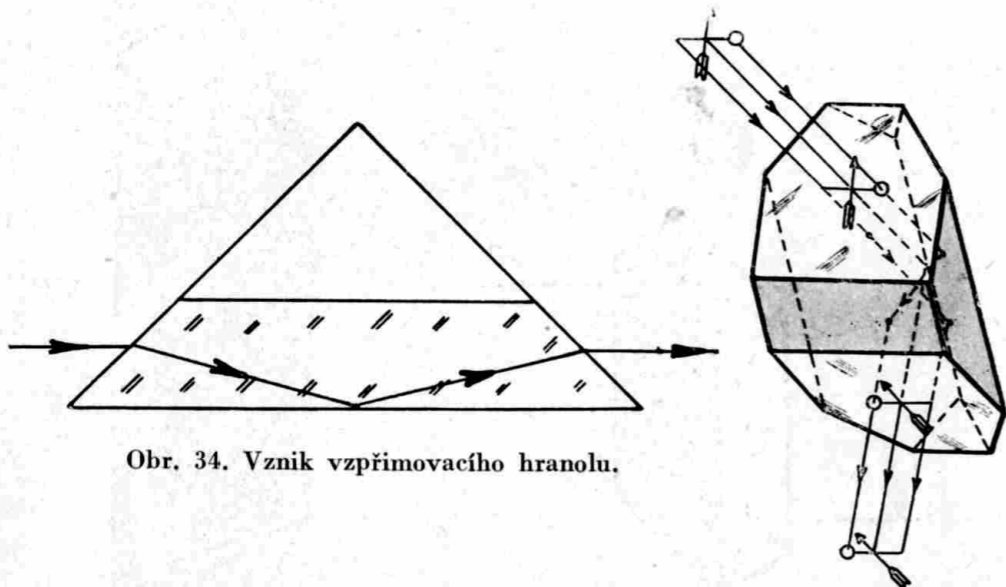
Obr. 32. Rhombický hranol.



Obr. 33. Vzpřimovací hranol.

Pro posunutí světelných paprsků beze změny jejich směru se používá *rhombických hranolů*. Paprsky se v hranolu (obr. 32.) dvakrát odrážejí a vystupují paralelně ke směru vstupujících paprsků. Takový hranol neobrací obraz. Sestává vlastně ze dvou pravoúhlých, odrazových hranolů. Rhombických hranolů se užívá v mnohých binokulárních přístrojích (t. j. přístrojích pro pozorování oběma očima). Jsou obvykle umístěny před okuláry k pohodlnému nastavení okulárů na požadovaný oční rozstup.

Obr. 33. znázorňuje *vzpřimovací hranol*, jak je používán v dělových dalekohledech. V podstatě je to pravoúhlý hranol, jehož vrchol byl odříznut. Paprsky v hranolu se odrážejí jen jednou a vycházejí rovnoběžně se směrem dopadajících paprsků. Otáčením hranolu kol jeho osy otáčí se obraz a to tak, že když hranolem otočíme o úhel u , otočí se obraz o úhel $2u$. Tím je umožněno v dělových panoramických dalekohledech udržeti obraz vzpřímený i při otáčení hlavicového hranolu (viz stať o dalekohledech).



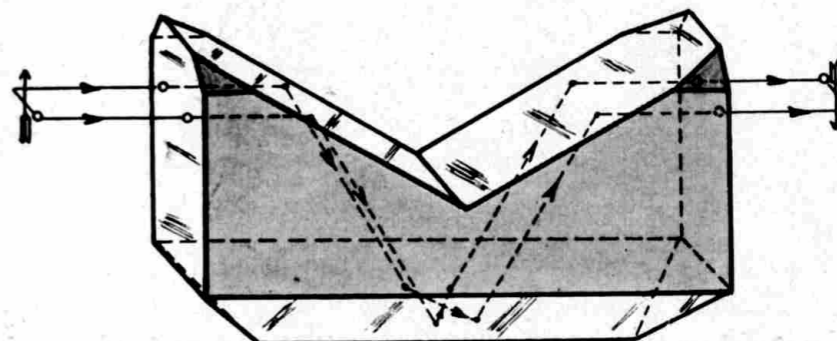
Obr. 34. Vznik vzpřimovacího hranolu.

Obr. 35. Pravoúhlý střeňový hranol.

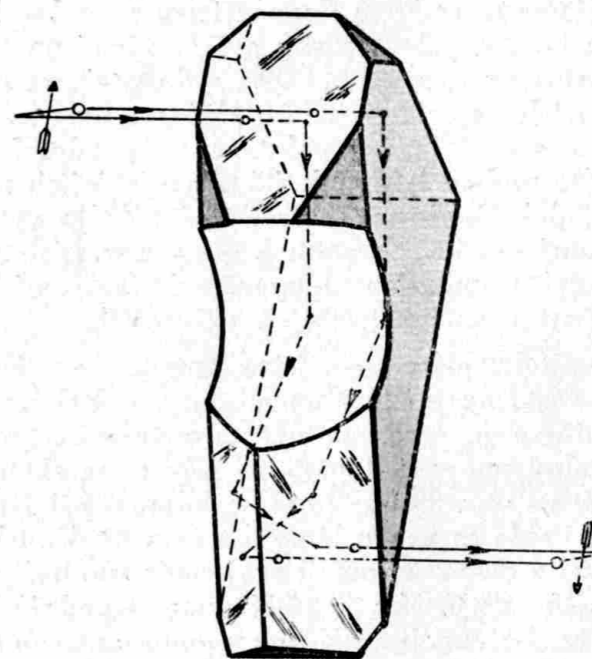
Zvláštní druh hranolů představují *střeňové hranoly*. Obr. 35. znázorňuje pravoúhlý střeňový hranol. Tento hranol jednak lomí směr paprsků o 90° , jednak otáčí obraz o 180° ; tedy převrací obraz stranově i výškově a nahrazuje Porrovu kombinaci. Jak se děje převrácení obrazu, je zřejmo z nákresu. Přeponová strana hranolu je přeměněna ve stříšku, jejíž obě plochy tvoří mezi sebou přesně úhel 90° . Každý paprsek se odráží na obou plochách střeňy, čímž se obraz otáčí o 180° . Takové hranoly jsou však velmi těžko výrobitelné a proto drahé. 90° úhel mezi plochami střeňy musí být přesný na několik málo úhlových vteřin. Nepřesnost střeňového úhlu způsobuje, že obraz daný paprsky, jež se odrazí nejdříve, na př. na pravé a pak na levé ploše střeňy, se nekryje s obrazem daným paprsky odraženými, nejdříve na levé a pak na pravé ploše střeňy. Vzniká dvojitý obraz. Takových nepřesných hranolů nelze

použít. Broušení střeňových hranolů vyžaduje obzvláště velké péče a dovedných dělníků.

Na obr. 36. znázorněný *Abbéův hranol* je komplikovanějším druhem střeňového hranolu. Dvě horní odrazové plochy hranolu způsobují pouze změnu směru paprsků. Dolní plocha je střeňová a způsobuje převrácení obrazu. Vycházející svazek paprsků není však ani posunut, ani odkloněn od původního směru dopadajících paprsků.

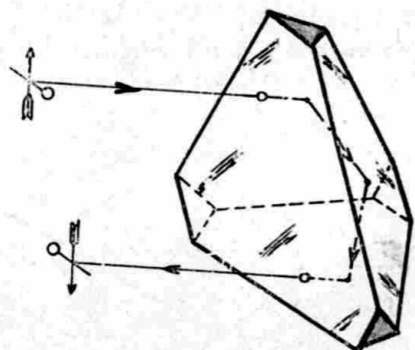


Obr. 36. Abbéův hranol.



Obr. 37. Lemanův hranol.

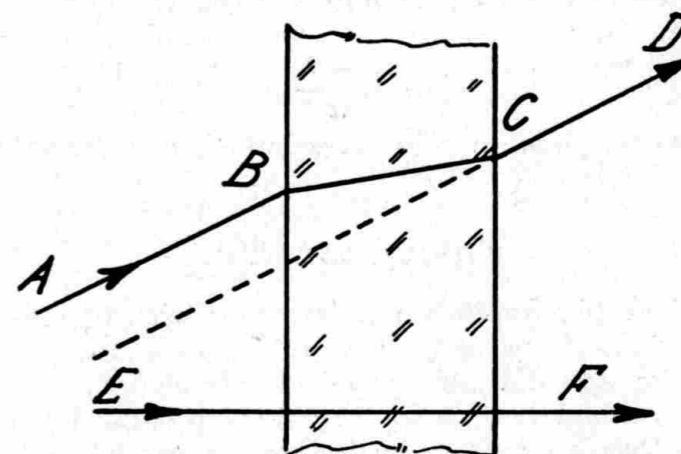
Jiný typ střešového hranolu je na obr. 37. Je to t. zv. *Lemanův hranol*. Jeho výhodou oproti Abbéovu hranolu je, že může být zhotoven z jednoho kusu a při tom má tvar, jenž umožňuje jeho snadné upevnění v přístroji.



Obr. 38. Trojboké zrcadlo.

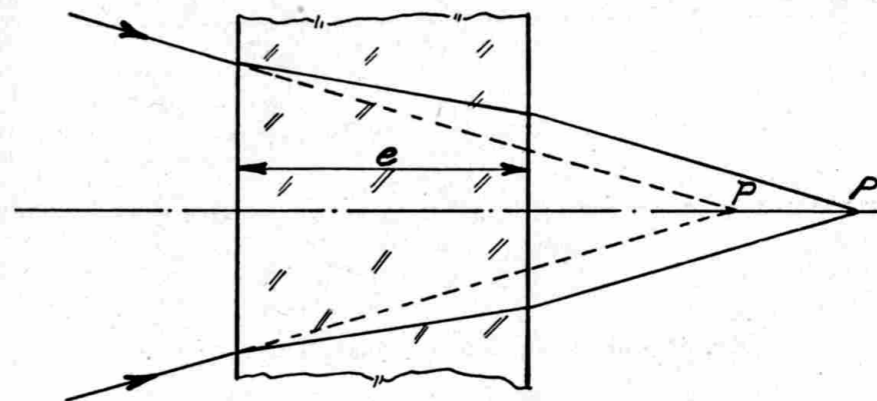
Trojboké zrcadlo (obr. 38.) má tři rovnocenné odrazové plochy. Každá odrazová plocha je kolmá k ostatním dvěma odrazovým plochám. Paprsky dopadající na zrcadlicí plochy se odrážejí ve směru rovnoběžném se směrem dopadajících paprsků. Paralelismus dopadajících a odražených paprsků ovšem závisí na tom, zda odrazné plochy tvoří navzájem úhel 90° , s dostatečnou přesností. Na směru dopadajících paprsků nezáleží. Můžeme tedy hranolem libovolně natáčet a dopadající paprsky se vždy odrazí rovnoběžně. Trojboká zrcadla mohou být, jak již ukazuje jejich název, sestavena ze tří zrcadel. Obvykle je trojboké zrcadlo vytvořeno jako hranol, se vstupní plochou kolmou k ose odrazových ploch. Užívá se těchto zrcadel v menších dálkoměrech (zařízení pro vnitřní justáž dálkoměru) a v signalizačních přístrojích.

K této kapitole připojíme ještě zmínku o *planparalelních destičkách*, jež často hrají důležitou úlohu v optických přístrojích. Planparalelní deska je omezena dvěma rovnými a rovnoběžnými plochami. Světelný paprsek dopadající šikmo na skleněnou desku (paprsek *ABCD* na obr. 39.) se lomí ke kolmici při vstupu do skla a při výstupu ze skla se znovu láme o tentýž úhel od kolmice. Paprsek vycházející z desky nezměnil svůj směr, ale byl posunut stranově. Posun je tím větší, čím je větší sklon dopadajících paprsků, čím je deska tlustší a čím je větší index lomu materiálu, ze kterého je deska vyrobena. Paprsek dopadající kolmo na desku, prochází ovšem beze změny (*EF* na obr. 39.).



Obr. 39. Chod paprsků planparalelní deskou.

Obr. 40. ukazuje vliv takové desky na svazek paprsků. Kdybychom desku odstranili, protínaly by se paprsky v určitém bodě *P*. Vlivem planparalelní desky se průsečík paprsků vytvoří v bodě *P'*. Průsečík souběžných paprsků je na příklad obrazem nějakého bodu, vytvořeným čočkami, jež jsou před planparalelní deskou.



Obr. 40. Chod souběžných paprsků planparalelní deskou.

Obraz se tedy posune dále od desky. Představíme-li si chod paprsků v opačném směru, než je to naznačeno na obr. 40., pak máme tytéž podmínky, jako kdybychom pozorovali nějaký předmět v bodě *P'* umístěný. Předmět, pozorovaný deskou, se nám jeví zdán-

livě blíže než ve skutečnosti. Posun PP' je pro paprsky blízké ose dán vzorcem

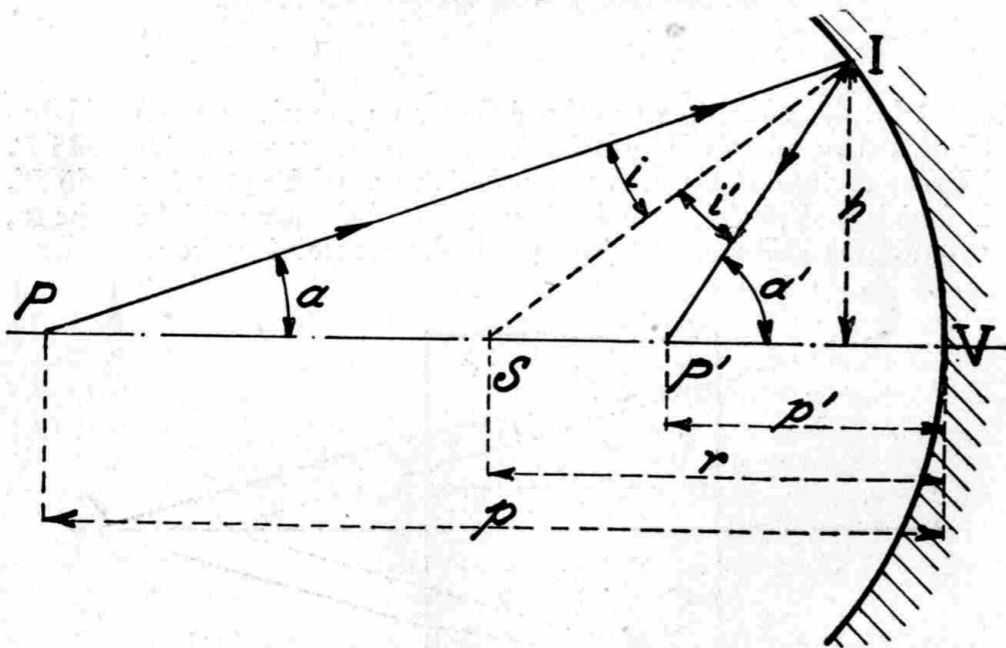
$$PP' = \frac{n-1}{n} e \quad (12),$$

kde e je tloušťka desky a n je index lomu použitého skla.

Kulová zrcadla.

Předmětem této kapitoly je odraz světelných paprsků na kulových plochách. Zmíníme se též o zrcadlech s plochou parabolickou.

Především jsou důležitá *kulová zrcadla vydutá*, čili konkávní; to je taková, kde je světelným paprskům přístupný prostor mezi zrcadlicí plochou a středem plochy zrcadla. Řez takovým zrcadlem představuje obr. 41. Přímcce, která prochází středem zakřivení ku-



Obr. 41. Odraz paprsků na vyduté kulové ploše.

lové plochy S a vrcholem zrcadla V , říkáme osa zrcadla. Předmět, jenž je na př. v bodě P , vysílá světelné paprsky. Tam, kde se paprsky po odrazu na zrcadle protínají, je obraz P' bodu P daný tímto zrcadlem. Hledáme-li, kde se vytvoří obraz P' , zjistíme si chod alespoň dvou světelných paprsků, vycházejících z bodu P . Paprsek představovaný osou zrcadla, vychází z P , dopadá kolmo na zrcadlo v bodě V a odráží se zase na směru osy zpět. Druhý pa-

prsek, nakloněný k ose, dopadá na zrcadlo v bodě I . Kolmici v tomto bodě tvoří zřejmě spojnice se středem zakřivení SI . Podle zákona, že úhel dopadu rovná se úhlu odrazu, obdržíme snadno směr paprsku odraženého, jenž protíná osu v bodě P' .

Abychom si co nejvíce zjednodušili hledání obrazu, volíme šikmý paprsek tak, aby byl jen nepatrně odchýlen od osy. Ose blízké paprsky (říkáme jim též *osové paprsky* nebo *paraxiální paprsky*) odrážejí se v zrcadlech kulových a lámí se v čočkách podle jednoduchých matematických zákonů. Obrazy jimi vytvořené jsou základním vodítkem při konstrukci optických přístrojů.

Pro stanovení matematických vzorců k výpočtu obrazů, vytvořených zrcadly, které by byly platny ve všech možných případech, činíme tuto konvenci: Budeme všechny délky na ose počítati od vrcholu odrazové plochy V tak, že úsečky ve směru dopadajících paprsků (na obr. 41.), tedy napravo od V , budeme považovati za kladné (positivní) a úsečky proti směru dopadajících paprsků (na obr. 41 od V nalevo), budou považovány za záporné (negativní) a označovány znaménkem záporným.

Podle této konvence budou u kulového zrcadla na obr. 41. všechny úsečky záporné (VP , VP' a VS mají znaménko minus.)

V trojúhelnících PIS a $P'IS$ máme

$$\frac{p-r}{r} = \frac{\sin i}{\sin a} \quad (13)$$

$$\frac{r-p'}{r} = \frac{\sin i'}{\sin a'} \quad (14)$$

a poněvadž $i = i'$, je též $\sin i = \sin i'$. Kombinací rovnic (13) a (14) obdržíme

$$\frac{p-r}{r-p'} = \frac{\sin a'}{\sin a} \quad (15)$$

Pro osové paprsky bude I blízko vrcholu V ; úhly a a a' budou proto velmi malé a můžeme říci přibližně, že

$$\sin a = -\frac{h}{p}, \quad \sin a' = -\frac{h}{p'}.$$

Rovnice (15) se změní na

$$\frac{p-r}{r-p'} = \frac{p}{p'}, \text{ což možno psáti}$$

$$-\frac{1}{p'} - \frac{1}{p} = -\frac{2}{r} \quad (16).$$

Na pravé straně rovnice je $-\frac{2}{r}$. Této veličině říkáme *ohnisková vzdálenost* zrcadla a značíme ji písmenou f . U kulových zrcadel všech druhů platí pak

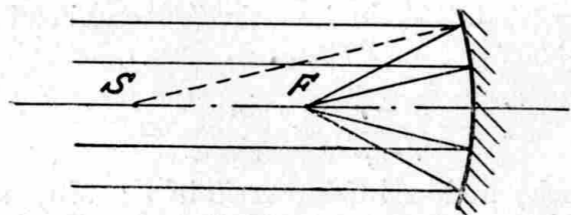
$$f = -\frac{2}{r} \quad (17)$$

V našem případě u vydutého zrcadla bude f kladné, protože podle konvence je r záporné a se záporným znaménkem ve vzorci (17) dává veličinu f kladnou.

Rovnici (16) píšeme často

$$-\frac{1}{p'} - \frac{1}{p} = \frac{1}{f} \quad (18)$$

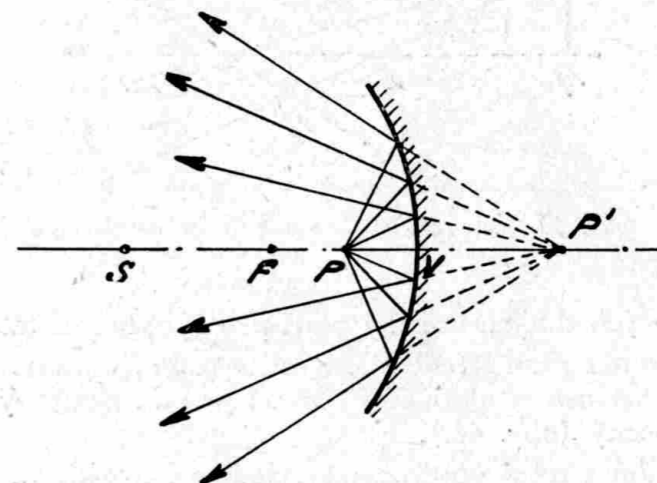
Tato rovnice platí přesně jen pro paprsky nekonečně blízké ose, u kterých vzdálenost bodu I od vrcholu je velmi malá. Ostatní paprsky neprocházejí již bodem P' , ale pokud sklon paprsků k ose není příliš značný, jdou odražené paprsky velmi blízko bodu P' . Není zde již jednoduchého a přesného vztahu mezi předmětem a obrazem, jako tomu bylo u rovných zrcadel. Obraz vytvořený kulovým zrcadlem, jeví jistý rozptyl paprsků, který způsobuje neostrost obrazu P' . Kdežto ale rovné zrcadlo dávalo obrazy zdánlivé, dává kulové zrcadlo vyduté též skutečné obrazy (jak je to znázorněno na obr. 41.). Paprsky skutečně procházejí obrazem a obraz P' lze zachytit na př. na pásek papíru, umístěný v bodě P' tak, aby neodcláněl než nepatrnou část zrcadlicí plochy, nebo na podobně umístěné matné sklo.



Obr. 42. Předmět v ohnisku vydutého zrcadla.

Zvětšujeme-li vzdálenost $V P$, je-li tedy větší úsečka $-p$, pak se zmenšuje úsečka $-p'$ a obraz se přibližuje k zrcadlu. Nejvíce se k zrcadlu přiblíží, je-li předmět nekonečně daleko. Pak se vytvoří obraz ve vzdálenosti $-f$ od zrcadla a paprsky na zrcadlo dopadající jsou rovnoběžné. Bod, kde se vytvořil obraz nekonečně vzdáleného předmětu, je nazýván *ohniskem zrcadla*. Přiblížujeme-li předmět k zrcadlu, vzdaluje se obraz. Přiblížíme-li předmět až na

vzdálenost $-f$ od zrcadla, pak bude předmět v ohnisku a obraz v nekonečnu. Paprsky vycházející z předmětu budou po odrazu na zrcadle vycházeti rovnoběžně s osou (obr. 42.). Nalézají-li se předmět mezi ohniskem a zrcadlem, pak se již nemůže vytvořit reálný, skutečný obraz. Zrcadlo dá obraz zdánlivý, kterým již procházejí jen myšleně prodloužené paprsky (obr. 43.).



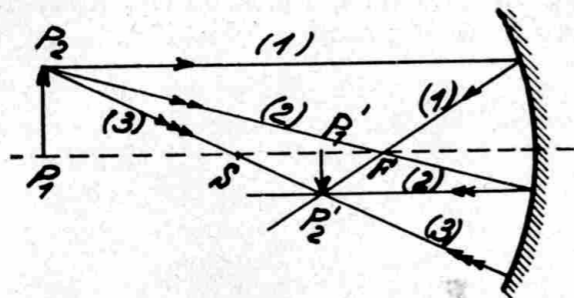
Obr. 43. Předmět mezi ohniskem a zrcadlem u vydutého zrcadla.

Zvolme si místo bodového předmětu předmět ve tvaru úsečky ($P_1 P_2$), kolmé k ose zrcadla (obr. 44.). Obraz bodu P_2 nalezneme, vedeme-li z tohoto bodu paprsky, jejichž chod můžeme přesně určit. Takové paprsky jsou u zrcadel tři. Předně paprsek rovnoběžný s osou, který po odrazu prochází ohniskem (1). Pak je paprsek procházející ohniskem, který je po odrazu rovnoběžný s osou (2). A konečně paprsek procházející středem zrcadla, jenž dopadá na zrcadlo kolmo a odráží se zpět do středu zakřivení zrcadla (3). Pro konstrukci obrazů stačí dva z těchto paprsků. Uvedené paprsky, jež se řídí podle pravidel platných pro osové paprsky, umožní nám určení polohy obrazu s dostatečnou přesností. Polohu obrazu bodu P' , pak již nemusíme hledat, protože, je-li předmět $P_1 P_2$ kolmý k ose, je tomu tak i u obrazu $P_1' P_2'$.

Vidíme z konstrukce na obr. 44., že velikost obrazu a předmětu není stejná. Poměr velikosti obrazu k velikosti předmětu se nazývá zvětšením. Zvětšení u kulových zrcadel je dáno vzorcem

$$Z = -\frac{p'}{p} \quad (19)$$

Na obr. 44. je p i p' záporné. Zvětšení Z je pak následkem znaménka minus ve vzorci (19) záporné. To znamená, že obraz je převrácen. Je-li obraz menší než předmět, pak je zvětšení menší než 1; (na př. je potom zvětšení $Z = 0,90$), obraz je zmenšený.

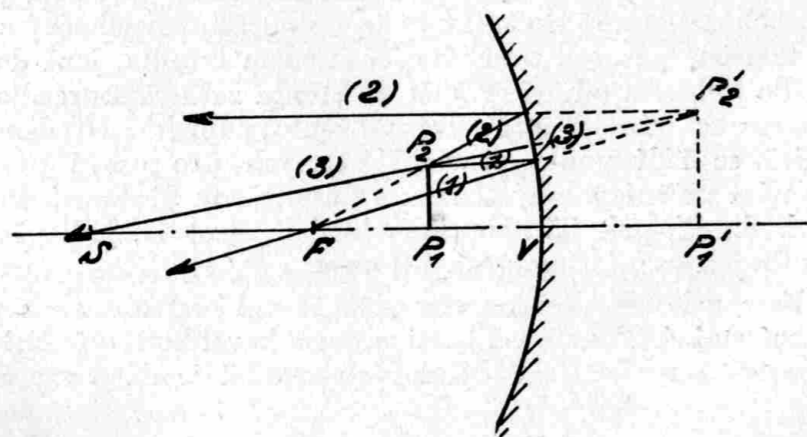


Obr. 44. Konstrukce obrazu u vydutého zrcadla.

U kulových dutých zrcadel platí pro vyobrazení tato pravidla:

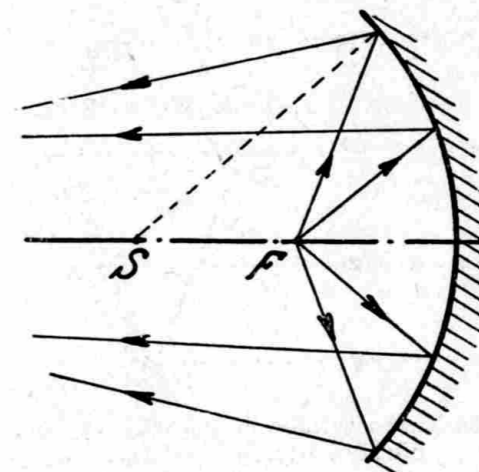
1. Je-li předmět před středem křivosti zrcadla, vznikne obraz mezi středem křivosti a ohniskem. Obraz je pak skutečný, zmenšený a převrácený (obr. 44.).
2. Je-li předmět mezi ohniskem a středem křivosti, vznikne obraz před středem křivosti. Obraz je skutečný, zvětšený a převrácený.
3. Je-li předmět mezi ohniskem a zrcadlem, vznikne za zrcadlem obraz zdánlivý, zvětšený a přímý.

Nalézá-li se předmět ve středu křivosti, je jeho obraz též ve středu křivosti; je skutečný a převrácený a je téže velikosti, jako předmět ($z = -1$). Je důležité připomenouti, že u optických přístrojů, ať již u zrcadel rovných nebo zakřivených nebo čoček platí *zásada*,



Obr. 45. Konstrukce virtuálního obrazu u dutého zrcadla.

že můžeme navzájem vyměnití polohu předmětu a obrazu. $P_1' P_2'$ v předcházejících obrazech může být předmětem; obraz je pak v $P_1 P_2$. Na obr. 45. si takto představíme, že dopadající paprsky jdou tak, že se myšleně protínají ve virtuálním či zdánlivém předmětu $P_1' P_2'$, a že po odrazu tvoří před zrcadlem skutečný obraz $P_1 P_2$.

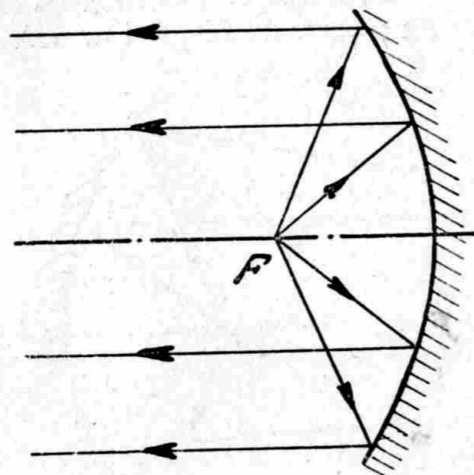


Obr. 46. U kulového zrcadla se paprsky vycházející z ohniska neodrážejí přesně rovnoběžně.

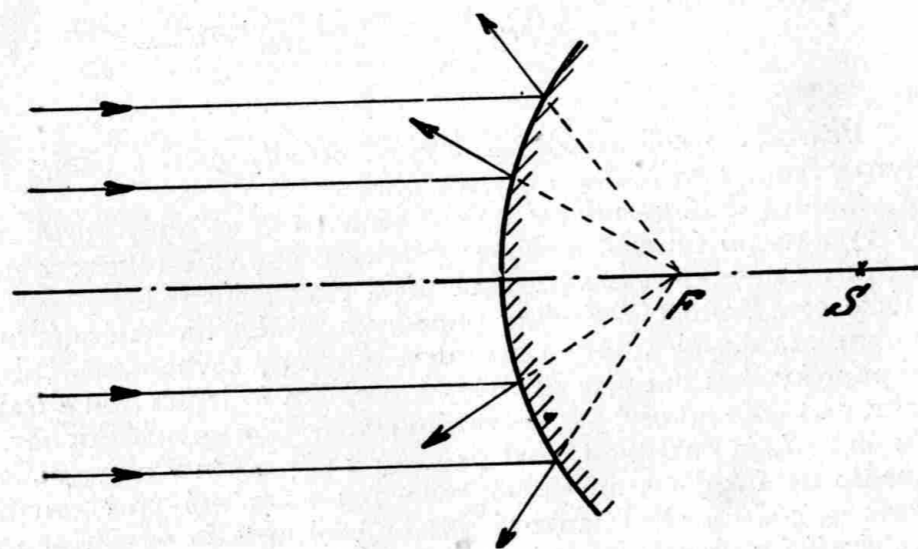
Pravidla o zobrazování kulovými zrcadly platí i tehdy, když slovo *předmět* nahradíme slovem *obraz*.

Kulová dutá zrcadla, v jejichž ohnisku je světelný zdroj, měla by vysílati po odrazu rovnoběžný svazek paprsků (obraz v nekonečnu). Pravidla výše vyslovená platí však stále jen pro paprsky blízké ose. Proto též všechny paprsky z předmětu, nalézajícího se v ohnisku, nejsou kulovým zrcadlem odraženy rovnoběžně. Odražené paprsky jsou tím více skloněny k ose, čím je jejich bod odrazu I (obr. 41.) dále od osy, jak znázorňuje ve zvětšeném měřítku obr. 46. Na obr. 47. je nakreslen chod paprsků z předmětu v ohnisku, když zrcadlo není kulové, ale když jeho řez osou má tvar paraboly (*parabolické zrcadlo*). Takové parabolické zrcadlo odráží paprsky vycházející z ohniska úplně paralelně. Chceme-li osvětliti vzdálené předměty, užíváme často parabolických zrcadel, v jejichž ohnisku je umístěn silný světelný zdroj. To je princip konstrukce světlometů (reflektorů). Aby se dosáhlo co největšího využití světelného zdroje, jest třeba voliti co největší průměr zrcadla. Čím větší zrcadlo při téže ohniskové vzdálenosti, tím zachytí větší kužel paprsků, přicházejících od světelného zdroje. Není zde nebezpečí nedokonalého usměrnění paprsků při větším průměru použitého

zrcadla, jako u zrcadla kulového, kde se okrajové paprsky protínají na ose v celkem krátké vzdálenosti a dále pak se znovu rozbíhají, čímž zavinují škodlivý rozptyl a ztrátu světla.



Obr. 47. U parabolického zrcadla se paprsky vycházející z ohniska odrážejí přesně paralelně.



Obr. 48. Odraz rovnoběžných paprsků na vypuklém zrcadle.

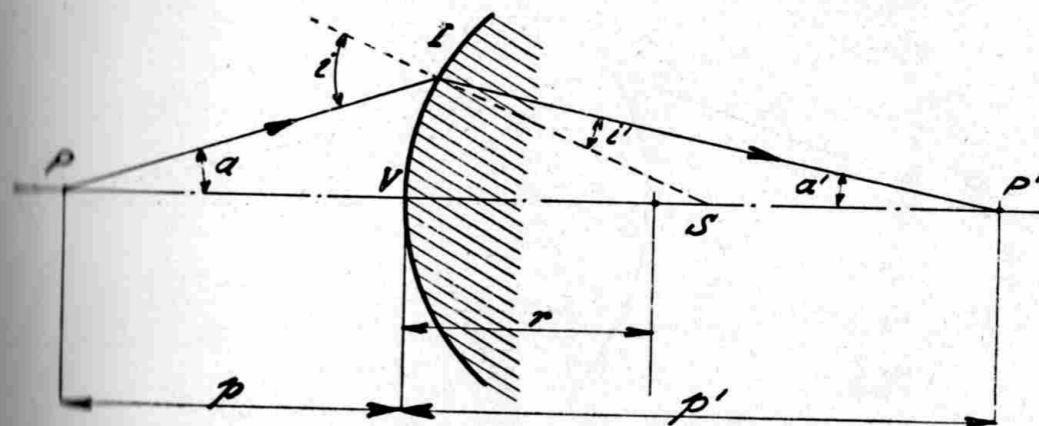
Zrcadla vypuklá (konvexní), jež odrážejí světlo na vnější straně kulové plochy, jsou daleko méně významná. Obraz daný takovým kulovým zrcadlem z reálního předmětu je vždy zdánlivý. Chod paprsků je znázorněn na obr. 48. Zrcadlo má ohnisko

zdánlivé, nikoliv reální. Ohnisko je tedy za odraznou plochou a je nepřístupné. Ve vzorci $f = -\frac{r}{2}$ je nyní r kladné a proto je ohnisková vzdálenost f záporná. Pro výpočty platí tytéž rovnice, jako pro zrcadla dutá a konstrukce obrazu se provádí pomocnými paprsky, jak uvedeno u zrcadel dutých.

Lom světla na kulových plochách.

Čočky.

Představme si kulovou plochu oddělující dvě opticky různá průhledná prostředí (obr. 49.).



Obr. 49. Lom paprsku na kulové ploše.

Před plochou je na př. vzduch, index lomu n a za ní je sklo o indexu lomu n' . Podobnou úvahou jako u kulového zrcadla bychom mohli odvodit vzorec pro vztah mezi vzdálenostmi p , p' , a r pro paprsky osové. Podle dříve uvedené konvence, která i zde platí, bude na př. na obr. 49. p veličinou zápornou, ale p' a r budou kladné. Rovnice pro lom na kulové ploše zní

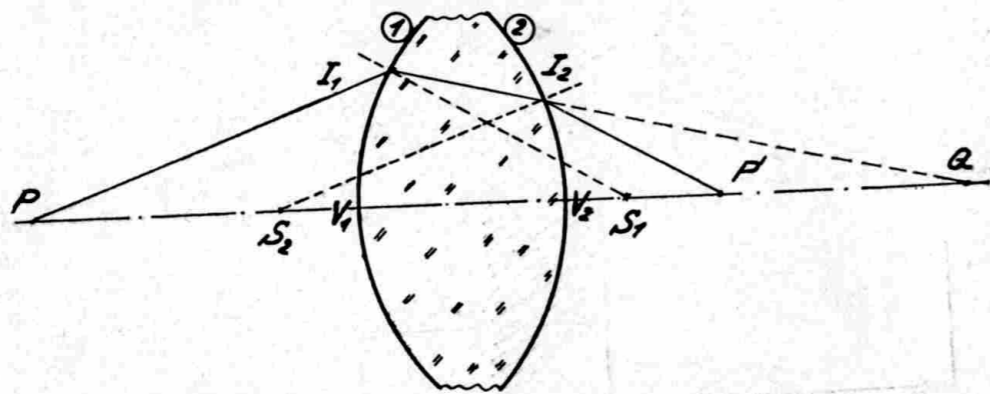
$$\frac{n'}{p'} - \frac{n}{p} = \frac{n' - n}{r} \quad (20).$$

(Když do této rovnice vložíme $n = 1$ a $n' = -1$, čili $n' = -n$, obdržíme rovnici (16) pro kulová zrcadla.)

Čočky jsou omezeny buďto dvěma kulovými plochami nebo jednou kulovou a jednou rovnou plochou. To jsou čočky kulové

neboli *sférické*. Čočky omezené jinými křivými plochami jsou nazývány čočkami *asférickými*. Čočky sférické jsou daleko důležitější a proto v dalším, až na výslovné výjimky, budeme vždy míti na mysli pouze takové čočky.

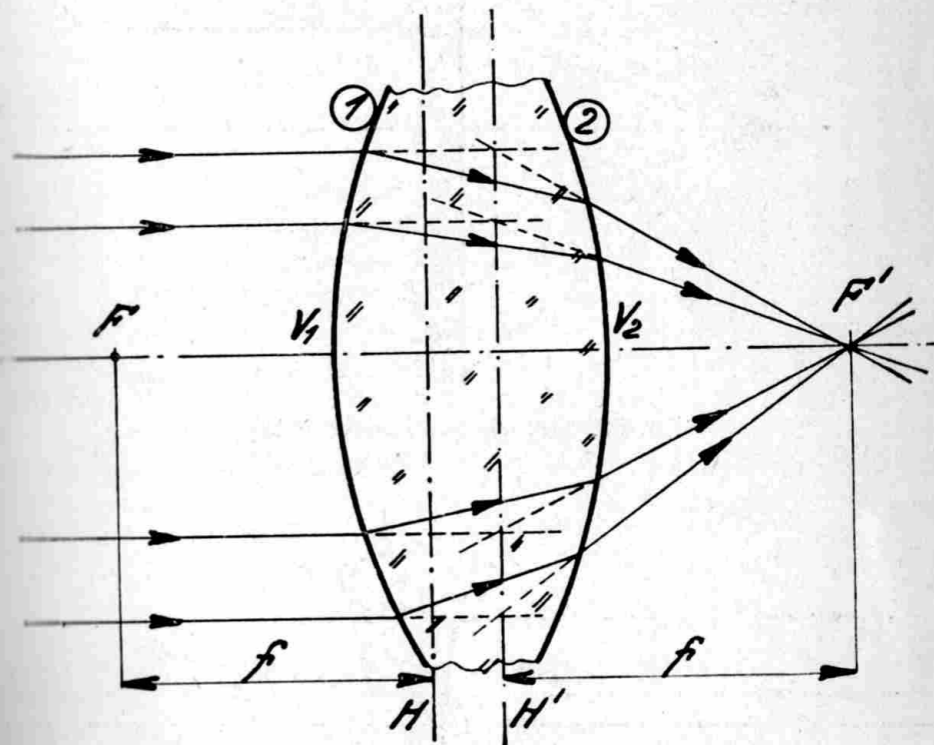
Lomem světla na kulových plochách čočky se buďto paprsky světelné sblížíjí — pak je to *čočka spojná* neboli *spojka* — nebo se paprsky čočkou roptylují a takové čočce říkáme *rozptylná čočka* neboli *rozptylka*. Obr. 50. znázorňuje spojnou čočku, omezenou dvěma kulovými plochami. Přímka, na které leží středy zakřivení obou ploch, se nazývá osou čočky. Paprsky vycházející z bodu P , jsou na první ploše lomeny směrem do bodu Q a druhou plochou jsou lomeny do bodu P' , kde se vytvoří v našem případě reální obraz bodu P . Čočkou jsou staženy paprsky vycházející z bodu P do bodu P' . Spojná čočka je vždy silnější uprostřed, než na okraji.



Obr. 50. Lom paprsků spojnou čočkou.

Obr. 51. ukazuje vliv spojně čočky na rovnoběžný svazek paprsků. Paprsky se lámou na obou plochách čočky. Prodloužíme-li myšleně vstupující paprsky a vystupující paprsky, protnou se nám tyto v rovině, která je kolmá k ose čočky. To je *hlavní rovina* čočky. Každá čočka má dvě hlavní roviny (H a H'). Rovina H' je druhou neboli zadní rovinou čočky a vztahuje se k obrazu. Rovina H je první neboli přední hlavní rovinou a vztahuje se k předmětu. Paprsky dopadající na spojnou čočku rovnoběžně s osou se protínají v bodě F' , který je ohniskem čočky. Každá čočka má dvě ohniska; vedeme-li totiž paprsky rovnoběžně s druhé strany na čočku, budou se po průchodu čočkou protínati v bodě F . Bod F je přední, první *ohnisko* čočky (předmětové ohnisko) a bod F' je zadní, druhé ohnisko čočky (obrazové ohnisko). Vzdálenost ohniska od příslušné hlavní roviny je nazývána *ohniskovou vzdáleností* čočky. Umístí-

me-li do předního ohniska bodový předmět, pak budou paprsky z tohoto bodu vycházející po průchodu čočkou rovnoběžné s osou. Prodloužením paprsků dopadajících a vystupujících z čočky obdrželi bychom průsečíky, jež by byly na první hlavní rovině čočky.



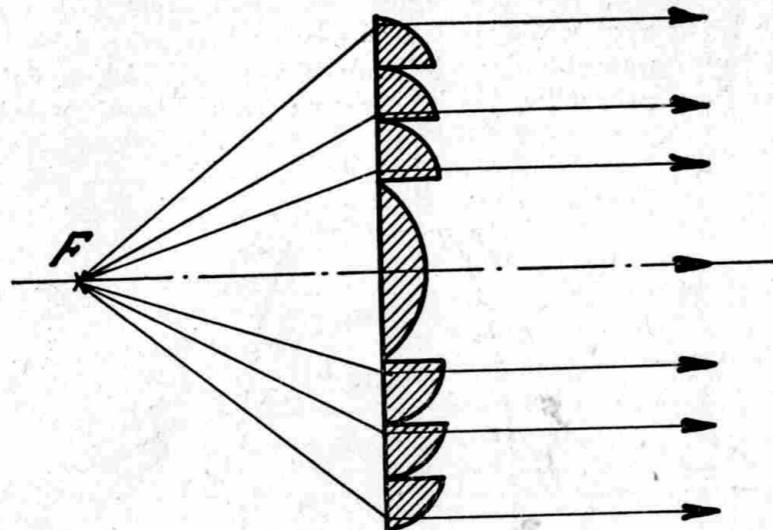
Obr. 51. Lom paralelních paprsků spojkou.

Čoček by bylo zásadně možno použití i pro světlometry. Ale vzhledem k velkým rozměrům, byly by čočky velmi silné a pohlcovaly by už následkem své tloušťky mnoho světla. Proto se u reflektorů používá stupňovitých *čoček Fresnelových*. Průřez takovým zařízením je na obr. 52.

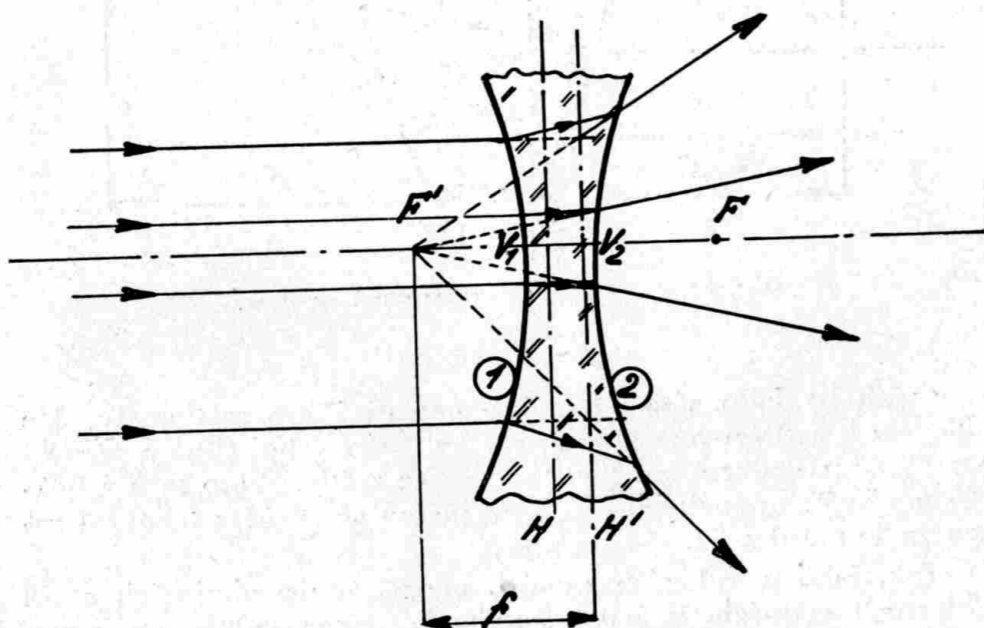
Tak, jako u kulových zrcadel, platí i zde o ohniskách a též o hlavních rovinách, že jejich poloha je určena zmíněnými jednoduchými vztahy, ovšem pouze pro paprsky blízké ose.

Čočky, které světlo neshbírají do užšího svazku, nýbrž ještě paprsky rozptylují, nazýváme, jak už bylo řečeno, *rozptylkami* (nebo též čočkami negativními na rozdíl od čoček spojných neboli pozitivních).

Chod paprsků je viděti z obr. 53. Rozptylka je vždy tenší uprostřed, než na okraji. Paprsky rovnoběžné s osou se po prů-



Obr. 52. Fresnelovy stupňové čočky.



Obr. 53. Lom paralelních paprsků rozptylnou čočkou.

chodu čočkou rozptylují. Jejich prodloužením před čočkou obdržíme průsečík v bodě F' , který je druhým ohniskem rozptylky. Paprsky ohniskem vůbec neprocházejí; ohnisko je zdánlivé, virtuální. Průsečíky prodloužených dopadajících a vystupujících paprsků jsou

pak na druhé hlavní rovině čočky. Vzdálenost ohniska F' od hlavní roviny H' je opět ohniskovou vzdáleností f , která je záporná, vzhledem k tomu, že ohnisko F' je před čočkou. U rozptylky jsou tedy příslušná ohniska na opačné straně čočky, nežli u spojek. Ohniskovou vzdálenost spojek nebo rozptylek si vypočteme ze vzorce

$$\frac{1}{f} = (n-1) \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) - \frac{e(n-1)^2}{n r_1 r_2} \quad (21),$$

kde f je ohnisková vzdálenost, n je index lomu čočky, r_1 a r_2 jsou poloměry zakřivení obou ploch a e je tloušťka čočky na ose. Poloměry zakřivení jsou kladné, je-li plocha obrácena vypuklinou proti směru paprsků, a záporné, je-li plocha obrácena dutou stranou proti směru paprsků. U čočky na obr. 53. je první poloměr záporný a druhý kladný. Čočka na obr. 51. má první poloměr kladný a druhý záporný. Počítáme-li vzdálenosti předmětu p od první hlavní roviny H a vzdálenosti obrazů p' od druhé hlavní roviny H' kladně ve směru postupujících světelných paprsků a záporně proti tomuto směru podle naší konvence, použité již u kulových zrcadel, pak obdržíme vztah

$$\frac{1}{p'} - \frac{1}{p} = \frac{1}{f} \quad (22).$$

Podle této rovnice si vždy můžeme vypočítati z dané polohy předmětu polohu obrazu. Musíme ovšem dbáti toho, že hodnoty p' a p , jakož i f se měří od příslušných hlavních rovin a nikoliv snad od vrcholů kulových ploch čočky.

Pro zvětšení platí u čoček vzorec

$$Z = \frac{p'}{p} \quad (23).$$

Dosadíme-li do rovnice $\frac{1}{p'} - \frac{1}{p} = \frac{1}{f}$ vzdálenosti předmětu od předního ohniska x a vzdálenost obrazu od obrazového ohniska x' , tedy místo p píšeme $x - f$ (viz obr. 55., kde p je záporné a x bude též záporné) a místo p' píšeme $f + x'$; pak obdržíme po úpravě rovnici

$$x x' = - f^2 \quad (22a),$$

která se nazývá též *Newtonovým vzorcem*. Zvětšení je potom

$$Z = \frac{f}{x} = - \frac{x'}{f} \quad (23a).$$

Vzorec (21) nám umožňuje vypočítati si přesně ohniskovou

vzdálenost dané čočky. Čočky spojné mají f kladné, rozptylky mají f záporné. Převrácená hodnota $\frac{1}{f}$ ohniskové vzdálenosti, vyjádřené v metrech, nám dává mohutnost čočky v *dioptriích*. Tak čočka ohniskové vzdálenosti 1 metr má jednu dioptrii. Čočka mohutnosti 5 dioptrií má ohnisko 0,20 m, čili 20 cm, poněvadž

$$\frac{1}{0,20} = \frac{1}{0,20} = 5.$$

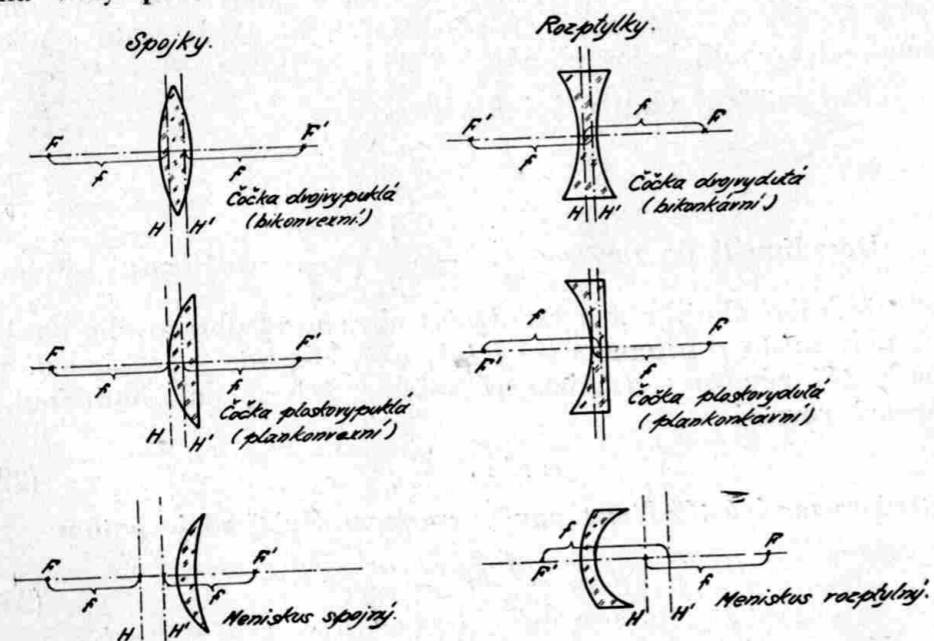
Polohu hlavních rovin si můžeme určit výpočtem. Pro vzdálenost hlavních rovin od vrcholů čočky platí rovnice

$$V_1 H = \frac{e r_1}{n (r_1 - r_2) - e (n - 1)} \quad (24)$$

$$V_2 H' = \frac{e r_2}{n (r_1 - r_2) - e (n - 1)} \quad (25)$$

$V_1 H$ a $V_2 H'$ počítáme podle konvence od bodů V_1 a V_2 pozitivně ve směru světelných paprsků a negativně proti tomuto směru. Na obr. 54. jsou nakresleny různé tvary čoček spojných a rozptylných s jejich hlavními rovinami. Vidíme, že hlavní rovina může jít i mimo čočku.

U ploskovypuklých a u ploskovydatých čoček příslušná hlavní rovina vždy prochází vrcholem zakřivené plochy; v tomto pří-

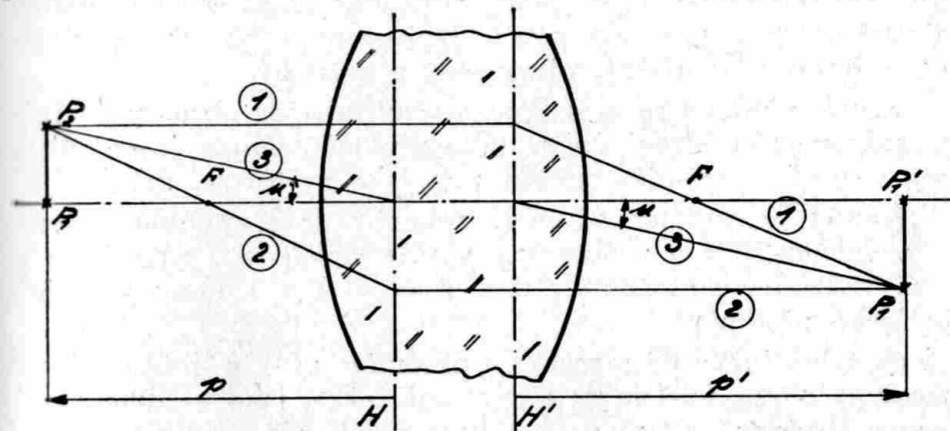


Obr. 54. Tvary čoček.

padě lze tedy měřiti ohniskovou vzdálenost přímo od vrcholu plochy.

Všeobecně možno říci, že je-li jedna z ploch čočky více zakřivena než druhá, pak se hlavní roviny posunou k zakřivenější ploše. Místo na ose čočky, kde ji protíná hlavní rovina, je hlavním bodem čočky. Hlavní bod H' je obrazem, daným čočkou z hlavního bodu H a naopak. Předmět, nalézající se v jedné hlavní rovině, je zobrazen čočkou v druhé hlavní rovině. Velikost obrazu a předmětu bude pak stejná. Je tedy zvětšení mezi hlavními body $Z = 1$. Hlavní body čočky jsou zároveň (alespoň v případech, je-li po obou stranách čočky vzduch) t. zv. *uzlovými neboli nodálními* body čočky. Uzlové body se vyznačují tím, že v nich je *úhlové zvětšení* rovno jedné, to znamená, že úhel paprsku protínajícího osu v jednom nodálním bodě, je zobrazen v druhém nodálním bodě ve stejné velikosti. *Úhlové zvětšení* mezi dvěma body P a P' na ose, z nichž je jeden obrazem druhého, je poměr tangent úhlů, jež svírají obraz určitého paprsku s osou, v bodě P' k tangentě úhlu, jež svírá paprsek s osou v bodě P .

Poznámka: tangens úhlu je poměr protilehlé odvěsny k přilehlé odvěsne pravouhelného trojúhelníka (obr. 2.).



Obr. 55. Konstrukce obrazu pomocí hlavních rovin.

Nodální body nesplývají s hlavními body, je-li čočka s jedné strany obklopena jiným prostředím, nežli s druhé strany (na př. na jedné straně je vzduch a na druhé voda).

V takovém případě není ani přední ani zadní ohnisková vzdálenost stejná a označíme-li pro tento případ přední ohniskovou vzdálenost f a zadní ohniskovou vzdálenost f' , pak máme $\frac{f'}{f} = \frac{N'}{N}$, kde N je index lomu prostředí před čočkou a N' index prostředí za čočkou.

Polohu a velikost obrazu možno u dané čočky zjistiti též konstrukcí, když známe polohu hlavních rovin a ohnisek. Používáme těchto třech základních paprsků: 1.) paprsku rovnoběžného, jež vedeme až k druhé hlavní rovině a pak lomíme do zadního ohniska; 2.) paprsku vycházejícího z předmětu a procházejícího předním ohniskem, jenž na první hlavní rovině se lomí tak, že dále jde rovnoběžně s osou; 3.) paprsku vycházejícího z předmětu P_2 do prvního hlavního bodu; tento paprsek vychází z druhého hlavního bodu pod tímtež úhlem u , jako u prvního hlavního bodu (úhlové zvětšení $1 \times$). Nahradili jsme lom paprsků na plochách čočky touto zjednodušenou konstrukcí, které možno užití i u složitých optických systémů, skládajících se z více čoček, když známe polohu hlavních rovin a ohniskovou vzdálenost systému.

Všeobecně platí zobrazení spojkami: 1.) Je-li předmět před dvojnásobnou ohniskovou délkou od první hlavní roviny, pak je obraz za čočkou mezi jednoduchou a dvojnásobnou ohniskovou vzdáleností od druhé hlavní roviny a obraz je skutečný, převrácený a zmenšený.

2.) Je-li předmět před první hlavní rovinou mezi jednoduchou a dvojnásobnou ohniskovou vzdáleností, je obraz za čočkou vzdálen od druhé hlavní roviny více než o dvojnásobnou ohniskovou vzdálenost a obraz je skutečný, převrácený a zvětšený.

3.) Je-li předmět mezi čočkou a ohniskem, je obraz před čočkou; tedy na téže straně čočky jako předmět. Obraz je zdánlivý, přímý a zvětšený. Spojka působí pak jako zvětšovací sklo.

Předměty ve vzdálenosti od H , rovnající se dvojnásobné ohniskové vzdálenosti, jsou vyobrazeny v téže vzdálenosti za čočkou a jsou převrácené a skutečné. Zvětšení $Z = -1$, t. j. obraz je stejně veliký jako předmět.

Rozptylná čočka dá z reálního předmětu vždy zdánlivý, přímý a zmenšený obraz, jenž je na téže straně čočky, jako předmět mezi čočkou a ohniskem, které je, jak jsme viděli, též zdánlivé.

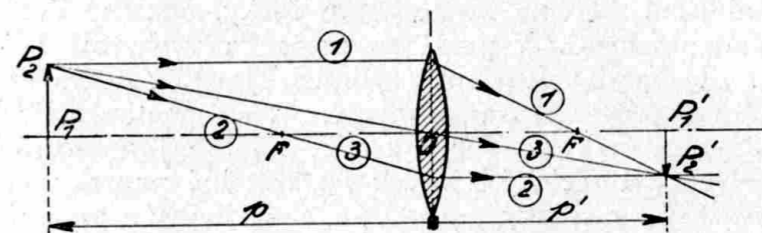
Tenké čočky a soustavy čoček.

Ve většině případů je tloušťka čoček veličinou poměrně malou ve srovnání s ohniskovou vzdáleností a s poloměry zakřivení. Proto ji často zanedbáváme a počítáme s t. zv. *tenkými čočkami*. U tenkých čoček splývají vlastně v jedno oba vrcholy zakřivených ploch, jakož i oba hlavní body. Místo, kde čočkou prochází její osa, je prostě středem čočky a shrnuje v sobě vlastnosti výše uvedených bodů. Vzorec pro ohniskovou vzdálenost se zjednoduší a obdržíme

$$\frac{1}{f} = (n-1) \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) \quad (26).$$

Vzorce (22) a (23) zůstávají platné i zde, beze změny. Konstrukce obrazu pomocí paprsku se zjednoduší splynutím hlavních rovin, jak ukazuje obr. 56.

Zmínili jsme se již v minulé kapitole o systémech, složených z několika čoček. Čočky spojujeme v optickou soustavu tak, aby všechny měly tutěž optickou osu.



Obr. 56. Konstrukce obrazu daného tenkou čočkou.

Máme-li na př. dvě čočky, jejichž hlavní roviny nazveme H_1 a H'_1 u první a H_2 a H'_2 u druhé čočky, pak se ohnisková vzdálenost systému obou čoček vypočítá dle vzorce

$$F = \frac{f_1 f_2}{f_1 + f_2 - a} \quad (27),$$

kde f_1 a f_2 jsou ohniskové vzdálenosti těchto čoček a kde a je vzdálenost mezi druhou hlavní rovinou H'_1 první čočky a první hlavní rovinou H_2 druhé čočky. Systém dvou čoček má též své hlavní roviny, jež nazveme H a H' . Polohu těchto hlavních rovin vzhledem k hlavním rovinám jednotlivých čoček určíme dle vzorců

$$H_1 H = \frac{a f_1}{f_1 + f_2 - a} \quad (28)$$

$$H'_2 H = \frac{-a f_2}{f_1 + f_2 - a} \quad (29).$$

Dotýkají-li se obě čočky, není tím ještě vzdálenost a rovna nule. To platí teprve, jsou-li obě čočky tenké, nebo tak konstruovány, že roviny H' a H_2 splývají. Pak platí zjednodušený vztah

$$F = \frac{f_1 f_2}{f_1 + f_2}, \quad \text{čili}$$

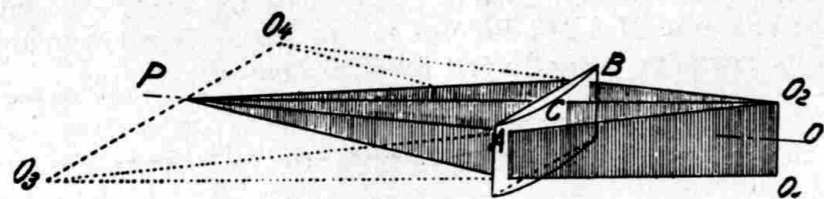
$$\frac{1}{F} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} \quad (30).$$

Pro více než dvě tenké čočky na sobě položené platí pak všeobecně

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} + \frac{1}{f_3} + \frac{1}{f_4} \dots \text{atd.} \quad (31).$$

Cylindrické čočky.

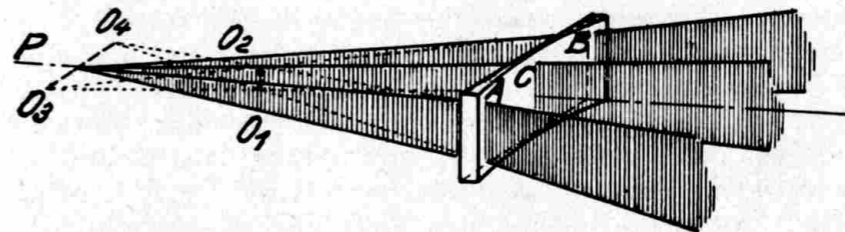
Doposud jsme měli na mysli pouze čočky omezené kulovými nebo rovnými plochami. V praxi se nezdává vyskytují i čočky s rotačními plochami válcovými (cylindrickými). Používá se jich často jako brýlových skel, pro opravu t. zv. astigmatismu lidského oka, dosti často se vyskytují. Obr. 57. a 58. mají znázorniti působení takových cylindrických čoček na světelné paprsky. Čárkovaním jsou označeny svazky paprsků, vycházejících z předmětu P a rovnoběžných s osou válcové plochy. Takové svazky paprsků po průchodu cylindrickou čočkou zůstávají nezměněny, rozptylující se svazek zůstává rozptylujícím, stejně jako v jiných případech by svazek rovnoběžných nebo sbíhavých paprsků zůstal stále rovnoběžným nebo stejně sbíhavým, jako před průchodem čočkou. Ale roviny, v nichž jsou tyto svazky paprsků, se po průchodu čočkou lámou. Jednotlivé svazky paprsků se buďto sbíhají, tedy roviny těchto svazků se k sobě přiklání, nebo se rozbíhají, podle toho, je-li cylindrická čočka uprostřed silnější nebo slabší než na okraji. Rozznáváme podle toho cylindrické čočky spojné, silnější uprostřed nežli na okraji a cylindrické čočky rozptylné, slabší uprostřed.



Obr. 57. Cylindrická čočka spojná.

Obr. 57 ukazuje vliv cylindrické čočky spojky. Paprsky světelné vycházejí z předmětu v bodě P . Rovinný svazek PC prochází středem cylindrické čočky a zůstává beze změny. Rovinné svazky PA a PB po průchodu čočkou se však srážejí k střednímu svazku a protínají jej v přímce $O_1 O_2$. Přímka $O_1 O_2$ je skutečným obrazem bodu P . Prodloužíme-li vycházející paprsky krajních svazků

myšleně před cylindrickou čočkou, dostaneme přímku $O_3 O_4$, jež je zdánlivým, virtuálním obrazem bodu P . Dává nám tedy cylindrická čočka z bodu P dva obrazy a v obou je bod přeměněn v přímku. V uvedeném případě byla jedna přímka skutečná, reální a druhá virtuální. Oba obrazy jsou k sobě kolmé a tvoří s přímkou PO pravé úhly. Všeobecně řečeno; dává cylindrická čočka z předmětu vždy dva obrazy. Někdy jsou oba obrazy skutečné, jindy jeden skutečný a jeden virtuální a někdy oba obrazy jsou zdánlivé čili virtuální. Obrázek 58. ukazuje, jak působí na světelné paprsky cylindrická čočka rozptylka. Z předmětu P dává dva zdánlivé obrazy $O_1 O_2$ a $O_3 O_4$.



Obr. 58. Cylindrická čočka rozptylná.

U cylindrických čoček se setkáváme se zvláštním úkazem, o němž bude později řeč, že totiž body jsou zobrazovány jako přímky. Takové vlastnosti čoček říkáme *astigmatismus* a vyskytuje se též u čoček kulových, jako astigmatická vada těchto čoček. Astigmatismus je charakterisován též tím, že z jednoho předmětu jsou vytvořeny dva obrazy, od sebe více méně vzdálené.

Přicházejí-li na cylindrickou čočku paprsky rovnoběžné (z nekonečna), protínají se po průchodu čočkou v přímce, jež je reální u čoček spojných a zdánlivá u čoček rozptylných. Přímka, která se vytvoří, je ohniskem cylindrické čočky. Ohnisko zde není tedy bodem, nýbrž přímkou, jež je rovnoběžná s osou válcové plochy čočky. Ale i zde vytvoří čočka cylindrická dva obrazy bodu, nalézajícího se, v případě rovnoběžně dopadajících paprsků, v nekonečné vzdálenosti. Prvním obrazem bodu z nekonečně velké vzdálenosti je zmíněná ohnisková přímka, druhý obraz je opět v nekonečnu pro všechny druhy cylindrických čoček. Je to vlastně druhé ohnisko dané čočky.

Cylindrických čoček a jejich vlastností se užívá k úmyslnému přetvoření pozorovaných bodů na přímky, poněvadž je někdy výhodné, pozorujeme-li na př. vzdálené světelné body optickými přístroji, opatřenými cylindrickými čočkami, jež ze světelných bodů vytvářejí malé čárky. Je tomu tak na př. u koincidenčních dálkoměrů, u okulárových spektroskopů, hvězdářských dalekohledů a p.

Vady čoček.

Když jsme stanovili vzorce pro výpočet polohy obrazu, počítali jsme jenom s paprsky světelnými velmi blízkými ose čočky a předpokládali jsme, že čočka má tytéž vlastnosti pro světelné paprsky všech barev.

Hledali-li jsme obraz bodu nalézajícího se mimo osu čočky, platily potom nalezené vztahy jen pro body nekonečně blízké ose. Ve skutečnosti neprocházejí světelné paprsky body, jež jsme si určili zjednodušenými vzorci, ale odchylují se; každý paprsek poněkud jinak od »správného směru« dráhy. Při tom však procházejí celkem blízko bodu, v němž má býti obraz podle zjednodušených vzorců. Neprotínají se však v tomto bodě a takový obraz není již ostrý, nýbrž jeví jistou neurčitost, podle toho, zda více nebo méně paprsků se značněji odchyluje od určené dráhy. Obraz jeví vady. Je zřejmé, že konstruktér optických přístrojů se musí snažiti co nejvíce takové vady zmenšiti, aby obrazy dané přístrojem byly co nejostřejší. Vady obrazu daného čočkami, se dají seřaditi do několika kategorií. Budeme pro zjednodušení výkladu mluvit o každé vadě zvláště a o jejich příčinách. V praxi ovšem působí tyto vady společně. Hlavní vady neboli aberace čoček jsou: Vada chromatická čili barevná, vada sférická čili kulová, koma neboli vada asymetrická, astigmatismus, sklenutí pole a zkreslení (distorse).

Barevná vada (chromatismus) spočívá v tom, že paprsky světelné různé vlnové délky (různých barev) se nelámou v čočce stejně a proto se neprotínají v témže bodě. Obraz se nám pak zdá barevný, jednotlivé barevné obrazy nesplývají. Nejdůležitější je odstranění chromatismu uprostřed zorného pole (na ose). Je-li předmět v nekonečnu, sbíhají se červené paprsky v jiném ohnisku než paprsky fialové; ohniska těchto dvou barev nejsou v témže bodě. Jednoduchá čočka spojka má ohnisko fialové blíže k čočce, nežli ohnisko červené. U čočky rozptylky, kde je ohnisko zdánlivé, je zase ohnisko fialového paprsku nejbliže čočce a ohnisko červených paprsků je nejdále. Při tom je ale pořadí ohnisek jednotlivých vlnových délek ve směru světelných paprsků opačné, nežli u čočky spojné. Spojíme-li dvě tenké čočky, spojku ze skla poměrně málo rozkládajícího bílé světlo čili ze skla korunového (kron), s rozptylnou čočkou slabší než spojka, ale vybroušenou ze skla o velkém rozptylu (dispersi), tedy ze skla flintového, pak se nám barevná vada zmenší. Můžeme pak voliti ohniskové vzdálenosti obou čoček s ohledem na dispersi použitých skel tak, že na příklad vzdálenost ohnisek fialového a červeného světla rozptylky je tatáž, ale opačného směru než u spojky. Spojením obou čoček vznikne systém, v němž jedna čočka kompenzuje svojí chromatickou vadou chromatismus

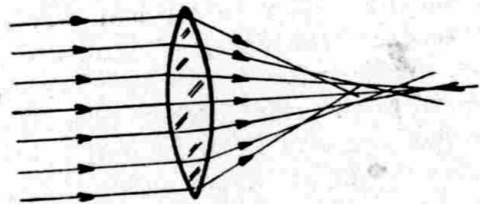
druhé čočky. Rozdíl ohnisek mezi uvedenými dvěma barvami je odstraněn. Tím není ještě absolutně všechna barevná vada vykorigována, ale zůstává jen nepatrná *sekundární chromatická vada*, zaviněná nestejně rychlým stoupáním indexu lomu skla flintového a korunového směrem k fialovému konci spektra. Je-li vzdálenost (fialové — červené ohnisko) stejná u obou čoček, docílí se pak, že spojením obou čoček vznikne systém, v němž ohnisko červené splývá s ohniskem fialovým. Není tím ale ještě dosaženo vykompensování rozdílu mezi ohniskem červené a na př. žluté barvy, protože u spojky je ohnisko žluté barvy jinak umístěno vzhledem k ohniskům červené a fialové, než je tomu u rozptylky (sekundární spektrum). Poněvadž spojná čočka je silnější než rozptylka, představuje celý takový systém dvou čoček vlastně čočku spojnou, zbavenou barevné vady. Obě čočky jsou obyčejně slepeny kanadským balsámem, jenž je velmi průzračný a má index lomu mezi indexem lomu flintového a korunového skla. Lepení čoček je výhodné, poněvadž se tím skoro odstraní ztráta světla odrazem na přechodu z první čočky do druhé. V přístrojích, vystavených horku nebo vlhku, by vrstvička balsámu snadno se porušila a proto se v takových případech a pak též u větších čoček lepení neuzívá. Sekundární spektrum je možno zmenšiti nebo odstraniti použitím tří čoček nebo použitím dvou čoček ze speciálních skel. Nevýhodou je, že tato speciální skla mnohdy snadno se kazí, časem jejich povrch naběhne, stává se skvrnitým a pod.

Dosáhneme-li odstranění barevné vady pro paprsky jdoucí blízko osy, není tím ještě odstraněn zbytek barevné vady mezi paprsky, jež procházejí optikou poněkud dále od osy (zonální chromatická vada — viz křivky aberací při sférické vadě). Proto se často koriguje chromatismus čoček tak, aby sice pro paprsky blízké ose zůstal malý zbytek chromatické vady, ale aby byly odstraněny nebo alespoň zmírněny zonální rozdíly mezi paprsky různých barev. Je to výhodnější už proto, že vlastně okrajové oblasti čočky (tedy zony vzdálenější od osy) propouštějí více paprsků, zabírají větší plochu, nežli střední oblast čočky, kterou procházejí paprsky paraxiální.

Chromatická vada se vyskytuje přirozeně jak na ose, tak i v celém zorném poli, vykresleném optickým přístrojem. Vykorigujeme-li barevnou odchylku na ose tak, aby nevadila obrazu, zůstane v zorném poli mimo osu ještě část chromatické vady, která způsobuje, že čím blíže k okraji, tím znatelněji se jeví na pozorovaných předmětech barevné lemky. Tyto barevné kontury jsou zaviněny tím, že optický systém nedává stejné zvětšení pro paprsky všech barev. Je-li zvětšení, dané optickým přístrojem o něco málo větší pro červené paprsky nežli pro modré, pak budou vyobrazené před-

měty ukazovati k okraji pole načervenalé kontury a ke středu pole namodralé kontury.

Sférická vada (vada kulová). Paprsky vycházející z nějakého bodu P a procházející čočkou v různých vzdálenostech od osy, neprotínají se všechny v jednom bodě; obraz má sférickou vadu. Obr. 59. znázorňuje tuto vadu pro paprsky přicházející z nekonečna. Jsou rovnoběžné s osou čočky. Ale nelámou se všechny do ohniska, kam jdou pouze paprsky, procházející velmi blízko osy čočky. Ostatní paprsky se protínají u jednoduché čočky spojné tím blíže, čím paprsek prochází čočkou dále od osy.



Obr. 59. Sférická vada.

U čočky rozptylné je tomu naopak. Velikost této vady závisí na tvaru čočky. Vhodnou úpravou poloměrů zakřivení takové čočky a spojením s rozptylnou čočkou nebo s více různými čočkami lze tuto vadu zmenšiti; již při achromatismu jsme uvedli jako důležitý prostředek korekce vad spojení dvou čoček z různého skla. Takové slepené čočky (lepené achromaty), jichž se používá jako objektivů u dalekohledů, jsou propočteny tak, aby jednak byla odstraněna barevná vada, jednak, aby vhodnou formou obou čoček byla snížena na nepatrnou míru sférická vada.

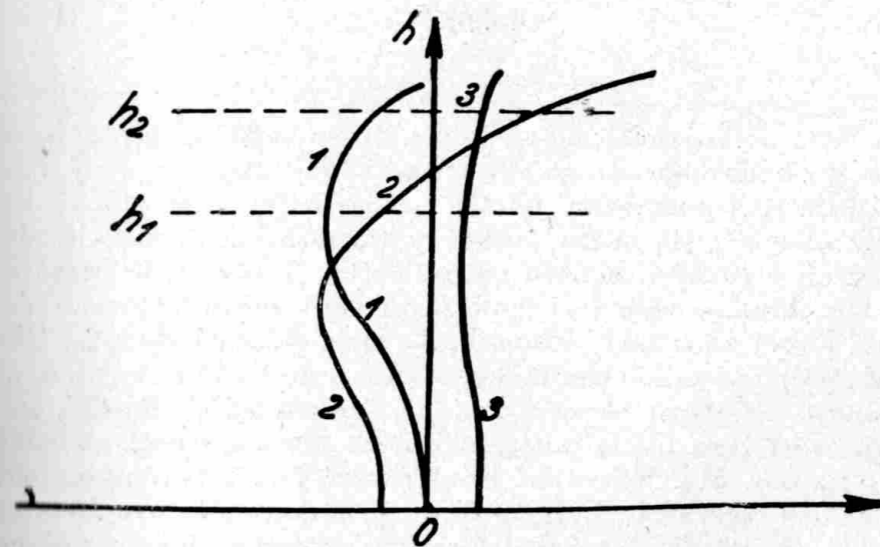
Sférickou vadu a vůbec všechny vady, mimo chromatickou, vykazují též kulová zrcadla. Viděli jsme to u kulového vydutého zrcadla. Vyduté kulové zrcadlo neodráží ze světelného zdroje, umístěného v ohnisku, všechny paprsky paralelně, nýbrž jen ty, které dopadají na zrcadlo blízko osy. To je též způsobeno sférickou vadou. Přirozeně, že paralelní svazek paprsků, dopadající na kulové zrcadlo, vykazuje taktéž sférickou aberaci. Pozměníme-li tvar plochy zrcadla z kulové na parabolickou, odstraníme tím sférickou vadu pro ohnisko zrcadla.

Parabolická zrcadla jsou hojně používána v konstrukci světlo-
metů. Též zrcadla v hvězdářských zrcadlových dalekohledech jsou parabolisována, t. j. dává se jim forma paraboloidu, ač zde, na rozdíl od zrcadel světlo-
metových, je difference mezi formou zrcadla kulového a parabolického pouze ve zlomcích milimetru. Je to ovšem způsobeno tím, že v dalekohledech se používá menších průměrů

zrcadel při značně větších ohniskových vzdálenostech. Podobné změny ploch kulových i v plochy docela nepravidelného profilu jsou běžné u čočkových objektivů velkých hvězdářských dalekohledů. Tam se docílí jemného vykorigování objektivů opravným leštěním, prováděným zkusmo na různých místech jedné plochy objektivu. Dosáhneme takovými »lokálními retušemi« nekulové »sférické plochy«. I jednoduché čočky, opatřené asférickými plochami, mohou dáti obraz prostý sférické vady. Ovšem takové čočky jsou vždy velmi drahé a není doposud vyřešena otázka jejich levné seriové výroby.

Vadu sférickou můžeme si objasnit blíže tímto způsobem: rozdělíme vstupní plochu celé čočky od osy soustředěnými kružnicemi na řadu mezikruží. Má-li čočka sférickou aberaci, bude každé mezikruží neboli zona tvořiti obraz předmětu v jiném bodě na ose a zachytíme-li takový obraz na určitou rovinu, obdržíme z jednoho mezikruží bodový obraz, z ostatních mezikruží přicházející paprsky vytvoří okolo tohoto bodu soustředěné kroužky, jež způsobí celkově potom neostrý obraz.

Pro snadnější přehled znázorňujeme obyčejně sférickou vadu křivkami. Obr. 60. je příkladem takového diagramu.



Obr. 60. Znázornění sférické aberace.

Zvolili jsme si za základní bod O místo, kde tvoří obraz na ose paprsky paraxiální (tedy blízko ose), jejichž vlnová délka odpovídá na př. Fraunhoferově čáře D (žlutá barva). Na svislou souřadnici nanášíme výšky dopadu paprsků na čočku, t. j. vzdále-

nost jejich místa dopadu na čočku od středu čočky. Vodorovně nanášíme pak rozdíly ve vzdálenosti mezi průsečíkem paprsků, přicházejících z určité zony čočky a základním bodem O . Na obr. 60. je ukázka křivek sférické vady pro dvoučočkový slepený achromat. Vidíme, že u tohoto objektivu paprsky blízké zóně h_2 nevykazují žádnou sférickou vadu a že největší sférickou vadu mají paprsky, jež dopadly na čočku ve vzdálenosti h_1 od osy. Máme tedy hned přehled sférické aberace dané čočky. Křivka (1) patří celá paprskům žlutým (Fraunhoferova čára D). Křivka (2) platí pro paprsky jiné barvy, v našem případě odpovídá vlnové délce Fraunhoferovy čáry F a křivka (3) odpovídá na př. červené čáře C . Vidíme, že objektiv, jehož křivky jsou na obr. 60., vykazuje též jistou vadu barevnou (křivky pro jednotlivé barvy nesplývají) jak pro paprsky osově, tak i pro paprsky odpovídající různým zónám. Taková soustava křivek sférické aberace pro různé barvy dává tedy i částečný přehled o barevné vadě.

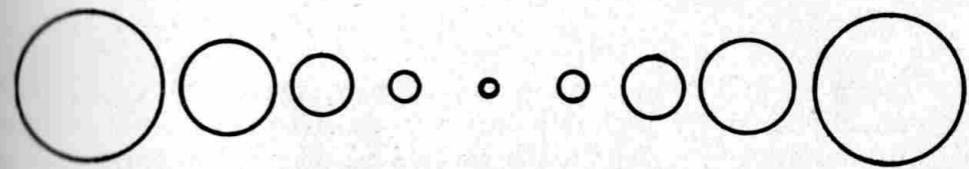
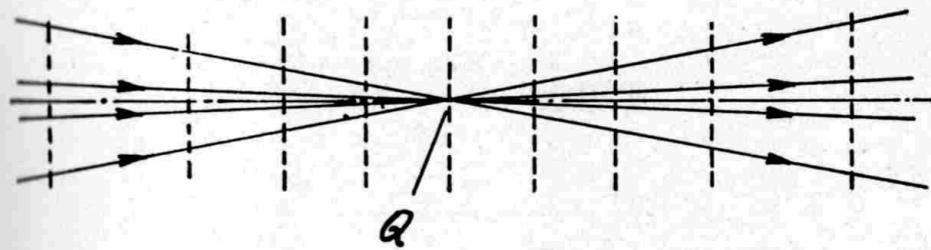


Obr. 61. Koma.

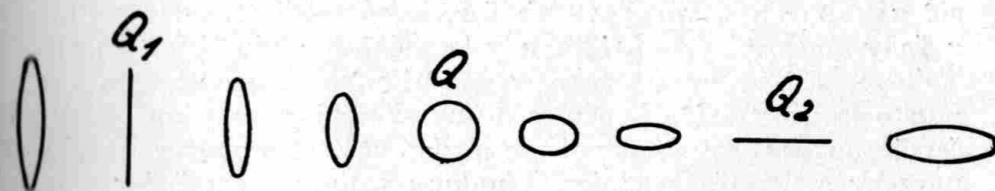
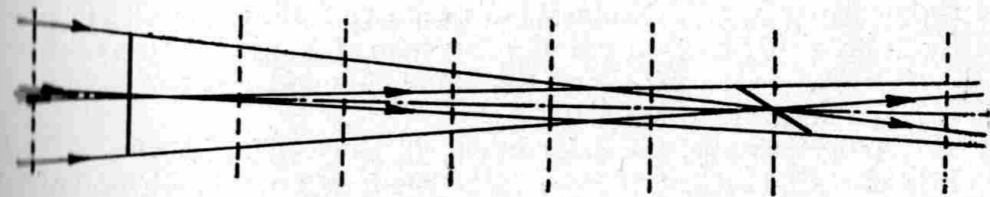
Vada asymetrická neboli koma. Je to vada, spočívající v tom, že místo bodového obrazu vytvoří se vadný zjev, podobný vyobrazení 61b. Při pozorování obrazu na ose čočky jsme zjistili, že paprsky světelné, jež prošly čočkou v různých vzdálenostech od osy, se srážejí v různých bodech na ose čočky. V rovině, ve které pozorujeme obraz, se nám jeví tento neostřím a místo bodového obrazu kreslí každá zóna malý kroužek. To byla sférická aberace. Obrazy bodů, položené mimo osu čočky, vykazují mimo této vady ještě další vlastnost. Neostrost obrazu není již, jako u vady sférické, stejnoměrně rozložena okolo místa správného obrazu, nýbrž asi tak, jak je to na obr. 61a. Jednotlivé kroužky, jež jsou vytvořeny na obraze následkem sférické vady čočky, nebudou již navzájem soustředné. Výstředné umístění kroužků způsobí pak nestejnou neostrost obrazu, již je charakterisována koma. Tato vada se nevyskytuje samozřejmě na ose čočky a je tím větší, čím je obraz vzdálenější od osy.

Astigmatismus. V ideálním případě, když paprsky tvoří obraz prostý všech vad, je možno jejich chod znázorniti, jak je tomu na obr. 62. V bodě Q by byl obraz nejostřejší a v některém jiném bodě by se místo ostrého obrazu vytvořil kroužek, jak je to znázorněno

řezy takového kuželu paprsků. Paprsky světelné velmi často netvoří takový ideální kužel, i když si odmyslíme výše popsané vady obrazu. Svazek paprsků probíhá asi tak, jak je to naznačeno na obr. 63., kde jsou zakresleny paprsky náležející dvěma vzájemně



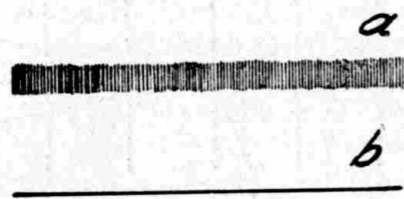
Obr. 62. Ideální svazek paprsků prostý astigmatismu.



Obr. 63. Astigmatický svazek paprsků.

kolmým rovinám. Svazek paprsků neúží se nikde na jeden bod, nýbrž paprsky vytvoří ve dvou místech dvě navzájem kolmé čárky Q_1 a Q_2 . Na tomtéž obraze jsou naznačeny řezy svazkem paprsků. Této vadě čoček se říká astigmatismus. Nevznikne tedy bodový obraz z bodového předmětu, nýbrž dva za sebou v různých

rovinách položené obrazy, v nichž místo bodu obdržíme čárku. Asi uprostřed mezi těmito »ohnisky« Q_1 a Q_2 je místo, označené Q_0 , kde průřez svazkem paprsků má kruhový tvar, je to tedy nejspíš měrnější řez takovým svazkem paprsků.



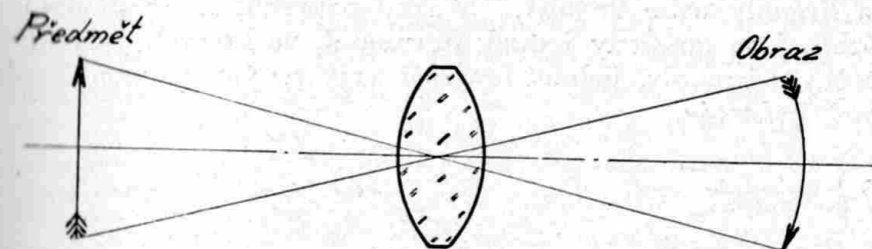
Obr. 64. Obrazy přímky, dané astigmatickými svazky paprsků.

Pozorujeme-li obraz vodorovné přímky, vytvořený v Q_1 , pak se nám objeví každý bod této přímky rozšířen v malou svislou čárku, neurčitě ohraničenou. Obraz celé přímky je potom rozšířen v neostrou čáru (obr. 64a). Pozorujeme-li však obraz v Q_2 , pak se nám ukáže ostrá přímka, poněvadž jednotlivé čárky, způsobené astigmatismem, se překládají přes sebe ve směru vyobrazené přímky (obr. 64b). Svislou přímku by nám taková čočka vyobrazila ostře v Q_1 , ale neostře v Q_2 . V bodě Q_0 je neostrá jak přímka vodorovná, tak přímka svislá.

Astigmatismus, tak jako koma, je tím větší, čím více se vzdaluje obraz od středu. Na ose čočky není, za normálních podmínek, obraz astigmatický. Vykazuje-li přes to i uprostřed astigmatismus, pak jsou čočky špatně vyrobené (špatně centrované) nebo je vadná montáž čoček. Dobrým zkušebním předmětem pro astigmatismus je síť z kolmých a vodorovných čar, nebo ještě lépe síť sestávající z řady soustředných kruhů a z paprsků vycházejících ze středu. Takovou síť vyobrazí čočka, vyznačující se astigmatismem tak, že buďto jsou ostré jen kružnice a paprskovité přímky uprostřed, při čemž paprsky jsou k okraji víc a více neostře, nebo vyobrazí ostře paprsky a neostře kružnice. Vhodnou volbou tvaru čoček a jejich sestavením lze astigmatismus z velké části vymýtit. Čočka, která nemá znatelného astigmatismu, jmenuje se *anastigmatická*.

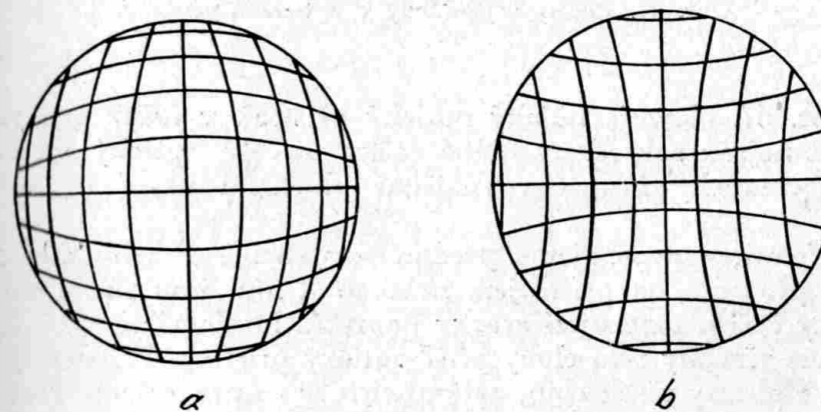
Zakřivení pole. Tato vada spočívá v tom, že obraz rovinného předmětu, daný čočkou, se nevytvoří zase v rovině, nýbrž na nějaké zakřivené, přibližně kulové ploše (obr. 65.). Když pak takový obraz chceme zachytit na rovnou desku, na matnici nebo na desku fotografickou, nebo když jej pozorujeme dalšími čočkami, nemůžeme jej zostrít celý. Obdržíme buďto střed ostrý a okraje neostře, nebo naopak, a posunutím zaostřovací roviny, na př. matnice, mů-

žeme zjistit i velikost zakřivení v daném zorném poli. Plocha, na které se kreslí ostře obraz, je buďto obrácena k čočce vrchlíkem nebo vyduťinou. Tuto vadu, podobně jako dříve zmíněné, odstraňujeme vhodným určením formy čoček, jejich vzdálenostmi a správným umístěním clonky mezi čočkami.



Obr. 65. Zakřivení pole.

Zkreslení (distorse). Zkreslení je znázorněno na obr. 66. Projevuje se deformováním obrazu a nejspíš je zjistíme pozorováním vhodných přímočarých předmětů (síť z kolmých a vodorovných čar, vysokých stožárů a pod.). Čtvercová síť bývá buďto zkreslena tak, jak to vidíme na obr. 66., a tomu říkáme zkreslení soudkovité

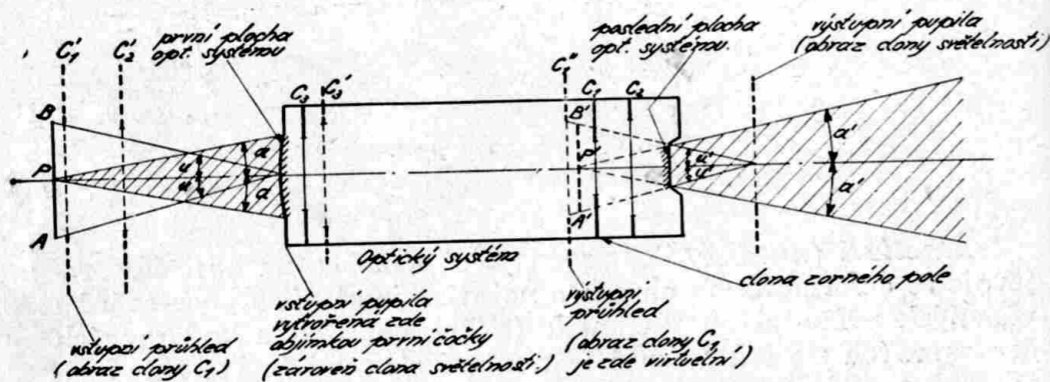


Obr. 66. Zkreslení obrazu.

nebo je to zkreslení čtverce ve smyslu opačném, čemuž říkáme zkreslení ve tvaru polštáře. Zkreslení je v podstatě způsobeno tím, že zvětšení, dané čočkou uprostřed obrazu, je větší nebo menší nežli zvětšení, které čočka dá na okraji zorného pole.

Clony, pupily a průhledy.

Optické přístroje sestávají obyčejně z vícero čoček, seřazených za sebou v určitých vzdálenostech a postavených tak, že středy všech čoček leží na ose přístroje. Osa přístroje může ovšem být lomena hranoly nebo zrcadly. Svazky paprsků, které přístrojem procházejí, jsou omezeny jednak obrubami, ve kterých jsou upevněny čočky a hranoly, jednak úmyslně vytvořenými clonami uvnitř nebo vně přístroje.



Obr. 67. Pupily a průhledy v optickém přístroji.

Obr. 67. Pupily a průhledy v optickém přístroji.

Obr. 67. ukazuje nějaký optický přístroj, v němž pro jednoduchost nejsou zakresleny žádné čočky a celý optický systém je jen schematicky naznačen vnějšími plochami první a poslední čočky.

Přístrojem pozorujeme předměty v rovině P (předmět AB). Uvnitř přístroje, za přístrojem nebo před ním jsou různé clony a objímky čoček, omezující svazky paprsků. Mysleme si nyní, že vyobrazíme všechny tyto clony před optický přístroj. To znamená, že najdeme obrazy všech clon, nalézajících se za přístrojem, skrze celý optický systém a u všech, které jsou uvnitř přístroje (clony C_1, C_2, C_3), vyhledáme obrazy dané čočkami, jež jsou před dotyčnou clonou. Dostaneme pak v prostoru, v němž se nalézá předmět, mimo clon, které jsou před přístrojem (na obr. 67. pouze obruba první čočky), řadu obrazů clon, umístěných uvnitř přístroje a za přístrojem. Obrazy některých z těchto clon jsou skutečné, reálné (clona C_2 — obraz C'_2), jiné clony dají obraz virtuální (clona C_3 — obraz C'_3).

Díváme-li se od bodu P na tyto clony a obrazy clon, vidíme je

pod různými úhly. Clona nebo obraz clony, který vidíme z bodu P (ze středu pozorovaného předmětu) pod nejmenším úhlem, je vstupní pupilou přístroje. Paprsky, které projdou vstupní pupilou, projdou bez překážky celým přístrojem. Vstupní pupila určuje množství světla, které jde do přístroje z pozorovaného předmětu. Čím je úhel 2α , pod kterým je viděti vstupní pupilu z předmětu, větší, tím více světla vniká do přístroje z pozorovaného předmětu, tím také je obraz předmětu jasnější. Vstupní pupila je buďto sama clonou, nebo je obrazem nějaké clony. Clona, která tvoří vstupní pupilu, se nazývá *clonou světelnosti* (aperturní clonou). (Na obr. 67. je to obruba první čočky.) Úhel 2α se nazývá *úhlem otevření* (nebo též aperturním úhlem) přístroje.

Podobně bychom mohli vyobraziti všechny clony za optický přístroj a zjišťovati, která clona se jeví z bodu P' (obraz bodu P), (na obr. 67. je P' virtuální) pod nejmenším úhlem. Obdrželi bychom pak *výstupní pupilu* přístroje. Výstupní pupila je u všech přístrojů obrazem vstupní pupily, vytvořeným přístrojem. Je zřejmé, že vstupní i výstupní pupilu tvoří tatáž clona. Pupilu tvoří u řady přístrojů (dalekohledy) obruba první čočky (objektivu).

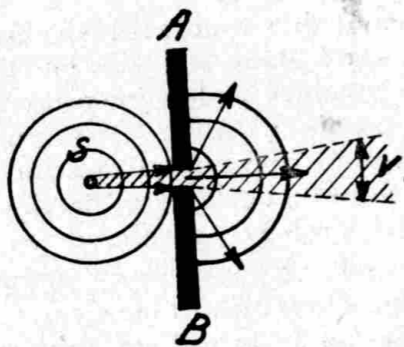
Pozorujeme ze středu vstupní pupily jiné clony a obrazy clon před přístrojem. Jedna clona nebo obraz clony se nám bude jevit pod nejmenším úhlem $2u$. Je to *vstupní průhled*. Jeho obrazem za přístrojem je zase *výstupní průhled*. Clona, která tvoří průhledy, se nazývá *clonou zorného pole*, protože průhledy omezují na předmětu část, již možno pozorovati přístrojem. Úhel $2u$ je úhlem zorného pole. Má-li být zorné pole ostře ohraničeno, musí být vstupní průhled položen tam, kde se nalézá pozorovaný předmět. Není-li tomu tak, pak je na okraji zorného pole prstencovitý pás, ze kterého již jen část paprsků vniká do vstupní pupily. K vnějšímu okraji prstence se množství paprsků, vstupujících ještě do pupily, postupně zmenšuje a obraz se stává méně a méně světlým, až mizí úplně. Hranice zorného pole není tedy určitá. Úhel $2u$ pak značí jen t. zv. *střední zorné pole*, ze kterého paprsky kryjí ještě střed vstupní pupily. Chceme-li však mít ostře ohraničené zorné pole, pak je nutné, aby clona zorného pole byla v přístroji umístěna tam, kde se tvoří skutečný obraz pozorovaného předmětu. Netvoří-li se v přístroji nikde reálný obraz, pak není možno správně umístiti clonu zorného pole a obraz je neostře ohraničen (holandský dalekohled).

Vedle clon světelnosti a clon zorného pole jsou v optických přístrojích jiné clony, které mají za úkol vyloučiti a zneškodniti rušivé světlo, vznikající na př. odrazem paprsků na tubusu přístroje, několikanásobnými nepravidelnými odrazy paprsků na plochách čoček a hranolů a pod. Aby se vyloučily reflexy, vznikající

na stěnách tubusu nebo na objímkách, je nutné, aby všechny tyto součástky přístroje měly uvnitř matný povrch.

Ohyb světla, rozlišovací schopnost.

Přirovnávali jsme v první kapitole šíření světla k vlnění na hladině vodní. Postavíme-li na vodní hladině prostupujícím vlnám do cesty překážku, v níž necháme otvor, bude se šířiti vlnění po hladině tak, jako by jeho střed byl přeložen do otvoru v překážce (obraz 68.).

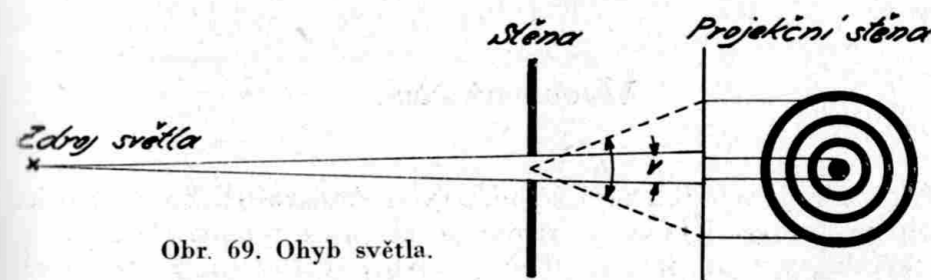


Obr. 68. Šíření vln na povrchu vody.

Vlnění se šíří tím, že každá částice vody, která by byla zasažena vlnami, se stává samostatnou šířitelkou vlnění na všechny strany. Pokud působí v souhlase s jinými částicemi, tvoří se jejich společným vlivem vlny, jež jsou kruhovitě seskupeny okolo původního středu S. Jakmile jsme postavili v cestu vlnám překážku AB, v níž je otvor, pak ta část vlny, která projde otvorem, působí za stěnou samotná a její vliv, jako zdroje dalšího vlnění, se stává tím viditelným. Kdyby se vlnění šířilo přímočaře, vznikaly by vlny za stěnou pouze v úhlu v , určeném otvorem. Vlnění se však šíří i mimo tento úhel; není jeho šíření tedy přímočaré. Provedeme-li podobný pokus se světelnými paprsky tak, že v bodě S umístíme světelný zdroj a v jisté vzdálenosti od něho postavíme stěnu s otvorem, objeví se nám, při dostatečně malém otvoru a dostatečně silném zdroji světla, na stěně za otvorem postavené, světlo i mimo prostor, kam může dojít paprsek přímočarým šířením.

Na stěně se objeví mimo plošku osvětlenou přímými paprsky systém slabých kroužků, jež vznikají právě ohybem světelných paprsků. Paprsky se tedy po průchodu malým otvorem nešíří již přímočaře. Vzniká *ohyb* neboli *diffrakce světla*. Ohyb světla se děje

vždy, když postavíme do cesty paprskům světelným nějakou překážku. Tento úkaz je u světla tak nepatrný, že ve většině případů jej nelze ani pozorovati. Jsou-li délky vln větší, na příklad v bezdrátové telegrafii (délka vln i několik km), překonává vlnění i takové překážky, jako vysoké hory a pod. Světlo ale, vzhledem k daleko menší délce svých vln, vykazuje celkem nepatrný ohyb a v běžném životě říkáme, že se šíří přímočaře.



Obr. 69. Ohyb světla.

Ohyb světla není ani v běžných optických přístrojích tak značný, aby vzbuzoval pozornost. Je nutno s ním však počítati, když zkoumáme *rozlišovací schopnost optických přístrojů*. Rozlišovací schopnost přístroje je vyjádřena nejmenší vzdáleností dvou bodů od sebe, při které tyto body se dají daným optickým přístrojem ještě rozpoznati jako samostatné body a nesplývají jeden s druhým. Tak na př. byla by rozlišovací schopnost nějakého mikroskopu $0,8 \mu$. To by znamenalo, že tímto mikroskopem rozeznáme ještě dva body, vzdálené od sebe $0,8 \mu$. U dalekohledů se často rozlišovací schopnost udává nejmenším úhlem, pod kterým ještě lze rozlišiti dva přístrojem pozorované body. Úhel se počítá od vstupní pupily. U všech přístrojů je rozlišovací schopnost tím větší, čím jsou světelné paprsky méně omezovány a čím více světelných paprsků z pozorovaného předmětu pojme vstupní pupila přístroje. Proto na př. u dalekohledů rozlišovací schopnost je tím větší, čím je větší průměr objektivu (t. j. vstupní pupily). Ohyb světelných paprsků způsobuje, že okolo obrazů bodů se tvoří ohybové kroužky a tak zavinuje jistou neostrost obrazu. Poněvadž ohyb světla je tím zřetelnější, čím je otvor, jímž světlo prochází, menší, je tím vysvětlitelna závislost rozlišovací schopnosti na průměru vstupní pupily.

Rozlišovací schopnost je tedy omezena ohybem světelných paprsků. Proto není možno u mikroskopů zvyšovati zvětšení nad jistou mez a proto se u dalekohledů hvězdářských směřuje k velkým průměrům objektivů. Aby se mohlo dosáhnouti meze rozlišovací schopnosti, dané diffrakcí, bylo by třeba neostrost způsobenou vadami obrazu do té míry odstraniti, aby byla menší nežli neostrost, způsobená ohybem světla.

FOTOGRAFICKÁ OPTIKA.

Všeobecná část.

Objektiv je nejdůležitější součástí fotografického přístroje. Principem fotografického přístroje je *temnice (camera obscura)*, t. j. skříňka, v jejíž přední stěně je otvor, ve kterém je umístěna spojná čočka. Tato čočka (objektiv) kreslí na zadní stěně skutečný obraz předmětů, nalézajících se před čočkou. Místo jednoduché čočky se používá vícečočkových objektivů, jejichž konstrukce je tím složitější, čím těžší podmínky jsou kladeny na ostrost a jasnost obrazu. Obraz velmi vzdálených předmětů se vytvoří v ohnisku objektivu; tam musí pak býti stěna, na které zachycujeme obraz, ať je to již fotografická deska, film nebo průsvitné matné sklo. U fotografických aparátů možno nastavit objektiv do různých vzdáleností od fotografické desky nebo od matnice. Všeobecně platí, že čím je fotografovaný předmět blíže, tím více musíme vzdáliti objektiv od desky. Chceme-li fotografovat velmi blízké předměty ve skutečné velikosti, je nutno dáti desku do dvojnásobné ohniskové vzdálenosti, počítáno od druhé hlavní roviny objektivu, a předmět do dvojnásobné vzdálenosti od první hlavní roviny. Aparát musí v tomto případě míti potřebný dvojitý výtah. Ještě většího výtahu potřebujeme, chceme-li míti obraz větší nežli předmět.

Filmové přístroje nemají matnice k zaostření obrazu. Zaostření na film se provádí nastavením objektivu podle stupnice vzdálenosti fotografovaných předmětů. Vzdálenosti předmětů se určují odhadem nebo malým dálkoměrem. Takové přístroje musí již z továrny vyjít seřízené tak, aby stupnice zaostření byla správná. Značka ∞ znamená, že přístroj je zaostřen na nekonečno, t. j. prakticky na vzdálené předměty. Citlivá vrstva filmu je pak přesně v ohnisku objektivu.

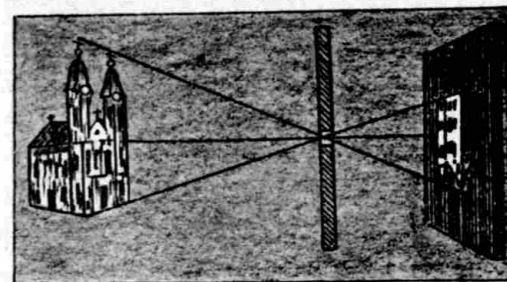
Podle stupnice vzdálenosti je možno zaostřovati i menší fotografické komory deskové. Uspoří se tím času. Některé fotografické přístroje mají dálkoměr spojený již se zaostřovacím posunem objektivu. Pozorujeme-li pak dálkoměrem fotografovaný předmět,

nastavíme posunováním měřícího mechanismu dálkoměru též objektiv fotoaparátu do potřebné vzdálenosti od citlivé vrstvy filmu nebo fotografické desky (viz kapitolu o dálkoměrech).

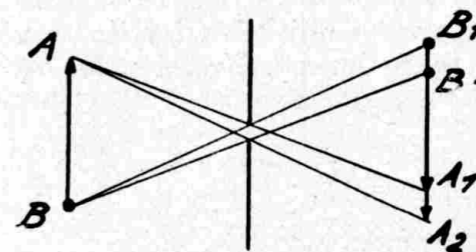
Doba osvětlení citlivé vrstvy se řídí *závěrem*, umístěným nejčastěji uvnitř objektivu, někdy též za objektivem, těsně před deskou (štěrbínové závěry) a velmi zřídka před objektivem (žaluziové závěry). Závěrem je možno dosáhnouti i méně než jen 1/1000 vteřiny trvajících *osvětlení (exposice)*. Obyčejně mají běžné momentní závěry nejkratší expozici okolo 1/250 nebo 1/100 vteřiny.

Dírková komora.

Nahradíme-li objektiv malým kruhovým otvorem, jehož průměr činí zlomek milimetru, vytvoříme tak nejjednodušší fotografický aparát, *dírkovou komoru* (obr. 70.). Obraz není sice nikdy



Obr. 70. Princip dírkové komory.



Obr. 71. Chod paprsků dírkovou komorou.

dokonale ostrý (obr. 71., bod *A* je vyobrazen ploškou $A_1 A_2$), ale někdy dostačuje. Ostrost závisí na velikosti otvoru a na vzdálenosti fotografické desky. Závislost tato má svůj původ v ohybových zjevech při průchodu světla dírkovým otvorem. Uvádíme tabulku nejvýhodnějších průměrů otvorů a vzdáleností desky.

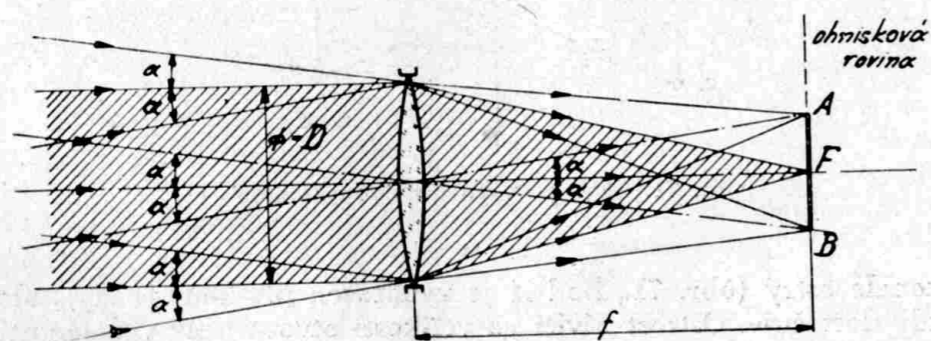
Průměr otvoru (mm)	Vzdálenost desky od otvoru (mm)
0,2	30
0,4	50
0,5	100
0,6	200
0,7	300
0,8	400

Světelnost obrazů daných dírkovou komorou je velmi malá. Exposice jsou značně delší než u komor s objektivem ($100\times$ a více). Zajímavých efektů je možno dosáhnouti použitím úzké, kolmo nebo vodorovně umístěné šterbiny, místo dírkového otvoru.

Světelnost, vstupní pupila, zorné pole.

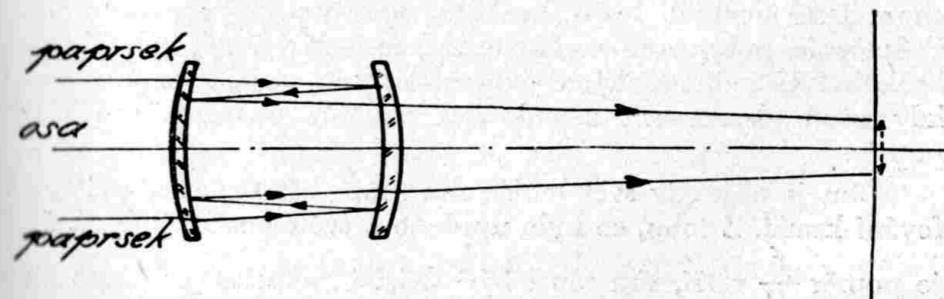
Fotografické objektivy mají jako systém čoček určitou ohniskovou vzdálenost, počítanou od příslušné hlavní roviny. Ohnisková vzdálenost je důležitou charakteristikou objektivu. Další charakteristikou je průměr jeho vstupní pupily. Čím je pupila menší, tím méně paprsků z fotografovaného předmětu prochází objektivem. Závisí proto světlost obrazu na vstupní ploše pupily, která je úměrná druhé mocnině průměru (plocha vstupní pupily $= \frac{\pi D^2}{4}$, kde π je rovno 3.14 .. a D je průměr pupily).

Máme-li dva objektivy, jejichž ohniskové vzdálenosti jsou stejné, ale z nichž první má pupilu dvakrát větší než druhý, pak je osvětlení obrazu u prvního objektivu čtyřikrát větší nežli u druhého. Je tedy světelnost úměrná čtverci průměru vstupní pupily.



Obr. 72. Schematické znázornění chodu paprsků u jednoduchého fotografického objektivu pro paprsky přicházející z nekonečna.

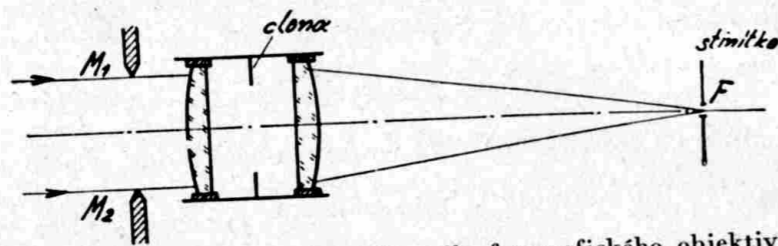
Představme si nyní, že fotografujeme velmi vzdálený předmět, jehož obraz se vytvoří v ohnisku objektivu (obr. 72.). Objektiv znázorníme jednoduchou tenkou spojkou a úlohu vstupní a zároveň výstupní pupily bude mítí obruba této čočky. Obraz vzdáleného předmětu, jenž se vytvoří v ohnisku F , bude tím světlejší, čím se v něm bude sbíhat větší, více otevřený kužel paprsků. Obraz nějakého plošného předmětu, viditelného ze vstupní pupily objektivu pod úhlem 2α , se vytvoří v ohniskové rovině a jeho velikost bude $2f \times \text{tg}\alpha$. Bude tedy obraz tím větší, čím bude ohnisková vzdálenost větší. Plošná rozloha obrazu bude úměrná čtverci ohniskové vzdálenosti. Na př. u objektivu, jehož ohnisková vzdálenost je 100 m/m, bude obraz téhož předmětu dvakrát tak veliký lineárně (výškově nebo na délku), než obraz daný objektivem o ohnisku 50 mm se stejnou vstupní pupilou. Plocha, na níž se rozprostírá obraz daný objektivem $f = 100$ m/m, bude ale $2 \times 2 = 4$ krát větší, nežli u objektivu $f = 50$ m/m. Světelné paprsky budou tedy rozděleny na plochu čtyřikrát větší a světelnost obrazu bude o to menší. Proto klesá světelnost obrazu se čtvercem ohniskové vzdálenosti. Čím větší je vstupní pupila a čím kratší je ohnisko, tím je obraz světlejší. Světelnost obrazu závisí tedy na poměru $\left(\frac{D}{f}\right)^2$. Poměr $\frac{D}{f}$ je úměrný světlosti objektivu a nazývá se často relativním (poměrným) otvorem objektivu. Často se používá převrácené hodnoty tohoto poměru $\frac{f}{D}$. Je to číslo, které udává, kolikrát je průměr vstupní pupily obsažen v ohniskové délce objektivu. Čím je $\frac{f}{D}$ větší, tím je objektiv méně světlý. Toto číslo se píše obvykle v poměru k ohniskové vzdálenosti objektivu. Na př. $f : 6,3$ udává relativní otvor objektivu, jehož ohnisková vzdálenost je 6,3krát větší, nežli průměr vstupní pupily.



Obr. 73. Vznik rušivého vnitřního reflexu ve dvoučočkovém fotografickém objektivu. Reflex vzniká tím, že malá část paprsků neprojde celým objektivem, odrazí se na předposlední vnitřní ploše, jde zpět, znovu se odrazí na jiné ploše a projde objektivem až na fotografickou desku.

Pro přesné určení světelnosti objektivu by bylo nutno určit, kolik světla pohltí sklo čoček a kolik se ztratí světla odrazy na plochách čoček. Čím je objektiv komplikovanější, tím jsou oba tyto vlivy znatelnější. Odrazy světla na čočkách způsobují vznik rušivých reflexů, jež zmenšují konstantnost obrazu, daného objektivem. Vznik takového rušivého reflexu, jenž se dostane až na fotografickou desku, ukazuje obr. 73.

Fotografické objektivy, skládající se z více čoček, mají obyčejně uvnitř mezi čočkami clonu, jejíž obraz směrem před objektivem je vstupní pupilou objektivu. Poloha clony je dána konstrukcí objektivu a není libovolná. V místě, kde je tato clona určující světelnost, je též teoreticky nejlepší poloha pro závěr objektivu. Obvyčejně bývá závěr alespoň velmi blízko clony. Nejčastěji užívané t. zv. *irisové clony* dají se nastavit na libovolný průměr v mezích svého maximálního otevření. Samotný průměr clony není ještě průměrem vstupní pupily. Vstupní pupila je obrazem (obyčejně zvětšeným a virtuálním) této clony. Velikost vstupní pupily zjistíme následovně (obr. 74.):



Obr. 74. Zjištění průměru vstupní pupily fotografického objektivu.

Do ohniska objektivu umístíme stínítka s malým otvorem na ose objektivu. Skrze tento otvor pozorujeme objektiv. Nejmenší vzdálenost, na kterou můžeme otevřít odpichovací kružítko, abychom ještě neviděli hroty kružítko, udává průměr vstupní pupily. Průměr je pak určen vzdáleností hrotů M_1 a M_2 odpichovacího kružítko. U jednoduchých jednočočkových objektivů je clona někdy před objektivem a pak její průměr udává přímo velikost pupily.

Čím je objektiv světelnější, tím může být expozice při fotografování kratší. Z toho, co bylo uvedeno o světelnosti, vyplývá, že čím je poměr $\frac{f}{D}$ větší, tím musí být delší i expozice a že tato stoupá se čtvercem $\left(\frac{f^2}{D^2}\right)$ zmíněného výrazu. Zvětšíme-li výraz $\frac{f}{D}$ $1,41\times$,

pak musíme expoziční dobu voliti *dvakrát* tak velkou. Mají-li se k sobě výrazy $\frac{f}{D}$ pro různé clony, jako $1 : 1,41 : 2 : 2,8 : 4$ atd., pak jim odpovídají expoziční doby $1 : 2 : 4 : 8 : 16$ (čili $1^2 : 1,41^2 : 2^2 : 2,8^2 : 4^2$). Normální číslování na irisových clonách je: $f : 4,5$; $f : 6,3$; $f : 9$; $f : 12,5$; $f : 18$; $f : 25$ — —, čemuž odpovídají tyto poměry délek expozice:

$$1\times \text{ --- } 2\times \text{ --- } 4\times \text{ --- } 8\times \text{ --- } 16\times \text{ --- } 32\times.$$

U libovolných dvou clon zjistíme poměr expozice, když vypočítáme poměr výrazů $\frac{f}{D}$, či prostě poměr průměrů pupil D . Dvojmooc tohoto poměru nám udá, oč je nutno expozici zvětšiti.

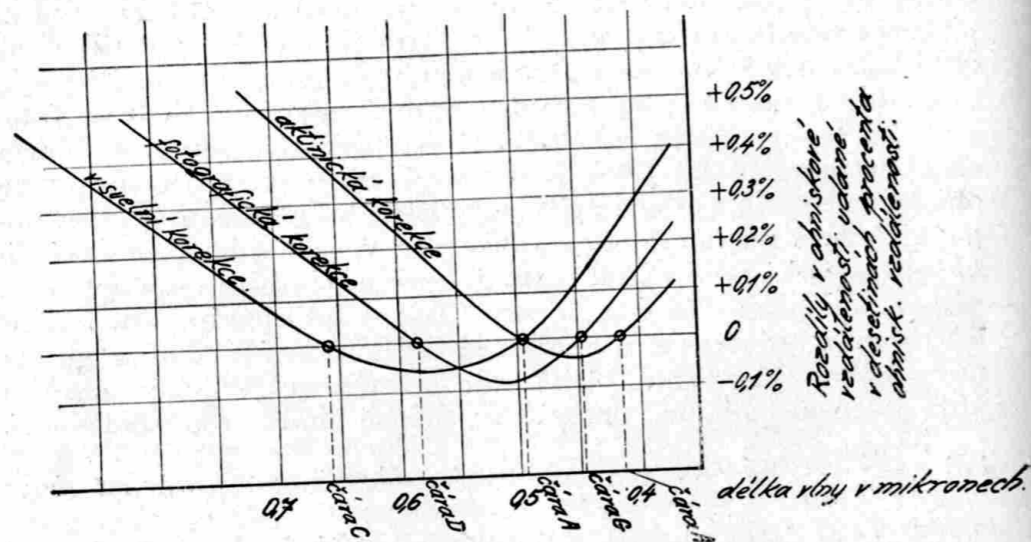
Na obr. 72. je naznačeno, jak se tvoří u jednoduchého objektivu obraz vzdáleného předmětu. Vyvodili jsme již velikost, v jaké se obraz vykreslí na fotografické desce a závislost její na úhlu, pod kterým je viděti pozorovaný předmět ze vstupní pupily objektivu. Okraj desky zde má vlastně úlohu výstupního průhledu. Není-li předmět velmi vzdálený, vytvoří se obraz jinde nežli v ohnisku (za ohniskem) a zvětšení mezi předmětem a obrazem se vypočítá podle normálních vzorců, platných pro optické systémy. Velikost fotografické desky určuje, jak velkou část předmětu můžeme daným objektivem zachytiti. Úhel, který mezi sebou tvoří při vstupu do objektivu paprsky přicházející ze vzdáleného předmětu a které dopadají právě na okraj fotografické desky nebo filmu, je nazýván *úhlem zorného pole*. Úhel tento je určen ohniskem objektivu a délkou uhlopříčny formátu desky. Tak u fotoaparátu pro formát 6×9 cm s objektivem o ohniskové vzdálenosti $f = 100$ mm, má pak deska uhlopříčnu 10,817 cm a tangens poloviny zorného úhlu je rovna polovině uhlopříčky, dělené ohniskovou vzdáleností, čili $\frac{54,08}{100} = 0,5408$, což odpovídá polovičnímu zornému úhlu $28^{\circ}24' = \alpha$. Zorný úhel $2\alpha = 56^{\circ}48'$. Zorný úhel takto určený nemá býti větší nežli zorný úhel, ve kterém daný objektiv může zřetelně vykresliti obraz bez rušivých vad a neostrosti. Jinak by okraje fotografického obrazu nebyly ostré.

Korekce fotografických objektivů.

Jak bylo řečeno již ve stati o ohybu světla, nemůže žádný objektiv nebo jiný optický přístroj dáti obrazy naprosto bezvadné.

I u objektivu zbaveného vad obrazu (chromatické, sférické a pod.) by se ukázalo, že obrazy nejsou absolutně ostré. Takovou neostrost však nepozorujeme, poněvadž se zde jedná o nepatrné zlomky milimetru. Bodové předměty jsou vyobrazeny jako malé, více méně kruhové plošky o průměru třeba jen několika tisícín m/m. Ostatně nemá ani významu, aby ostrost obrazu byla větší, nežli je zrno fotografické desky. Zrnitá struktura obyčejných fotodesek je okolo 20 mikronů. Čím je deska nebo film citlivější, tím je zrnění hrubší. Není-li snímek určen ke zvětšení, stačí, není-li neostrost viditelná pouhým okem. Pak stačí úplně ostrost na $1/10$ m/m, případně i na $2/10$ m/m. Pro zvětšování je zapotřebí větší ostrosti.

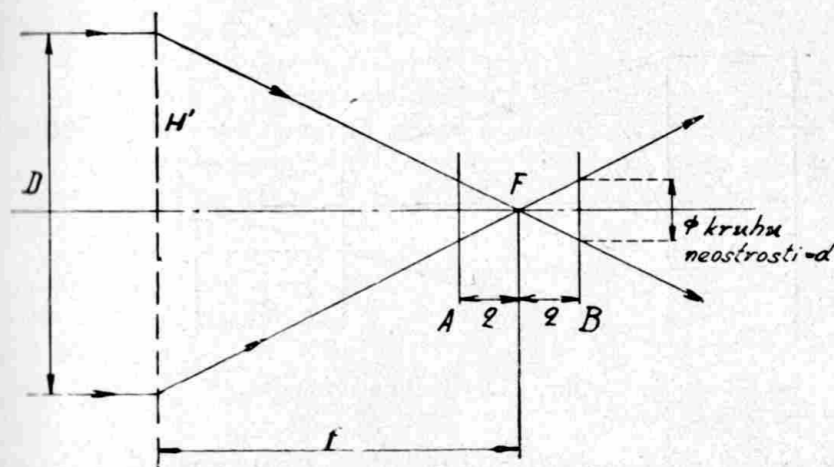
Vady obrazu mají zůstat vždy pod hranicí požadované ostrosti. U různých druhů objektivů je dosaženo více nebo méně dokonale této podmínky. Některé objektivy dávají obraz ostrý uprostřed a mají zřetelné vady na okraji pole, jiné jsou vykorigovány pro celé potřebné zorné pole; podrobněji o tom bude zmínka u různých typů objektivů.



Obr. 75. Křivky korekcí chromatické vady.

Dříve se vyráběly jenom fotografické desky, jejichž citlivost byla značná ve fialové a v modré části spektra. Pro ostatní paprsky byly takové desky velmi málo citlivé. Nyní jsou vyráběny mimo tyto obyčejné desky též desky *ortochromatické*, citlivé pro žlutou barvu, a desky *panchromatické*, citlivé až pro červenou barvu. Pro obyčejné desky jsou někdy objektivy korigovány barevně, hlavně s ohledem na fialové paprsky. Přístroje opatřené takovými objek-

tivy není možno zaostřit podle obrazu na matnici. Ohnisko pro viditelné paprsky působící na lidské oko, v nichž převládá žlutá barva, je jinde než ohnisko pro fialové (a ultrafialové) paprsky, jež působí na desku. Takové objektivy s korekcí »aktinickou« jsou dnes daleko méně užívány než objektivy s »korekcí fotografickou«, t. j. takové, u kterých je proveden achromatismus mezi žlutou a fialovou barvou (čáry *D* a *G'*). Ohniska pro fialovou a žlutou barvu tedy splývají a je možno zaostřovati snímek na matnici. Pro ortochromatické desky stačí fotografická korekce. Pro panchromatické desky a pro barevnou fotografii bylo by výhodnější používat objektivů korigovaných barevně tak, jako se koriguje optika pozorovacích přístrojů, tedy ohniska pro čáry *C* a *F* (červenou a modrou) splývají. Je to »korekce vizuální«, odpovídající barevné citlivosti oka. Obr. 75. znázorňuje graficky vyjmenované druhy korekcí.



Obr. 76. Hloubka ohniska.

Hloubka ohniska a hloubka obrazová.

Není-li deska přesně v ohnisku objektivu při fotografování vzdálených předmětů, bude obraz neostří. Neostrost obrazu může však býti tak malá, že nepřesahuje mez pozorovatelné neostrosti (na př. 0,1 m/m). Na obr. 76. je schema chodu krajních paprsků, šířících se v ohnisku *F*. *H'* je druhá hlavní rovina objektivu. *A* a *B* jsou dvě extrémní polohy fotodesky.

Nejostřejší obraz by byl v ohnisku *F*. Dáme-li desku mimo ohnisko, bude neostrost tím větší, čím bude deska dále od ohniska a čím je kužel paprsků otevřenější, t. j. čím je větší světelnost objektivu. Je-li *d* maximální možná neostrost obrazu (čili průměr

kroužku neostrosti, vytvořeného kuželem paprsků) a je-li objektiv otevřen na $f : n$, pak je největší možná odchylka q od ohniska dána vzorcem

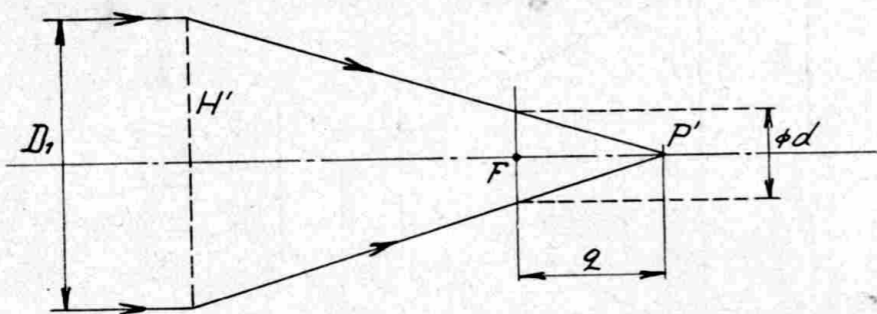
$$q = n d \quad (32).$$

Na př. pro objektiv $f : 6,3$ ($n = 6,3$) a pro neostrost $0,1$ m/m by bylo:

$$q = 6,3 \times 0,1 = 0,63 \text{ m/m}.$$

Vidíme nyní, že čím je objektiv světelnější, tím je zapotřebí přesnějšího zaostření. $2q$ je hloubka ohniska daného objektivu. Pro předměty, nalézající se ve vzdálenosti p od první hlavní roviny objektivu a vyobrazené podle známé rovnice, ve vzdálenosti p' od druhé hlavní roviny platí

$$q = n d \frac{p'}{f} \quad (33).$$



Obr. 77. Hloubka obrazová.

Podobně můžeme předpokládati, že fotografická deska je sice v ohnisku objektivu, ale že fotografované předměty nejsou nekonečně daleko. Na základě dovolené neostrosti můžeme vypočítati, kdy ještě bude předmět vyobrazen s danou ostroší. Obdržíme tak obrazovou hloubku (hloubku v zorném poli) daného objektivu (obr. 77.). D_1 je zde jen přibližně rovno průměru vstupní pupily. Pak platí podle rovnice (22)

$$\frac{1}{f+q} - \frac{1}{p} = \frac{1}{f},$$

kde místo q můžeme dosaditi přibližný výraz $n d$. Z toho obdržíme pro p dostatečně přesnou hodnotu

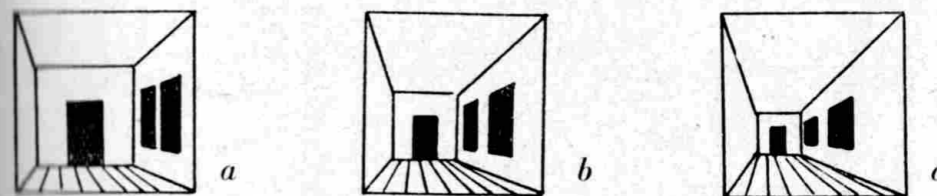
$$-p = \frac{f(f + n d)}{n d} \quad (34).$$

Veličina p je negativní, poněvadž předmět je před objektivem. Podle tohoto vzorce je možno snadno odvoditi vzorec i pro hloubku

zorného pole při fotografování blízkých předmětů. Všeobecně platí, že čím je objektiv světelnější, tím je hloubka obrazu menší.

Vliv ohniskové vzdálenosti objektivu na perspektivu.

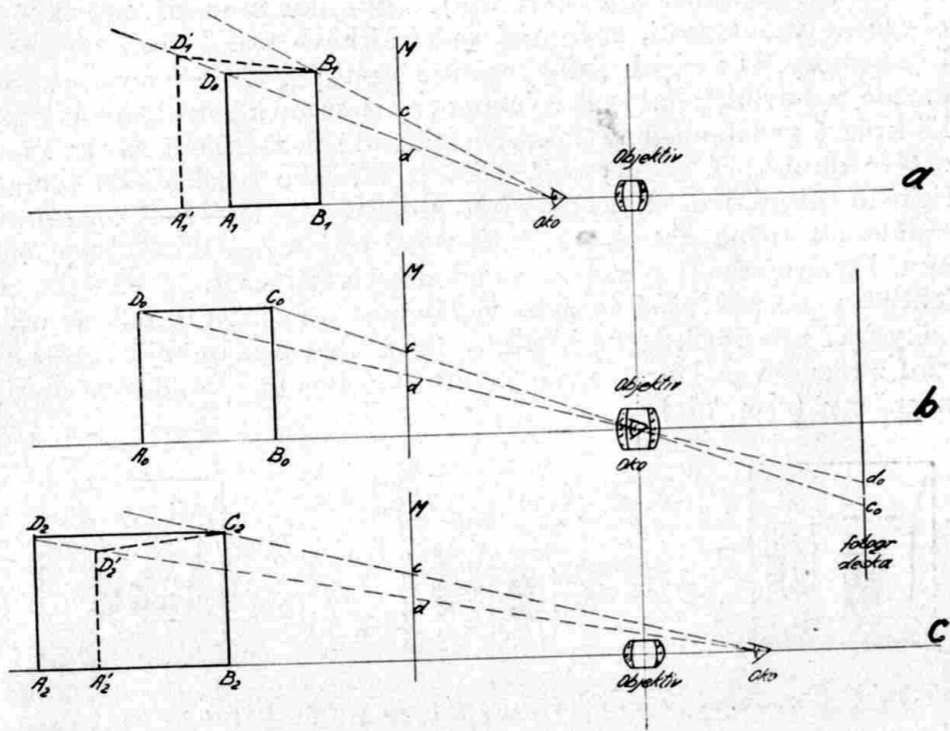
Pozorujeme-li fotografii nějakého předmětu, je třeba postavit oko do takové vzdálenosti od fotografie, aby správná perspektiva obrazu nebyla porušena (obr. 78b). Toho docílíme, díváme-li se na obraz ze vzdálenosti, rovnající se ohniskové vzdálenosti objektivu fotokomory. U malých fotoaparátů s krátkým ohniskem tomu není možno vyhověti, poněvadž bychom se na snímek musili dívat z příliš krátké vzdálenosti. V takovém případě pozorujeme obraz lupou o téže ohniskové vzdálenosti, jako je ohnisko příslušného fotografického objektivu. U zvětšených snímků je správná pozorovací vzdálenost rovna ohniskové vzdálenosti objektivu, násobené zvětšením. Pozorujeme-li obraz ze vzdálenosti větší nežli je ohnisko objektivu nebo příslušná správná vzdálenost u zvětšenin, pak se předměty jeví prodloužené do hloubky (obr. 78c) a naopak, při pozorování z menší vzdálenosti nežli je ohnisko, jeví se hloubky na obraze zmenšeny (obr. 78a).



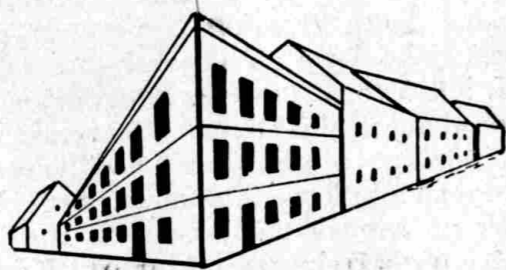
Obr. 78. Vliv ohniska objektivu na perspektivu obrazu.

Schematicky je tento úkaz znázorněn na obr. 79. Středem perspektivy fotografie je střed výstupní pupily objektivu. Na schématu jsou pro přehlednost paprsky vedeny zhruba středem objektivu. Fotografickou desku si můžeme převést před objektiv do stejné vzdálenosti, jako byla za objektivem. Obdržíme tak projekční rovinu M . Když se díváme na fotografii ze vzdálenosti, rovnající se vzdálenosti mezi objektivem a fotografickou deskou (tedy pro vzdálené předměty z ohniskové vzdálenosti f) (obr. 79b), vznikne v oku dojem obrazové hloubky, odpovídající skutečnosti. Díváme-li se však na snímek ze vzdálenosti menší (a) nebo větší (c), pak nastává zmíněné zkreslení hloubek. Když si však vlivem zkušenosti nebo jinak uvědomuje oko správnou hloubku, pak na-

stane zdánlivá deformace předmětu. V případě (a) se zdá, jako by zadní strana čtverce byla vyšší nežli přední a v případě (c) se vzdálenější strana zdá menší. Takové zkreslení je zvláště znatelné na snímcích širokoúhlými objektivy (obr. 80.), jejichž zorný úhel je značně větší než u lidského oka a proto, abychom celý takový snímek obsáhli, díváme se na něj z větší vzdálenosti.



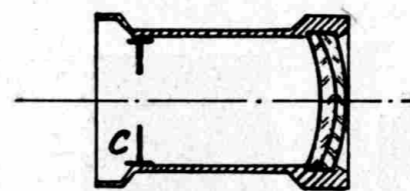
Obr. 79.



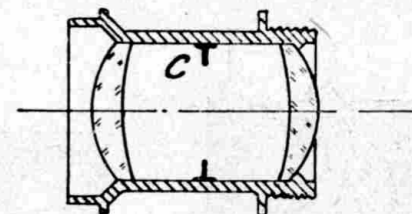
Obr. 80.

Druhy fotoobjektivů.

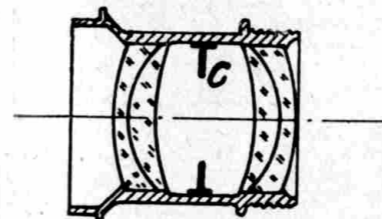
Nejjednodušším objektivem je *krajinářská čočka* (obr. 81.). Je složena ze dvou lepených čoček (z korunového skla a z flintového skla). Clona je před objektivem. Světelnost těchto objektivů je velmi malá (1:25). Zkreslení obrazu je ve formě soudku a je dosti znatelné. Obraz je upotřebitelný v rozsahu asi 40°.



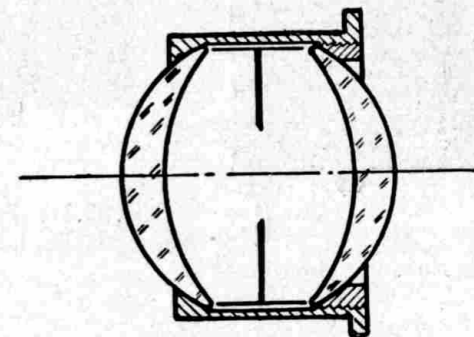
Obr. 81. Krajinářská čočka.



Obr. 82. Periskopický objektiv.



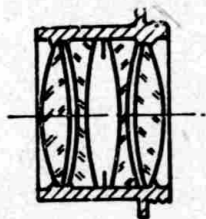
Obr. 83. Aplanat.



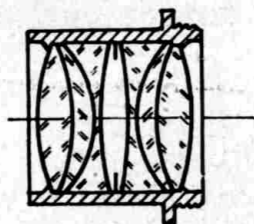
Obr. 84. Hypergon.

Velmi jednoduchou formu má *periskopický objektiv* (obr. 82.). Sestává ze dvou symetrických čoček, obrácených k sobě vydatými plochami. Obě vnější plochy tvoří jednu společnou kulovou plochu. Clona je uprostřed. Je to objektiv, jehož zkreslení by bylo pro fotografování předmětů ve skutečné velikosti úplně odstraněno. Tuto vlastnost mají všechny *symetricky ke cloně stavěné objektivy*. Zkreslení u symetrických objektivů je malé i pro vzdálené předměty. Světelnost je malá. Objektiv má značnou barevnou vadu. Zorný úhel je poměrně veliký (přes 50°).

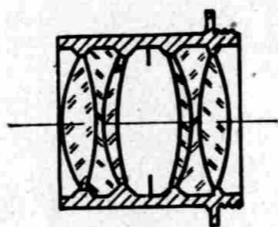
Jsou-li obě čočky periskopu složeny slepením korunového a flintového menisku, obdržíme typ objektivu, nazývaný *aplanat* (obr. 83.). Obě poloviny objektivu jsou dosti vzdáleny, aby se snížila vada sférická a zakřivení pole. Takové objektivy mají již světelnost $i f : 7$ a zorný úhel okolo 45°.



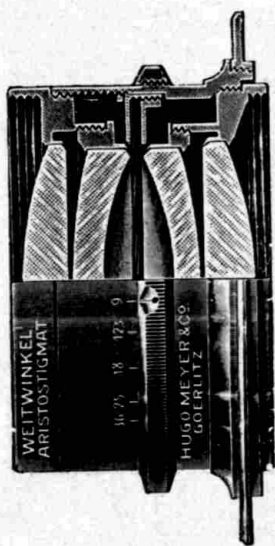
Obr. 85. Celor.



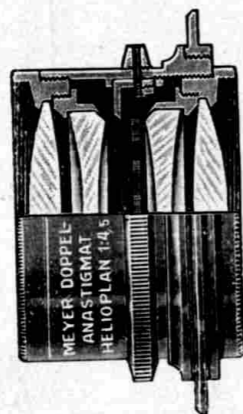
Obr. 86. Kollinear.



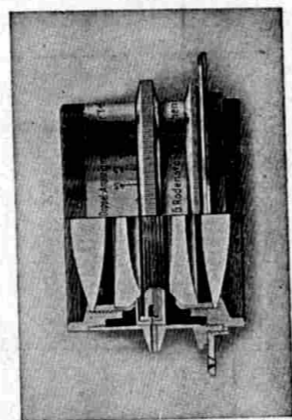
Obr. 87. Dagor.



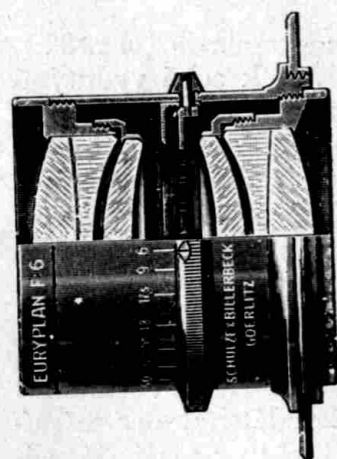
Obr. 88. Aristostigmat
f : 9 širokouhly,
fy Meyer, Görlitz.



Obr. 89. Dvojité anastigmat
Helioplan f : 4,5.



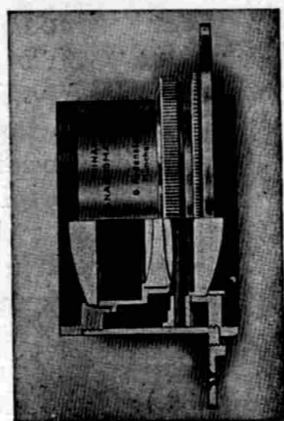
Obr. 90. Eurynar. Dvo-
jité anastigmat firmy
Rodenstock, Mnichov. Je
možno použití pouze jed-
né poloviny objektivu
(sádkový objektiv). Svět-
elnost až 1 : 3,5.



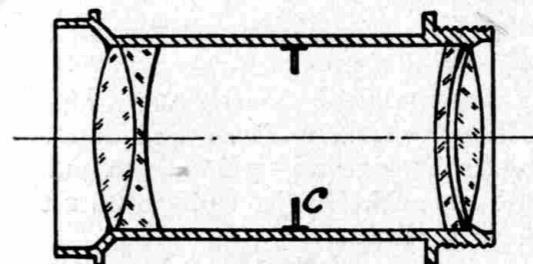
Obr. 91.

Obr. 91. Eurypian f : 6 fy Meyer, Görlitz, jehož přední a zadní polovina jsou samostatně korigovány pro světelnost f : 11. Kombinací dvou poloobjektivů různých ohnisek lze dosáhnouti tří různých ohniskových vzdáleností (použitím každého poloobjektivu samostatně a jejich spojením).

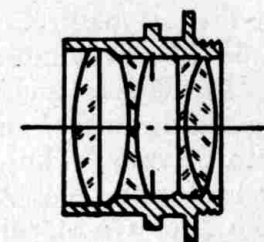
Obr. 92. Trinar 1 : 4,5
fy Rodenstock, Mnichov.



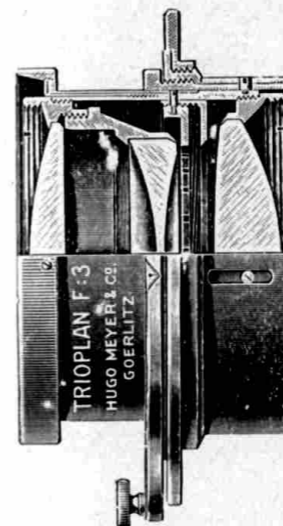
Obr. 92.



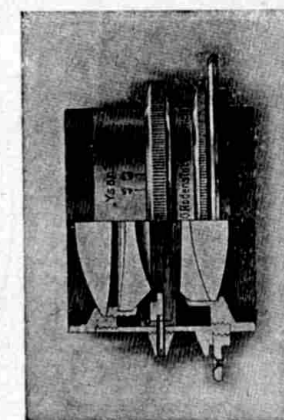
Obr. 94. Petzvalův objektiv.



Obr. 95. Tessar.



Obr. 93. Trioplan f : 3
portrétní (firma Meyer,
Görlitz).



Obr. 96. Ysar 1 : 4,5,
Rodenstock, Mnichov.

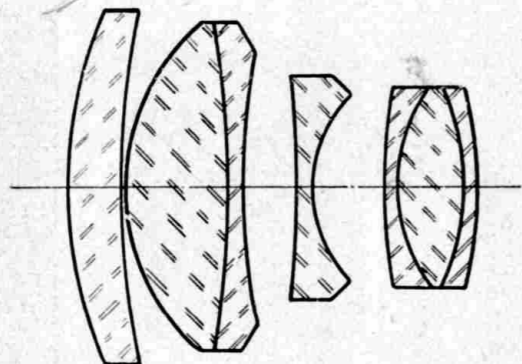
Přiblížením čoček periskopu a zvětšením zakřivení jeho ploch obdržíme širokouhly objektiv *Hypergon* (obr. 84.), vyráběný původně firmou Goerz, Berlín. Zorný úhel je přes 130° , ale světelnost je vzhledem ke značné sférické aberaci malá (f:22). Tento objektiv se hodí pro fotografie velkých objektů zblízka a pro panoramatické snímky.

Anastigmaty jsou objektivy korigované pro vadu sférickou, chromatickou a pro vady v zorném poli (astigmatismus, zkřivení pole a zkreslení). Dociluje se toho často použitím speciálních druhů skel. Anastigmaty jsou buďto symetrické, zvláště starší typy, nebo nesymetrické. U symetrických anastigmatů je každá polovina složena ze tří nebo čtyř čoček. Každá polovina objektivu je zvláště korigována. Uvádíme na příklad několik takových objektivů (obr. 85. až 91.). Obvykle se dá použití též jen poloviny objektivu s clonou vpředu. Pak je ohnisková vzdálenost dvojnásobná. Kombinací několika poloobjektivů různých ohniskových vzdáleností lze docílit na př. 6 různých ohniskových vzdáleností (sádkové objektivy).

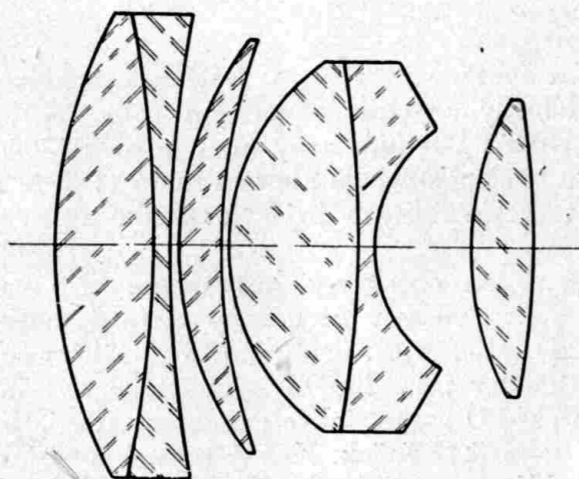
Úhel dosti ostře kresleného pole u symetrických anastigmatů je okolo 70° . Světelnost se pohybuje okolo $f : 6$.

Později se značně vyvinuly nesymetrické anastigmaty, jejichž předchůdcem byl jednak *tříčočkový objektiv Taylorův*, doposud často užívaný, velmi světelný a dobře korigovaný při celkem jednoduché formě (obr. 92. a 93.). Obě krajní čočky jsou obyčejně z těžkého křemíku a střední rozptylka je z flintu.

Druhým objektivem nesymetrickým, z něhož se odvozují moderní anastigmaty, je *Petzvalův portrétní objektiv* (obr. 94.) velmi světelný ($f : 3$). Jeho zorné pole je poměrně malé, asi 20° .



Obr. 97. Objektiv fy Taylor-Hobson. (Světelnost $f : 1,3$.)



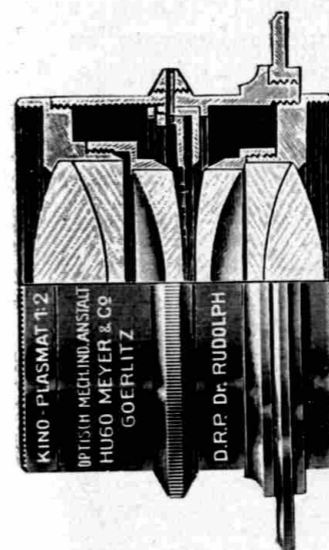
Obr. 98. Objektiv fy Taylor-Hobson. (Světelnost $f : 1$.)

Petzvalův objektiv má vpředu achromatickou lepenou čočku a zadní jeho část je složena z rozptylného flintového menisku a

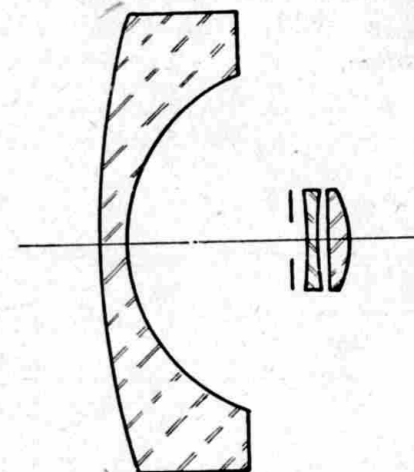
z koronové spojky. Korekce tohoto objektivu je výborná blízko osy. Petzvalova objektivu se často používá pro projekci.

Z anglického Taylorova tripletu dá se odvoditi známý Zeissův objektiv Tessar $f : 4,5$ (obr. 95.) a v principu sem patří i objektiv na obr. 96.

Uvádíme schemata některých význačných moderních objektivů o vysoké světelnosti (obr. 97. až 99.). Takových objektivů se používá u kvalitních filmových komor.



Obr. 99. Kinoplasmat $f : 2$. (Meyer, Görlitz.)



Obr. 100. Objektiv fy R. a J. Beck. (Zorné pole 180°)

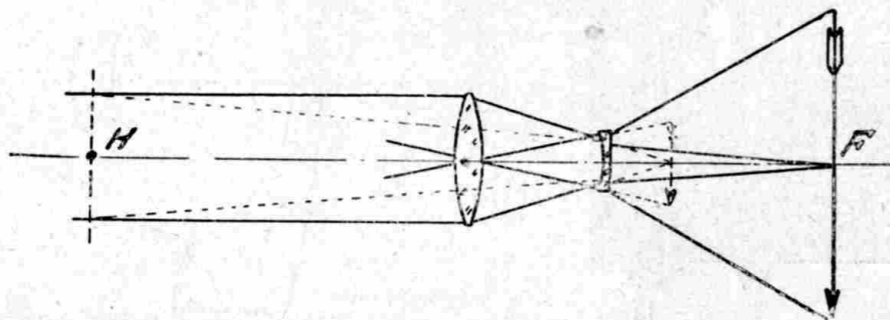
Obr. 100. ukazuje zvláštní typ objektivu, který má zorné pole 180° , ovšem při velmi malé světelnosti. Byl vyroben pro fotografování oblohy k účelům meteorologickým. Na jediný snímek lze pak zachytiti celou oblohu.

Teleobjektivy.

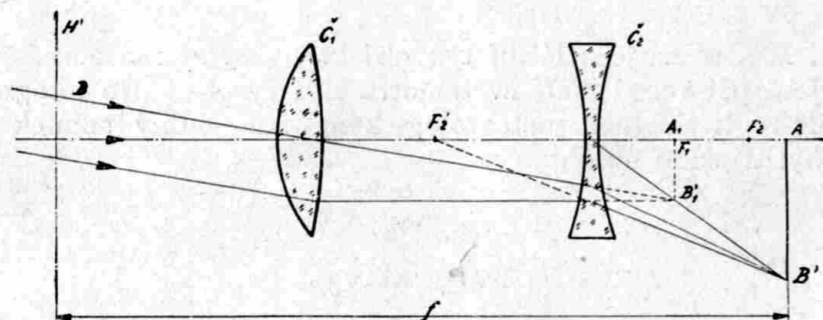
Zvláštní třídu mezi fotografickými objektivy tvoří *teleobjektivy*. Jejich hlavní předností je, že při poměrně veliké ohniskové vzdálenosti vyžadují krátkou vzdálenost mezi první čočkou objektivu a fotografickou deskou. Je tedy tím umožněno použití teleobjektivů o dlouhém ohnisku i na fotografických komorách se značně kratším výtahem. Teleobjektiv umožňuje úsporu místa a snadnější konstrukci fotoaparátu; při tom dává vzhledem ke své

velké ohniskové vzdálenosti větší obrazy fotografovaných předmětů. Velké ohniskové vzdálenosti objektivů mají výhodu zvláště tam, kde chceme zachytiti dostatečně přesné a zřetelné detaily. Volíme-li krátké ohnisko objektivu, můžeme sice obrázek dodatečně zvětšiti, ale zde můžeme jíti jen tak daleko, pokud se neobjeví vliv zrna fotografické desky. Detaily, jejichž struktura se na desce svými rozměry blíží samotné struktuře citlivé vrstvy, nebudou již dostatečně ostré. Proto je mnohdy třeba použití objektivu o dlouhém ohnisku, aby žádaná detailní struktura zůstala svojí velikostí ještě dostatečně nad mezí, určenou zrnem fotodesky. Teleobjektiv je v principu složen z přední spojné čočky a ze zadní rozptylky (obr. 101. a 102.). Ohnisková vzdálenost takového systému je dána vzorcem

$$f = \frac{f_1 f_2}{f_1 + f_2 - a} \quad (35)$$



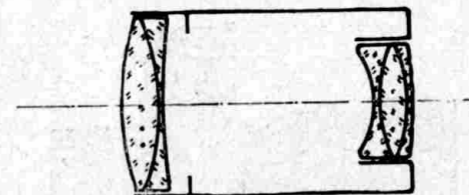
Obr. 101. Schema celkového chodu paprsků, tvořících obraz na ose a dvou paprsků okrajových (procházejících středem první čočky).



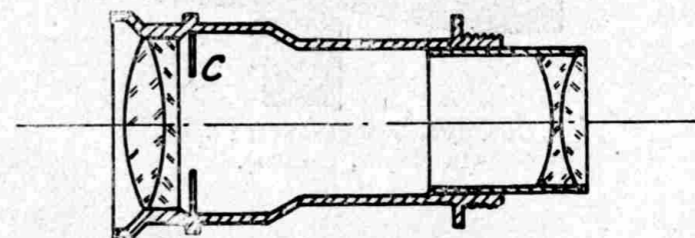
Obr. 102. Schematický chod paprsků v teleobjektivu.

kde f je ohnisko teleobjektivu, f_1 je ohnisko spojky, f_2 je ohnisko rozptylky a a je vzdálenost mezi druhou hlavní rovinou spojky a první hlavní rovinou rozptylky. Hodnoty f_1 a f_2 jsou voleny tak,

aby ohnisko teleobjektivu bylo při tom reálné, t. j. aby bylo za rozptylkou. Proto musí býti f_1 větší než a a $(f_1 + f_2)$ musí býti menší než a (kde f_2 je se znaménkem minus). Na příklad je $f_1 = 10$ cm, $f_2 = -3$ cm, $a = 8$ cm, $f = \frac{-10 \times 3}{10 - 3 - 8} = + \frac{30}{1} = 30$ cm.



Obr. 103. Teleobjektiv Magnar (Zeiss).



Obr. 104. Jiný typ teleobjektivu.

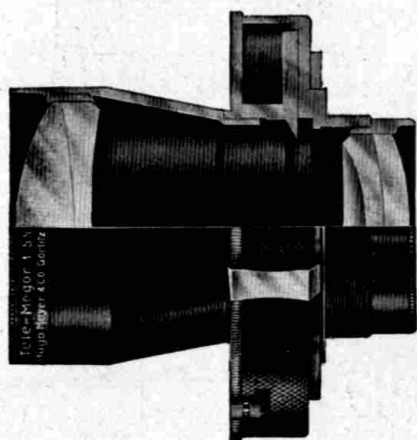
Vzdálenost od rozptylky k desce bude dána vzorcem

$$\frac{f_2 (f_1 - a)}{f_1 + f_2 - a} = 6 \text{ cm} \quad (36)$$

Počítali jsme zde s tenkými čočkami. Celková vzdálenost od první čočky k fotografické desce by byla $8 + 6 = 14$ cm, při čemž ohnisková vzdálenost je 30 cm. Fotoaparát je tedy o více než polovinu kratší. Při tom je zajímavé, že na př. druhá hlavní rovina je daleko před první čočkou. Obr. 102. ukazuje běh paprsků teleobjektivem.

Teleobjektivy nemají dobré korekce obrazu jako normální anastigmaty a jejich světelnost je též menší. Vyrábějí se též teleobjektivy s proměnnou vzdáleností mezi spojným a rozptylným systémem. Můžeme pak měniti ohniskovou vzdálenost objektivu a tím i jeho zvětšení. Pro dosažení lepší kvality obrazu se však od takových objektivů upouští a vyrábějí se hlavně teleobjektivy s pevnou vzdáleností.

Spojka i rozptylka jsou ovšem vytvořeny kombinací čoček pro dosažení korekce obrazových vad. Typem takového objektivu je *Magnar*, u něhož délka od první čočky k desce je asi 50% ohniskové vzdálenosti a jehož vlastní délka je asi 25% ohniskové vzdálenosti celého objektivu (obr. 103.). Řez teleobjektivem v objímce je na obr. 105.



Obr. 105. Tele-Megor $f : 5,5$
(fa Meyer, Görlitz).

Hledáčky, představné čočky, filtry.

K rychlému vyhledání a ke správnému nařízení směru fotografického aparátu tak, aby byl zachycen žádaný objekt na desce nebo na filmu, slouží různé druhy fotografických hledáček. V hledáčku se nám jeví předmět ohraničený tak, jak bude ohraničen snímek. Odpadá pak hledání obrazu na matnici, což by u filmových přístrojů nebylo ani možné.

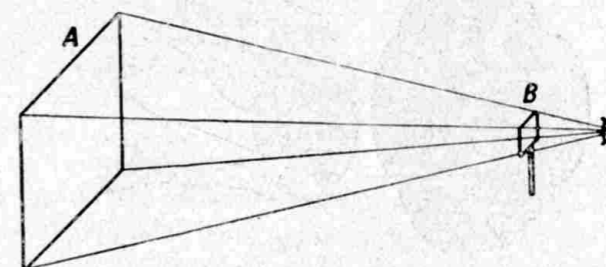
Nejjednodušší je t. zv. *rámečkový hledáček*, kde rámečkem a za ním umístěným malým průhledem je vytvořeno úhlové ohraničení pozorovaného předmětu, které souhlasí s ohraničením na desce.

Průhled *B* (obr. 106.) bývá často velmi malý a otvor bývá kruhový. Pak je třeba dáti oko blízko k otvoru.

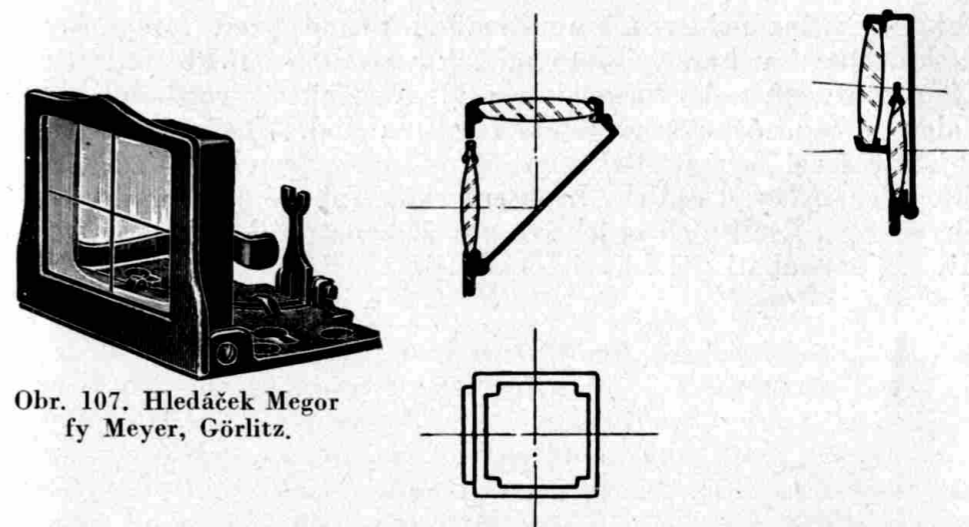
Newtonův hledáček (obr. 107.) je značně kratší než rámečkový hledáček a má vpředu rozptylnou čočku, jejíž okraje tvoří ohraničení zmenšeného (virtuelního) obrazu. Rozptylka má uprostřed vyrytý kříž pro snadnější zamíření. Směr, jímž se díváme do hledáčku, je určen malým průhledem. Někdy je místo průhledového otvoru za rozptylkou malá spojná čočka. Pak je to vlastně obrá-

cený holandský dalekohled. Spojka definuje lépe než pouhý průhled osu hledáčku a umožňuje přesnější ohraničení obrazu.

Zrcadlové hledáčky jsou v podstatě úplnou obdobou fotokomory ve zmenšeném měřítku. Obraz se jeví na malém matném skle a mezi čočku, tvořící objektiv a matné sklo, je vloženo zrcadlo skloněné na 45° , jež odráží paprsky do pravého úhlu. Někdy jsou hledáčky takové bez zrcadla a matnice je v přímé čáře za čočkou.



Obr. 106. Hledáček rámečkový.



Obr. 107. Hledáček Megor
fy Meyer, Görlitz.

Obr. 108. Brilantní hledáček (v normální poloze) pohled shora a sklopený.

Brilantní hledáčky (Adamsův hledáček) se podobají zrcadlovým hledáčkům lomeným, ale mají místo matnice čočku, na které se vytvoří obraz, daný první čočkou. Paprsky, které by se jinak rozptylovaly, jsou druhou čočkou spojeny ve svazek, který přichází do oka pozorovatele (vzdáleného asi 25 cm) [obr. 108.].

Hledáčky všech soustav jsou obvykle sklenné, aby zabraly ve složeném přístroji minimální prostor.

U fotografických přístrojů se používá často představných čoček (obr. 109.), které buďto prodlužují nebo zkracují ohnisko objektivu, nebo které změkčují obraz tím, že úmyslně způsobují malou neostrost. Představné čočky vždy poněkud zhorší korekci obrazu, jakou má objektiv samotný. Barevné filtry, nasazované na



Obr. 109. Představná čočka fy Meyer, Görlitz.

objektiv nebo někdy též umístované přímo před fotografickou deskou, slouží v barevné fotografii k vyzvednutí některých barevných kontrastů nebo ke zmenšení vlivu velké citlivosti desek pro fialové a modré paprsky (žluté filtry) a pod. Filtry nasazené na objektiv musí býti opticky broušeny nebo, jsou-li to želatinové filtry, lepeny mezi opticky broušená skla. Takové opticky vyrobené filtry sice u kvalitních objektivů zhorší nepatrně korekci, ale tento vliv lze zanedbat při běžné fotografii.

PROMÍTACÍ PŘÍSTROJE.

Úvod.

Předmět umístěný ve vzdálenosti o něco větší, než jest ohnisková vzdálenost nějakého spojného systému, bude promítnut reálně a převráceně do velké konečné vzdálenosti. Při tom bude v poměru obou délek jeho obraz zvětšen. Zobrazovací pochod jest tedy opačný onomu u fotografického přístroje.

Přístroje promítací rozdělujeme na diaskopy, jimiž promítáme průhledné obrázky (diapositivy) a episkopy, promítající neprůhledné předměty. Konstrukci diaskopu (někdy nazývaný skioptikon nebo laterna magica) s malými rozdíly odpovídá kinoprojektor, zvětšovací přístroj fotografický a i přístroj mikroprojekční.

Fotometrie.

Důležité bude náležitě osvětlení promítaného předmětu a proto stručně objasníme nejprve příslušné pojmy. Předpokládejme bod, který vysílá kol dokola světlo a má svítivost J . Místa, kde toto světlo bude míti též účinek, leží na kouli. Její plocha jest $4\pi r^2$. Pro naše měření volme poloměr koule $r = 1$, takže plný úhel prostorový, do kterého bod svítí, bude míti hodnotu 4π . Světlo vyslané do prostoru tvoří světelný proud, který jistě bude tím silnější, čím zdroj bude míti větší intenzitu J . Světelný proud jest tedy množství světla vrženého do určitého prostorového úhlu. Označme světelný proud Φ a obecný úhel prostorový ω . Do dvojnásobného úhlu bude vržen dvojnásobný proud, tedy:

$$\Phi = J \cdot \omega \quad (37)$$

Jednotkou světelného proudu jest 1 lumen (Lm). Jest to světelný proud, vyslaný zdrojem jednotkové svítivosti do prostorového úhlu jedna. Jednotkový prostorový úhel jest dán plochou 1 m^2 vymezenou z povrchu koule o poloměru 1 m. Jednotkou svítivosti či

intensity J jest 1 Hefnerova svíčka (1 HK) anebo svíčka mezinárodní SI. Zdroj o svítivosti 1 HK byl realizován hořákem přesně určeným, který jest napájen amylacetátem. Délka plamene musí být 40 m/m. Této jednotky intensity užívá se v Německu a v zemích odebírajících jeho výrobky. Jinak se všude užívá svíčky mezinárodní SI, jejíž intensita rovná se asi 0,9 svítivosti HK.

Prostorový úhel plný, odpovídající celé kouli, bude míti hodnotu 4π , tedy asi 12. Podle toho vyšle zdroj o svítivosti J do prostoru proud Φ rovný $12J$. Vztah mezi světelným proudem a intenzitou jest proto: $1 \text{ Lm} = 12 \text{ SI}$. Deset Lm nazývá se *dekalumen* (DLm), takže $1 \text{ DLm} = 1,2 \text{ SI}$. Svítivost libovolného zdroje udáme srovnáním se základním světelným zdrojem, cejchovaným na př. Hefnerovým hořákem nebo žárovkou, jejíž svítivost v určitém směru je známa. Přístroje, které provádějí tato srovnávací měření, nazývají se *fotometry*. Nebudeme se jimi šířeji zabývat, vysvětlíme pouze jejich princip. Světelný proud v lumenech, dopadající na jednotku plochy v m^2 , vzbudí na ní určité osvětlení; jednotkou osvětlení jest jeden *Lux* (Lx). Jest to osvětlení plochy 1 m^2 , způsobené světelným proudem 1 Lm. Týž světelný proud, dopadající však na plochu p dvojnásob velikou, dodá jí poloviční osvětlení E . Osvětlení, způsobené týmž světelným proudem na ploše dvojnásobné, bude poloviční, neboť proud se musí rozdělit na plochu větší. Osvětlení jest při témž světelném proudu nepřímě úměrné osvětlené ploše.

$$E = \frac{\Phi}{p} \quad (38)$$

Vraťme se k rovnici pro plochu koule $P = 4\pi r^2$, ze které snadno odvodíme, že část z této koule, vyříznutá určitým prostorovým úhlem ω , bude $p = \omega r^2$. Dosazením do rovnice $E = \frac{\Phi}{p}$, dostaneme $E = \frac{\Phi}{\omega} r^2$, kde pro velmi malou plochu p bude ω zanedbatelné. Tedy:

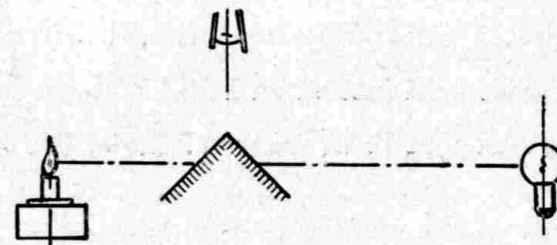
$$E = \frac{\Phi}{r^2} \quad (39)$$

Tento zákon nám praví, že osvětlení ubývá se čtvercem vzdálenosti zdroje od osvětlované plochy.

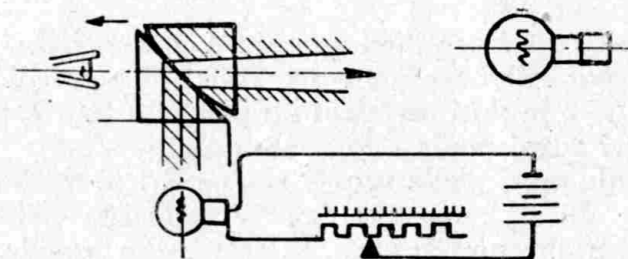
Ke srovnání svítivosti dvou zdrojů stačí srovnati jejich účinky, t. j. osvětlení, které způsobí na vhodně voleném stínítku. Nejjednodušší fotometr jest *Ritchie-ův*; sestává z hranolu, polepeného papírem (obr. 110.), jehož každou plochu osvětluje jeden zdroj. Vzdálenosti zdrojů od hranolu měníme tak dlouho, až při pohledu shora není viděti žádného rozhraní. Osvětlení jest tedy totéž, intensita

měřeného zdroje má se k intensitě zdroje měřícího v poměru čtverců obou vzdáleností.

$$J_1 : J_2 = r_1^2 : r_2^2. \quad \dots \quad (40)$$



Obr. 110. Schema fotometru Ritschie-ova.



Obr. 111. Fotometr s krychlí Lummer-Brodhunovou.

U moderních fotometrů neměníme vzdálenosti zdrojů, nýbrž raději řídíme různým způsobem intenzitu zdroje měřícího. Je-li zdrojem žárovka, pak možno cejchovati rheostat přímo ve svíčkách, případně v Lx. Takový fotometr jest na obr. 111. Hranol se slabě kulovitou přeponou jest zbroušenou ploškou přiložen k hranolu pravoúhlému. Tam, kde oba k sobě přilehnou, jest průhled krychlí; na ostatních místech se světlo odráží na přeponě hranolu ze strany (krychle Lummer-Brodhunova). Není-li osvětlen oběma zdroji stejně, vidíme uprostřed zorného pole světlejší nebo tmavší kruh. Rheostatem měníme svítivost cejchované žárovky, až pole jest rovnoměrně osvětlené a na běžci rheostatu čteme hledanou hodnotu.

Fotometrů jest veliká řada; není však úkolem knihy všechny probírat. Dosud uvažovali jsme o světelném zdroji přesně bodovém. Prakticky však nelze takového zdroje dosíci. Proto při posuzování světelného zdroje musíme také uvážiti, jak veliká svítící plocha jest schopna zářiti určitou intenzitou. Srovnávajíce dva zdroje téže svítivosti, dáme přednost onomu, kde svítící plocha jest menší, neboť tento jest výkonnější. Říkáme, že má větší specifickou svítivost, čili jas.

Počet svíček, jimiž svítí jeden cm^2 plochy, může býti větší

nebo menší. Táž intensita, rozdělená na plochu větší, sniží specifickou svítivost. Tedy jas

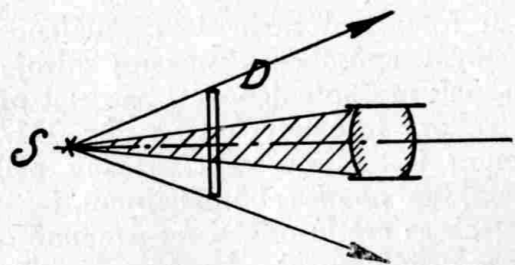
$$B = \frac{J}{p} \dots \quad (41)$$

Jednotkou jest 1 Stilb (Sb). Specifickou svítivostí 1 Sb září plocha 1 cm², jestliže svítí intenzitou 1 JS. $1 \text{ Sb} = \frac{1 \text{ JS}}{\text{cm}^2}$. Pro účely promítání jest vysoká specifická svítivost zdroje, jak ještě doložíme, značně důležitá.

Světlo u projekčních přístrojů.

Jako dostačující osvětlení promítací stěny bylo zjištěno asi 25 Lx. Více než 100 Lx působí již rušivě. Chceme-li na stínítku o ploše 2 m × 2 m míti osvětlení ku příkladu 50 Lx, pak jest nám voliti světelný zdroj podle této úvahy:

Z přístroje musí podle vzorce ($\Phi = E \cdot p$) vycházeti světelný proud $\Phi = 50 \cdot 2 \cdot 2 = 200 \text{ Lm}$. V nejlepším případě využijeme, následkem ohromných ztrát, ze světelného proudu žárovky jen asi 10%. Jest tedy použití žárovky $10 \times 200 \text{ Lm}$, tedy 2000 Lm. V katalogu továrny na žárovky bychom zvoliti projekční žárovku raději ještě silnější.

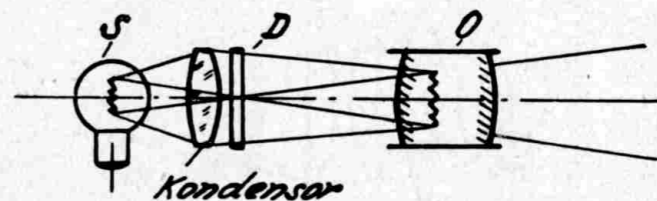


Obr. 112. Důvod pro použití kondensoru.

Jako světelného zdroje užívá se pro vysoké výkony stále ještě obloukových lamp, opatřených obyčejně knotovými uhlíky, ačkoliv praktické kinožárovky dosahují téměř těchže výkonů. Tyto jsou tak konstruovány, aby svítící ploška byla co nejmenší. Přechod mezi obloukem a žárovkami tvoří bodová lampa, v podstatě vlastně oblouk mezi wolframovými elektrodami, skrytý ve skleněné baňce. Používá se jí pro mikrofotografii právě tak, jako páskové žárovky, kde se rozežhaví kovový pásek. Pro menší kinopřístroje užívá se výhradně trubicových nízkovoltových žárovek. Pro diaskopy určeny

jsou kulové žárovky; pro episkopy jsou při téže spotřebě nepatrně výkonnější. U všech žárovek dlužno dbáti správné, továrnou předepsané polohy při svícení; jinak se jejich beztak omezená životnost zkracuje. Ještě důležitější jest správná ventilace; žár může dostoupiti takové výše, že baňka se deformuje, až praskne.

Světelný zdroj (obr. 112.) osvětluje průhledný obrázek D. Každý bod obrázku moduluje procházející světlo, neměně ničeho na směr paprsků. Vidíme, že do objektivu vnikne jen světlo, obsažené v čárkovaném kuželi, kdežto paprsky procházející okrajovými částmi diapositivu D, do objektivu se vůbec nedostanou (nebo jen částečně). Tato místa diapositivu nebudou tedy vůbec promítnuta. Poměry jsou tytéž jako u okuláru dalekohledu a platí i táž úvaha. (Viz kapitolu o dalekohledech.)

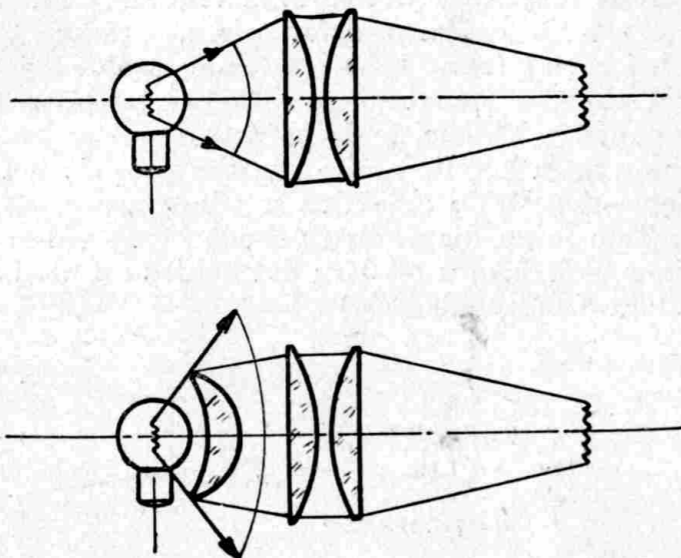


Obr. 113. Funkce kondensoru.

Zlomíme proto vhodnými klíny paprsky tak, aby všechny byly soustředěny do objektivu. Soubor všech takových nekonečně malých klínků vytvoří konvexní čočku, která, soustřeďujíc světlo do objektivu, vytváří tam vlastně obraz světelného zdroje. Tuto čočku nazýváme pro její funkci kondensar nebo také iluminátor. Podmínka prosvětlení obrazu jest z předchozího na snadě. Kondensar musí zobraziti světelný zdroj do objektivu (obr. 113.). Pochopitelně soustředí tam i paprsky tepelné, pročež, zvláště při použití lamp obloukových, musíme z přesného plnění tohoto požadavku ustoupiti. Bod největší koncentrace klademe pak mezi diapositiv a objektiv. Z téhož důvodu vkládáme mezi zdroj a objektiv vrstvu teplo absorbující látky, jako kyvetu s vodou nebo absorbční sklo.

V praxi se setkáváme s jednočočkovým kondensorem jen zřídka kdy. Obyčejně bývá za účelem lepší korekce složen ze dvou plankonvexních čoček, vypuklou stranou k sobě přivrácených (obraz 114.). Z celé úvahy vyplývá i poloha diapositivu, vzhledem ke kondensoru; bude těsně u ploché strany kondensoru, takže kondensar bude míti průměr diapositivu opsané kružnice. Doporučuje se průměr větší, protože kondensar, jako každý neachromatický systém, láme nejméně paprsky červené. Ve středních částech obrazu se všechny barvy vzájemně překrývají ve výslednou barvu bílou. Na

okraji však zbudou pouze paprsky červené, které nemohou být již modrými překryty, takže promítnutý obraz bude mít rudou vignetaci.

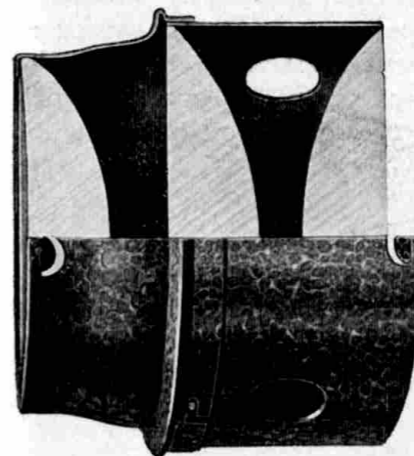


Obr. 114. Srovnání dvojitého a trojitého kondensoru.

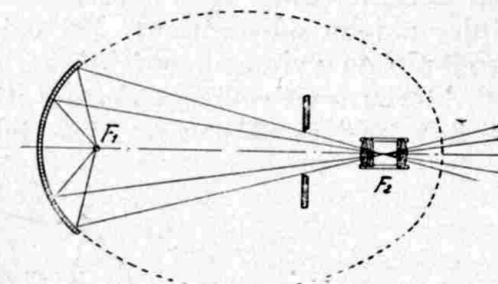
Bude vždy snahou zachytiti kondensorem co nejvíce světla. Proto bývá ke kondensoru přičleněna ještě menisková čočka, nalézající se blízko zdroje. Zachytává světlo ve velikém prostorovém úhlu a shromažďuje jej do vlastního kondensoru. Třídílnému kondensoru říkáme triplekondenzor. Z obrazu 114. vyplývá ve srovnání s normálním kondensorem výhoda triplekondensoru. Řez celým triplekondensorem firmy Rodenstock jest uveden na obr. 115.

Čočkový kondenzor není vždy nejvýhodnějším řešením, neboť ztráty absorbcí a odrazem jsou velmi značné. Zvláště u kinostrojů užívá se spíše zrcadel. Zrcadlo má již tu výhodu, že jest prosto barevných aberací a že odpadá velkou měrou ztráta reflexy a absorbcí. Použitím zrcadla eliptického odstraníme dioptrickou část zcela. Umístíme zdroj do jednoho ohniska elipsoidu a objektiv do okolí ohniska druhého (obr. 116.). Zrcadlo parabolické změnilo divergující paprsky z ohniska šířené v paralelní svazky, které jednoduchou plankonvexní čočkou soustředíme do objektivu (obr. 117.). U kinostrojů jest častým požadavkem týmž zdrojem prosvětlení jak diapozitiv $8.5 \text{ cm} \times 8.5 \text{ cm}$, tak i normální film. Proto musíme diapozitiv vložit blíže zdroje do místa A, kde průměr světelného kužele odpovídá velikosti diapozitivu (obr. 118.). Tu však sledujeme, že na obraz jest vrhán stín uhlíku, jeví se jako tmavá

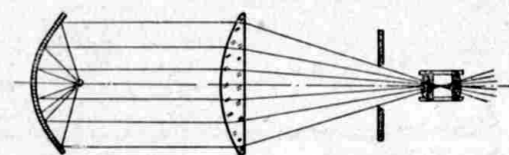
skvrna uprostřed promítací stěny. Film tímto úkazem rušen není, neboť v místech B, kde film probíhá, se stín již nevyskytuje. Pomůžeme si konkávní čočkou, upevněnou mimo vrchol stínu. Čočka světlo rozptýlí na průměr diapozitivu, musíme však před diapozitivem kondensorovou čočkou soustřediti paprsky opět do objektivu. U většiny kinostrojů jest však instalován zvláštní diaskop s lampou a kondensorem.



Obr. 115. Triplekondenzor.



Obr. 116. Eliptické projekční zrcadlo.



Obr. 117. Parabolické projekční zrcadlo.

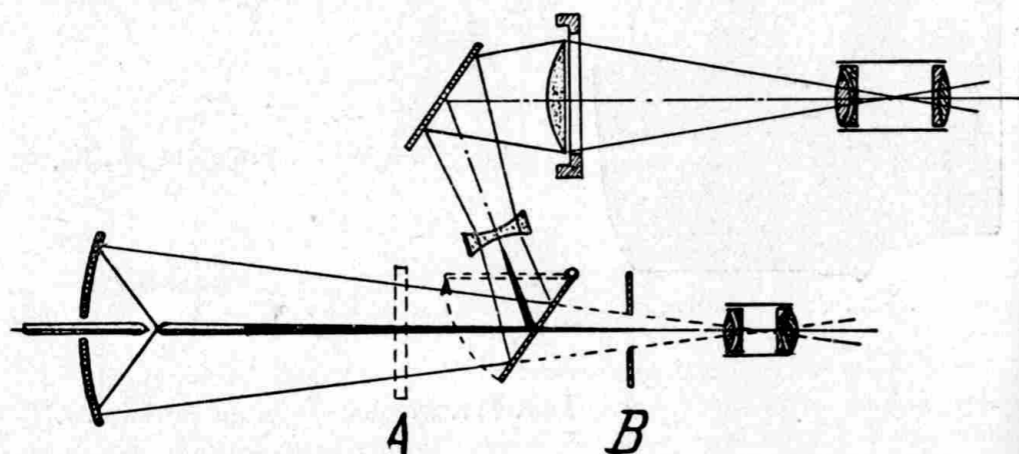
Projekční přístroje mívají kromě normálního kondensoru ještě zrcátko, většinou kulové, kterým jsou využity jinak ztracené paprsky, směřující vzad. Levné, ale nikoliv vždy správné, bude postříbření zadní části kulové baňky žárovky (obr. 128.). Při trubkové žárovce jest ovšem kulové zrcadlo upevněno zvlášť a uzpůsobeno k centrování.

Projekční objektiv.

Otázka objektivu jest v této knize probrána v kapitole o fotoobjektivech. Uzávěry tam učiněné platí i zde téměř beze změny. Dlužno jen podotknouti, že chromatickou korekci jest u přístroje projekčního provést pro barvy, na které jest oko nejcitlivější. Doporučuje se sjednotiti ohniska barvy červené (Fraunhoferova čára C) a modré (čára F); tyto se pak překrývají, takže obraz není ani červeným ani modrým okrajem rušen. Použijeme-li však normálního fotografického objektivu, korigovaného pro barvy D a G, ne-

zjistíme žádného velkého rozdílu, protože hořejší požadavek jest spíše rázu teoretického. Naopak, odstranění jednotlivých vad nemusí býti provedeno s takovou pečlivostí jako u přístroje fotografického. Můžeme proto používat při téže vnitřní stavbě objektivů světelnějších na úkor snížení kvality obrazu.

Co do typu, lze objektivy rozvrhnouti do dvou skupin: pro promítání ve větším obrazovém úhlu, t. j. velkých obrazů na malou vzdálenost, uijeme téměř těchže objektivů jako pro fotografii (triplet a jeho odvozeniny). Při nebezpečí vysoké teploty se pokud možno vyhneme objektivům lepeným. Hranice obrazového úhlu, kterou není radno překročovati, jest asi $50-60^\circ$; jest to případ, kdy průměr obrazu rovná se jeho vzdálenosti od objektivu.



Obr. 118. Promítání diapositivů kinostrojem.

K promítání na velikou vzdálenost v malém obrazovém úhlu zvolíme s výhodou objektiv korigovaný pro malý úhel, ale za to tím důkladněji. Zde dlužno klásti na kvalitu obrazu trochu větší důraz, protože průmět bude vždy pozorován z dálky menší, než je vzdálen objektiv. Veliké rozptylové kruhy by příliš rušily. K tomuto účelu se téměř výhradně užívá objektivu typu Petzvalova. Teoreticky nemá míti jak zdroj, tak i kondenzor na kvalitu obrazu žádného vlivu. Někdy tomu tak nebývá. Jak víme, roste ostrost obrazu se zmenšujícím se relativním otvorem objektivu. Jestliže paprsky vycházející z kondenzoru budou míti v místech, kde je objektiv, průměr menší než je průměr objektivu, pak není celý objektiv plně využit a působí tak, jakoby do něj byla vložena clona. Při tom světelnost obrazu je táž, jako při plném průměru, neboť stejně prochází objektivem všechny paprsky s tímtež kondenzorem využitelné. Jak dosáhneme malého průměru světelného kužele? Zmenšením

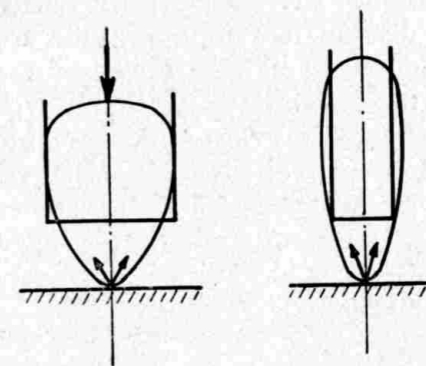
obrazu zdroje. Musili bychom však vzdálenost kondenzoru od zdroje zvětšiti, čímž zmenšíme světelný proud, který kondenzor pojme. Proto této cesty nevolíme. Částečně bychom si pomohli odstraněním zobrazovacích vad kondenzoru. Tento způsob jest však příliš drahý a nevede k velkým výsledkům. Nejúspěšnější bude zmenšení plochy světelného zdroje na minimum, při téže svítivosti. Plošná svítivost bude pak velmi značná. Takovými žárovkami jsou opatřovány všechny menší kinostroje a promítací přístroje pro malý formát.

Zde nalezneme vysvětlení, proč u zvětšovacích přístrojů můžeme regulovati tvrdost obrazu, když místo kondenzoru uijeme mléčné desky — až do zcela tvrdého — s použitím kondenzoru.

Kdyby se podařilo nalézt zdroj světelný opravdu bodový a s vysokou specifickou svítivostí, bylo by lze realizovati promítací stroj, pracující zcela bez objektivu, nebo prakticky s objektivem velmi jednoduchým. Dobře korigovaným kondenzorem by byl zdroj zobrazen do určitého místa, které by vlastně fungovalo jako malý otvor v camera obscura (dirková komora). Tímto fiktivním otvorem by byl obraz promítnut na stěnu.

Promítací stěna.

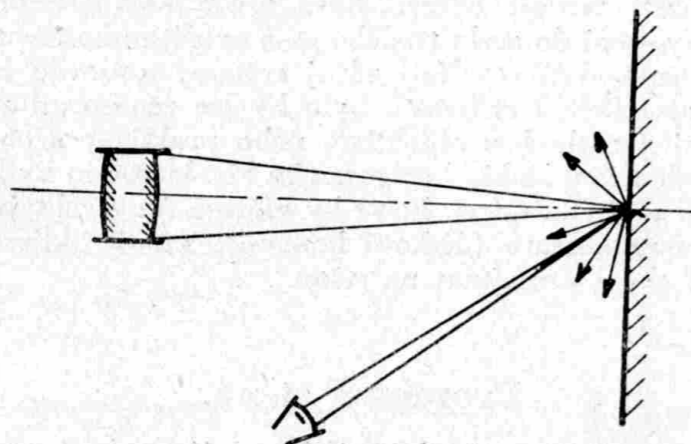
Promítací stěna musí odrážeti dopadající paprsky v určitém úhlu rovnoměrně difusně. Pohltiti jich má co nejméně. Stěna plátěná vykazuje ztráty asi 45%, kdežto sádrová, v biografech po-



Obr. 119. Čára stejné intenzity světla, promítací stěnou rozptýleného.

užívaná, jen asi 35%. Stěny zvukových kin, propouštějící zvuk, mají ztráty nepoměrně vyšší. Amatérská kina i promítací přístroje, pracující s malými světelnými výkony, používají speciálních stěn, opatřených vrstvou malých skleněných kuliček nebo stěn s hru-

bým povrchem, natřeným stříbrnou bronzí. Odráží maximum světla do jednoho směru, tedy nikoliv rovnoměrně difusně, protože jsou použitelné jen pro úzký pás diváků. Na obr. 119. jsou srovnány dvě různě rozptylující stěny. Pravá rozptyluje správně světlo širokému pásu diváků, kdežto druhá usměrňuje paprsky do jednoho směru. Jest užívána u malých kin. Abychom si o využití světla učinili představu, považme, že po všech ztrátách v kondensoru, zdroji i objektivu, jest do jednoho bodu stínítka vržen světelný kužel, jehož základnu tvoří průměr objektivu. Světlo obsažené v tomto kuželi jest pak difusní stěnou rozděleno do celého prostoru před



Obr. 120. Množství při promítání využitého světla.

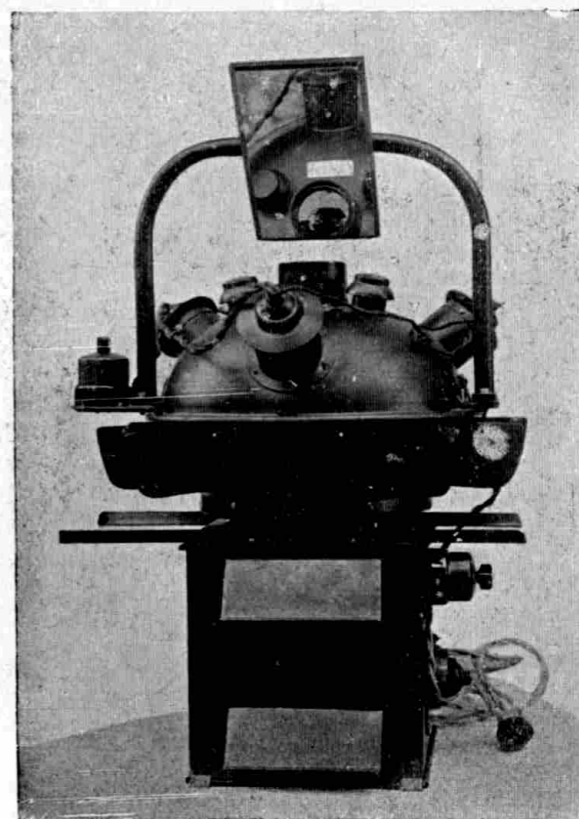
stínítkem. Z tohoto množství použije jednotlivý divák pouze paprsky, obsažené v úhlu daném jeho pupilou a vzdáleností stínítka (obr. 120.). Tím jsme si uvědomili ohromné světelné ztráty a odvodnili, proč je nutno užívat tak velikých světelných energií.

Ku stejným výsledkům dospějeme úvahou touto: nepatrná ploška průmětu má být osvětlena padesáti luxy. Při použití objektivu o ohnisku 250 mm a promítání na vzdálenost 5 m, jest lineární zvětšení $20\times$. Ona ploška jest tedy zvětšena 20×20 , t. j. 400krát. Odpovídající ploška diapositivu musí mít osvětlení 400×50 Lx, t. j. 20.000 Lx.

Několik konstrukcí promítacích strojů.

Při promítání episkopickém jsou ztráty světelné velmi značné. Rozdíl světelný mezi dia- a epiprojekcí vyplyne srovnáním průhledného bodu na diapositivu s naprosto bílým, difusně veškeré světlo odrážejícím místem předmětu episkopicky promítaného.

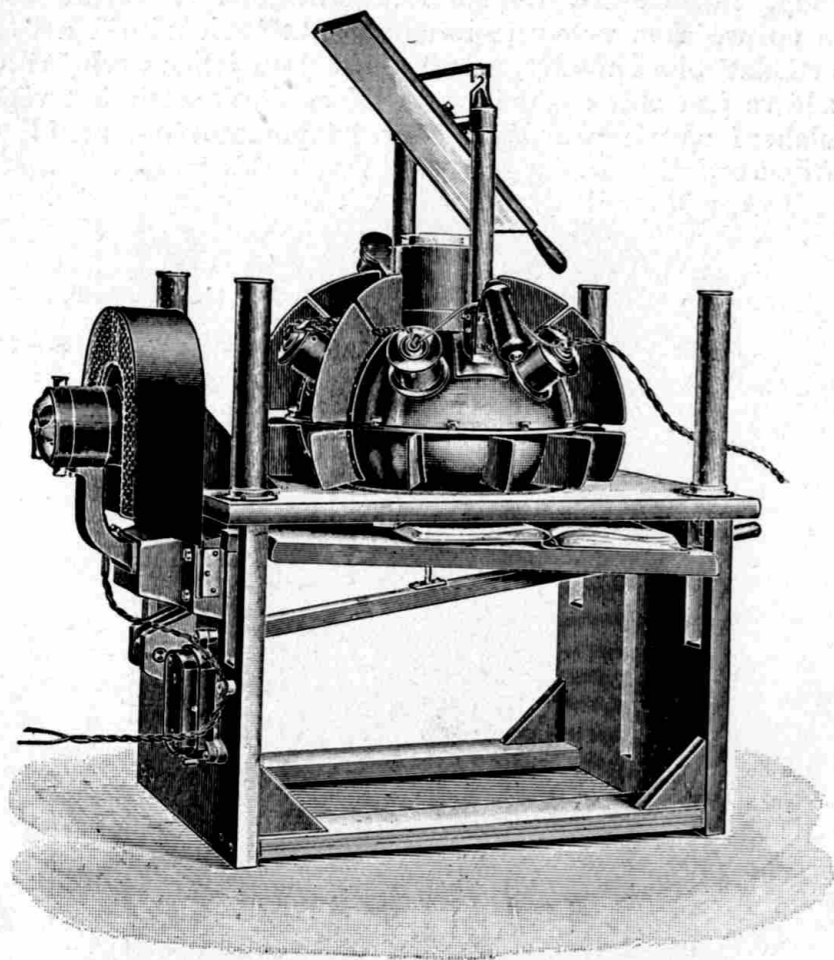
Předpokládejme oba body stejně osvětlené, pak z diaobrázku obdrží objektiv veškeré světlo, které difusně odrážející látka by jinak vrhla do polovičního prostorového úhlu, kdežto z epi-předmětu by pojal jen světlo v kuželi, určeném průměrem objektivu a jeho vzdáleností od předmětu. Z poměru obou prostorových úhlů bychom vypočetli, že obraz v druhém případě bude v poměru $d^2 : 4f^2$ tmavší. Byli-li na př. použit objektiv $d : f = 1 : 3$, potom epi-obraz bude $36\times$ méně světlý obrazu diaskopického. V závěru usoudíme, že epiprojekce vyžaduje mnohem silnějších zdrojů a že není radno střídati oba způsoby, neboť diváci jsou jednou oslněni a pak opět zdá se jim obraz příliš tmavý. V epidiaskopech jest většinou na zeslabení zdroje pro diapositivu již pamatováno, není-li dáno přímo konstrukcí.



Obr. 121. Kulový episkop.

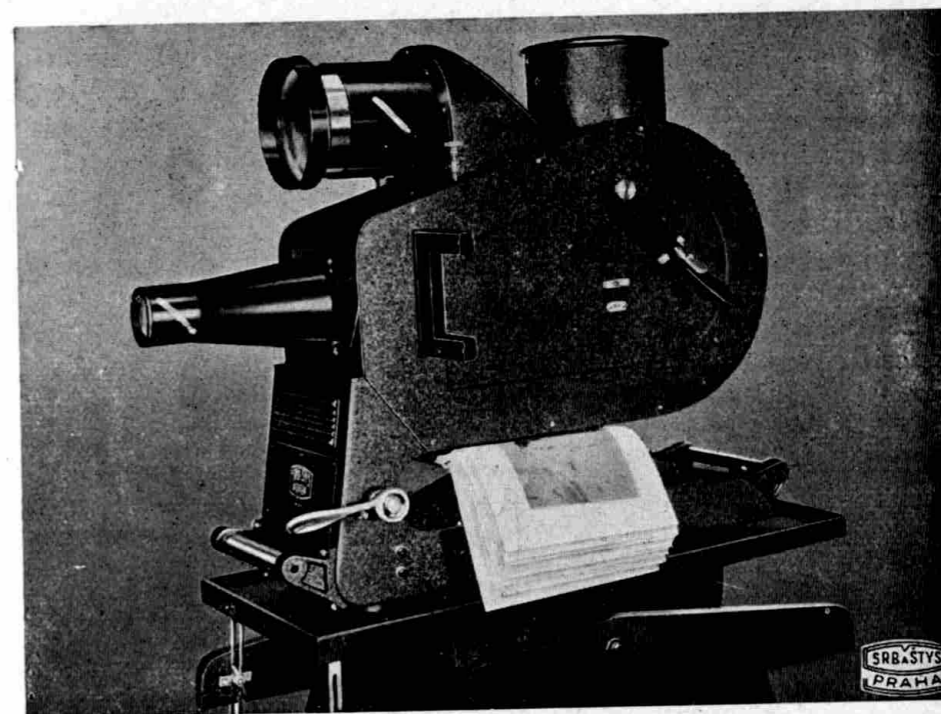
Jako příklad episkopu slouží episkop kulový (obr. 121.) firmy Srb a Štys, vycházející z principu t. zv. Ulbrichtovy koule, který praví, že na každý bod koule uvnitř difusně bílé dopadá veškeré množství světla, vyslané v kouli ležícím zdrojem, neboť do každého

bodů se světlo ze všech ostatních bodů odrazí. Osvětlení předmětu jest tedy jistě ideální a přístroj nemusí býti opatřen žádnými iluminátory. Objekt jest přímo osvětlován třemi žárovkami, čímž jest dosaženo značné úspory světla, ale současně vzniká veliké zahřátí. Osa objektivu jest svislá a paprsky se pak odráží v povrchově stříbřeném zrcadle, do pětáctyřiceti stupňů skloněném. Aby bylo možno používati této aparatury i pro diaprojekci, nasadíme ji na

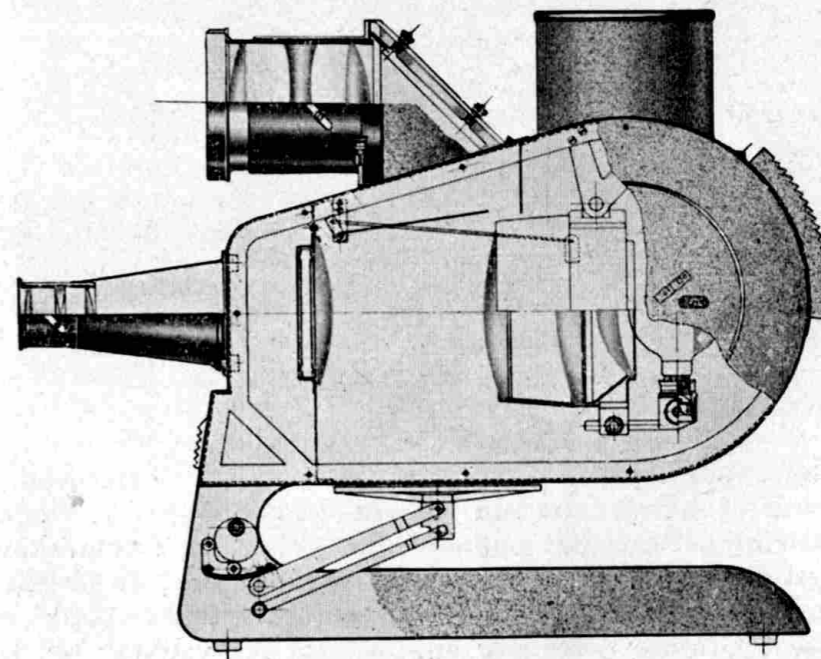


Obr. 122. Kulový episkop s velikým výkonem.

krychlovitý podstavec, skrývající kondenzor a projekční žárovku. Diapositivy jsou přesouvány na dvou vodorovných lištách. Na obr. 122. jest kulový episkop s vysokým výkonem, neboť jeho žárovky mají celkový výkon 3000 Watt. Vyžaduje to ovšem zvláštního chladicího zařízení. Z kulového episkopu vychází přístroj fy »Epirex«. Předmět jest umístěn svisle, čímž odpadá nezbytné zrcadlo a 20%



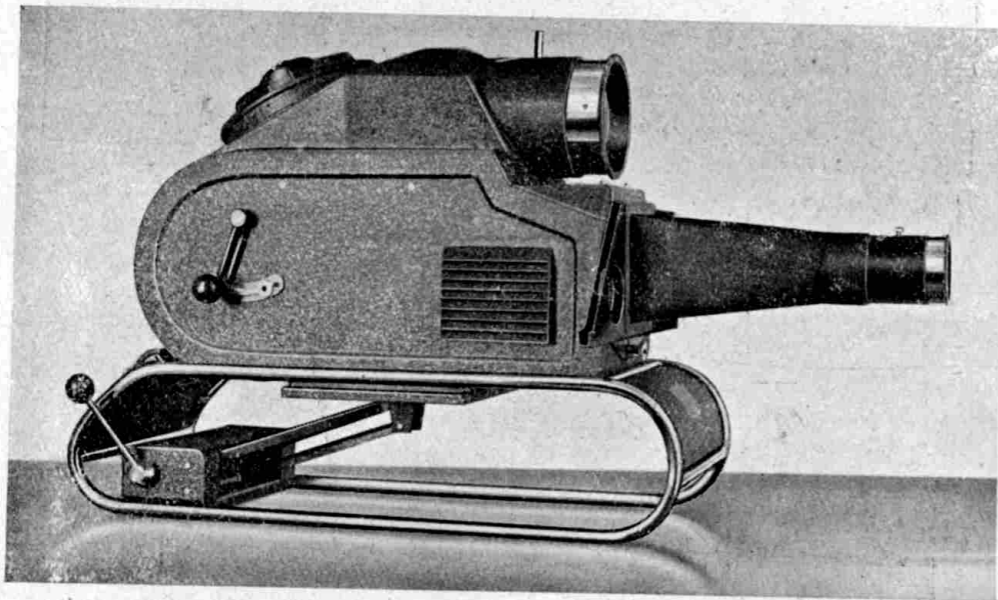
Obr. 123. Epidiaskop fy Srb a Štys.



Obr. 124. Řez epidiaskopem.

ztráty v něm. Nutno však promítati na průsvitnou promítací stěnu proti divákům, jinak jest předmět stranově převrácen. Osvětlení obstarává věnec malých žárovek, kol předmětu rozložených. Je tak odstraněno nebezpečné zahřívání.

O konstruktivní stránce diaskopů (skioptikonů) není mnoho k podotknutí. Užívají se méně, jsouce nahražovány universálnějšími epidiaskopy. Epidiaskop, znázorněný na obraze 123., jest normálním promítacím přístrojem, opatřeným, jak z řezu na obr. 124. patrně, triple-kondensorem, který promítá světelný zdroj přibližně do nekonečna. Pomocná iluminační čočka, ležící těsně u diapositivu, zobrazí jej do objektivu o $f = 250 \text{ m/m}$ a o relativním otvoru $1 : 4,5$. Žárovka 500 W, se zadní částí baňky stříbřenou, jest ve dvou ložiskách i s iluminátorem otočná, takže možno optickou osu iluminátoru pomocí páky nastavit tak, aby její osa svírala se základní plochou přístroje úhel 45° .



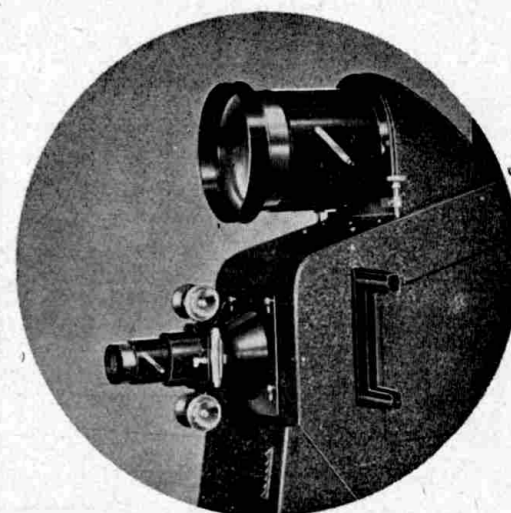
Obr. 123. Epidiaskop s pevnou žárovkou.

Předmět episkopicky promítaný je stolkem přitlačován ke skleněné desce. Nad středem výřezu pro epi-projekci odráží vrchem stříbřené zrcadlo paprsky do objektivu s ohniskovou vzdáleností 500 m/m a světelností $1 : 3,9$. Vidíme, že objektivy nejsou stejné. Z důvodů, které již byly objasněny, jest epi-objektiv světelnější a protože výřez pro epi-projekci má velikost $160 \text{ krát } 160 \text{ m/m}$, tedy dvojnásobek formátu diapositivu 80×80 , jest i

ohnisková vzdálenost dvojnásobná, aby promítnutý obraz měl tutéž velikost. Podobných přístrojů, více nebo méně praktických, jest na trhu celá řada v různých obměnách. Řešením jsou elegantní přístroje s pevnou žárovkou. Pohybuje se pouze pomocné zrcadlo, které při epi-projekci vrhá na předmět paprsky, jež by jinak byly ztraceny. Při promítání diapositivů se zrcadlo skloní tak, že přikryje okno episkopické a odkryje dvoučočkový kondensor. Vnější tvar tohoto přístroje je patrný na obr. 125.



Obr. 126. Nástavec k promítání mikropreparátů.

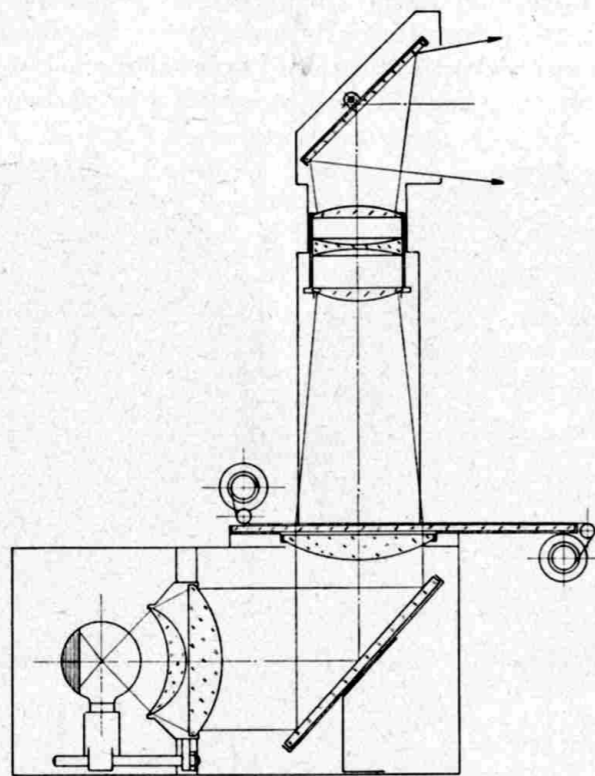


Obr. 127. Nástavec k promítání filmů.

K účelům vyučovacím opatřují se epidiaskopy různými nástavci, na př. pro promítání mikroskopických preparátů nebo kapalin (obr. 126.). Místo diaobjektivu užijeme slabšího objektivu mikroskopického. Dvěma hranoly nebo zrcadly pozměníme chod paprsků, aby bylo lze promítací stoleček uložit vodorovně. Podobně při promítání stojících filmů musíme vzhledem k jejich menšímu formátu nasadit na normální epidiaskop zvláštní nástavec (obr. 127.). Právě tak velmi názorně je možno promítati vhodným agregátem chemické procesy ve zkumavkách a pod.

V novější době jsou stavěny přístroje, které mají přednášejícímu ušetřiti namahavé psaní a rýsování na tabuli. Přístroj jest vhodně stavěným diaskopem, kde rovina promítaná leží vodorovně, jsouc zhmotněna skleněnou psací deskou, po níž se posouvá celofánový pás, na kterém lze psát speciální tužkou. Na můstku, kle noucím se nad psací deskou, jest upevněn promítací objektiv a skloněné zrcadlo, kterými jest písmo promítáno. Na obr. 128. jest

schema takového přístroje. Odrazové zrcadlo musí býti ve většině případů vrchem stříbřeno, neboť jinak vzniká dvojitý obraz. Někdy, při nižších nárocích, tolerujeme zrcadlo se zadní plochou odraznou.



Obr. 128. Přístroj pro promítání písma.

Optická konstrukce kinostrojů z dosavadního dostatečně vyplývá. Základem kinematografie můžeme označiti neschopnost oka oddělit od sebe dva světelné vjemy, které následují za sebou rychleji, jak jedna šestnáctina vteřiny. Strídání obrázků ve filmu děje se ještě větší rychlostí, asi 24 až 30krát za vteřinu. Před objektivem otáčí se sektorová clona, mající za účel přikrytí obraz v okamžiku výměny. Avšak i když obraz stojí, přeběhne clona objektiv ještě jednou, aby rychlost strídání světla a tmy na promítací stěně se zvětšila a tím oko méně obtěžovala. Velkými přednostmi se vyznačují stroje s plynulým pohybem filmu, který jest opticky (pohyblivými zrcadly) vyrovnán, takže obrazy jsou promítnuty vždy na totéž místo. (Mechau — systém).

Přístroje zvětšovací jsou jen technicky přizpůsobené skioptikony. Zajímavé jsou na nich snad jen konstrukce s plynulým stá-

lým zaostřením při každém stupni zvětšení. Obstaráváno jest to vačkovým vedením, kterým jsou stále nastavovány správné vzdálenosti objektivu od zvětšeniny a negativu od objektivu.

Nazveme délku objektiv — velký obraz a , délku objektiv — malý obraz b a zvětšení Z , pak platí

$$a = f (Z + 1) \quad \dots \quad (42),$$

$$b = f \frac{Z + 1}{Z} \quad \dots \quad (43).$$

Použití vzorců vyplyne z příkladů: objektivem $f = 135$ mm jest zvětšiti negativ přesně desetkrát;

$$a = 135 \times (10 + 1)$$

$$b = 135 \times \frac{10 + 1}{10}.$$

Pro přesně desetinásobné zvětšení bude $a = 1485$ mm, $b = 148.5$ mm.

Tyto dva vzorečky, ze kterých lze svrchu zmíněnou vačku odvoditi, usnadní nám značně přesné nastavení přístroje. Samozřejmě platí i pro každý jiný promítací přístroj. Při větších zvětšeních, jako při promítání, můžeme vzorečky zjednodušiti a psáti

$$a = f \cdot Z \quad \dots \quad (44),$$

$$b = f \quad \dots \quad (45).$$

Připojujeme ještě tabulku, ve které lze vyhledati velikost promítnutého obrazu v různé vzdálenosti promítací stěny, pro různé ohniskové vzdálenosti objektivu.

Formát diapositivu 85 × 100 mm. Volný obraz 73 × 88 m.

f cm	4 m	6 m	8 m	10 m	12 m	14 m
12	2,35 × 2,85	3,60 × 4,30	4,80 × 5,80	.....	.....	.....
13,5	2,10 × 2,55	3,15 × 3,80	4,25 × 5,15	.....	.....	.....
15	1,85 × 2,25	2,85 × 3,45	3,80 × 4,60	4,80 × 5,80	.....	.....
16,5	1,70 × 2,05	2,55 × 3,10	3,45 × 4,15	4,35 × 5,25	.....	.....
18	1,55 × 1,85	2,35 × 2,85	3,15 × 3,80	4,00 × 4,80	4,80 × 5,80	.....
20	1,40 × 1,65	2,10 × 2,55	2,85 × 3,45	3,60 × 4,30	4,30 × 5,20	5,05 × 6,05
25	.....	1,70 × 2,05	2,25 × 2,75	2,85 × 3,45	3,45 × 4,15	4,00 × 4,80
30	.....	1,40 × 1,65	1,85 × 2,25	2,35 × 2,85	2,85 × 3,45	3,35 × 4,00
35	.....	.....	1,60 × 1,90	2,05 × 2,45	2,45 × 2,95	2,85 × 3,45
40	.....	.....	1,40 × 1,65	1,75 × 2,10	2,10 × 2,55	2,50 × 3,00
45	.....	.....	.....	1,55 × 1,85	1,85 × 2,25	2,20 × 2,65
50	.....	.....	.....	1,40 × 1,65	1,70 × 2,05	1,95 × 2,35
55	.....	.....	.....	.....	1,50 × 1,80	1,80 × 2,15
60	.....	.....	.....	.....	1,40 × 1,65	1,65 × 1,95
70	.....	.....	.....	.....	.....	1,40 × 1,65
80	.....	.....	.....	.....	.....	.....

DALEKOHLEDY A KOLIMÁTORY.

Dalekohled Keplerův či astronomický.

Spojná čočka vytvoří ve své ohniskové rovině převrácený obraz předmětů, ležících v nekonečnu. Pozorujme tento obrázek lupou! Lupa promítne jej opět do nekonečna, avšak v poměru vzdáleností obou optických částí od obrázku bude průmět větší.

Takový dalekohled byl po prvé sestaven *Keplerem* r. 1611 (dalekohled Keplerův) a byl používán většinou k účelům astronomie (neboť tam převrácený obraz cíle není na závadu), nazývá se též *dalekohledem astronomickým*.

Spojce zobrazující objekt říkáme *objektiv*. Lupa se v tomto případě nazývá *okulár*. Obraz y' předmětu y nalézá se ve společné ohniskové rovině objektivu a okuláru.

Jako objektivů bylo až do objevení achromatu používáno obyčejných spojek. Aby aberace nezhoršily obraz příliš, byly voleny velké ohniskové vzdálenosti, protože sférická aberace vzrůstá úměrně s ohniskovou vzdáleností, avšak s trojnásobkem průměru objektivu. Pro též průměr objektivu jest tedy výhodnější voliti delší ohniskovou vzdálenost. Pro totéž zvětšení jest také ohnisková vzdálenost okuláru větší, což příznivě ovlivní ostrost obrazu. I dnes, chceme-li dosáti vzdor korekcím lepší kvality obrazu, použijeme, zvláště při silném zvětšení, menšího relativního otvoru, t. j. poměru průměru objektivu k ohniskové vzdálenosti. U dalekohledů pro astronomii bývá 1 : 20 až 1 : 10, kdežto u triedrů většinou 1 : 4.

Zvětšení dalekohledu.

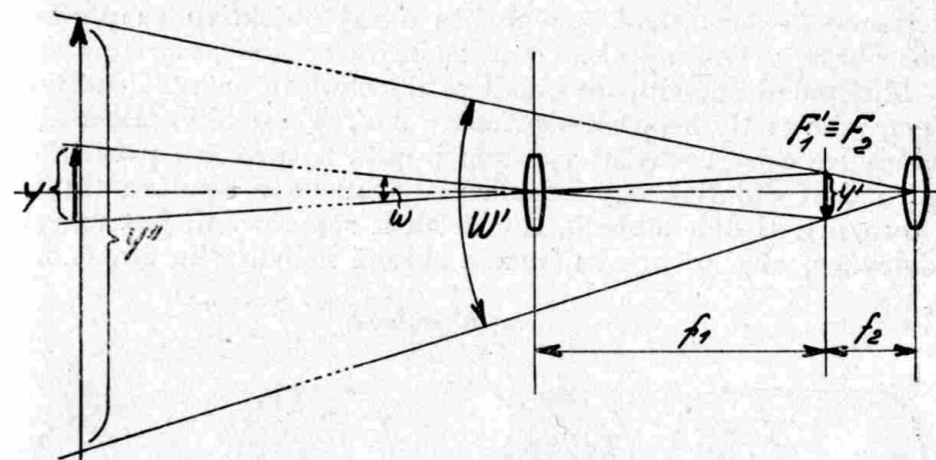
Úkolem dalekohledu jest zdánlivě přiblížiti předmět. Jeví-li se tento prostým okem pod úhlem ω , zobrazí jej dalekohled pod nějakým úhlem větším ω' . Předmět se nám zdá blíže a proto větší v poměru obou úhlů (obr. 129.).

$$Z = \frac{\operatorname{tg} \omega'}{\operatorname{tg} \omega} \quad (46).$$

Úhel ω je tvořen obrázkem y' a ohniskovou vzdáleností objektivu f_1' ; úhel ω' tímž obrázkem y' a ohniskovou vzdáleností okuláru f_2 . Zvětšení předmětu y na velikost y'' bude také

$$Z = \frac{f_1'}{f_2} \quad (47).$$

Zvětšení vypočítáme dělením ohniskové vzdálenosti objektivu ohniskovou vzdáleností okuláru. Tímto způsobem určujeme zvětšení hlavně při konstruování dalekohledu. Na př. u šestinásobného dalekohledu máme v úmyslu použiti okuláru o $f_2 = 20$ mm. Musí tedy podle horního vzorce být $f_1' = 120$ mm.

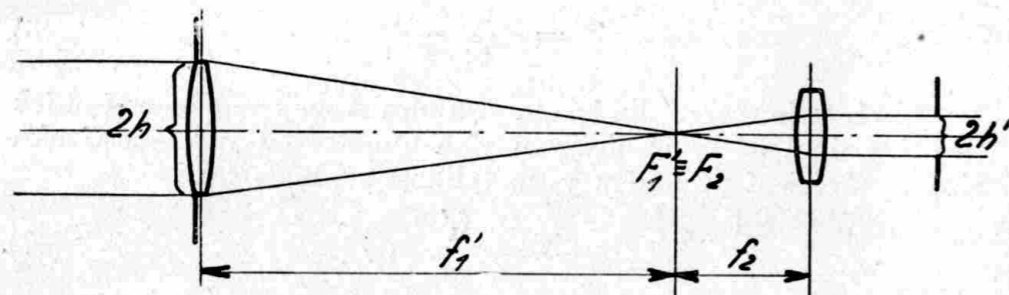


Obr. 129. Zvětšení dalekohledu.

Pro kontrolu zvětšení u hotových přístrojů známe způsoby výhodnější. Veškeré světlo, které do dalekohledu může vstoupiti, jest určeno průměrem objektivu $2h$. Tento světelný válec jest objektivem změněn v kužel o vrcholu ve společném ohnisku objektivu a okuláru; okulárem opět ve válec, avšak o průměru $2h'$. (obr. 130.) Z podobnosti trojúhelníku o stranách h a f_1' a trojúhelníku o stranách h' a f_2 , vyplývá $h : h' = f_1' : f_2$, kde poměr $f_1' : f_2$ vyjadřuje zvětšení Z ; bude proto

$$Z = \frac{h}{h'} \quad (48).$$

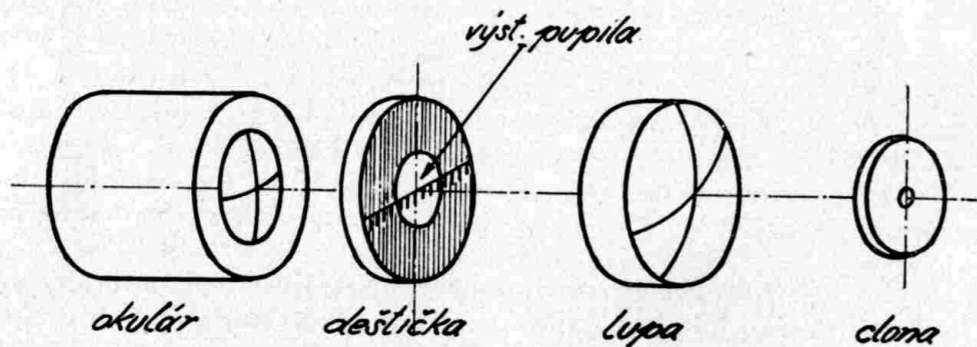
Clona, v našem případě objímka objektivu, která omezuje množství světla, do optického přístroje vstupujícího, nazývá se *vstupní pupila*. Její poslední obraz, vytvořený všemi systémy pří-



Obr. 130. Vstupní a výstupní pupila.

stroje, zove se *pupila výstupní* (viz kapitolu o pupilách). U našeho dalekohledu jest výstupní pupilou obraz volného průměru objektivu vytvořený okulárem. Velikost a polohu výstupní pupily nalezneme konstruktivně, považujíc okraj objektivu za předmět, jehož obraz, vytvořený okulárem, známým způsobem určíme.

Můžeme ji spatřiti, díváme-li se do okuláru ze vzdálenosti asi 25 cm, jako světlý kroužek o průměru $2h'$. V určité vzdálenosti od okuláru lze ostře zachytiti výstupní pupilu na proužek průsvitného papíru. Jest důležité, aby nebyla příliš blízko u okuláru (nejvíce asi 8 m/m). U dalekohledů, sloužících k zaměřování, jest úmyslně oddalována, aby zpětným nárazem zbraně nebylo oko zraněno.

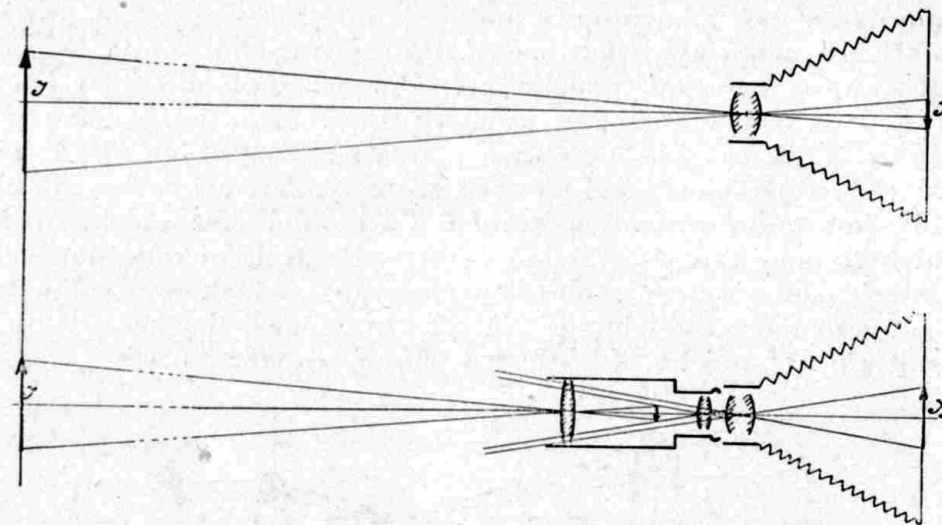


Obr. 131. Ramsdenův dynametr.

Zvětšení zjistíme dělením průměru objektivu průměrem výstupní pupily. Můžeme tak učiniti zkusmo odhadem, ale k přesnému měření slouží *dynametr Ramsdenův*. Jest to v podstatě lupa, v jejíž ohniskové rovině jest upevněna destička skleněná, opatřená dělením po 0,1 mm. K zvýšení přesnosti jest před oko do ohniska lupy dána malá clona (obr. 131.). Zaostríme nejprve dělení, načež dynametr přiložíme k okuláru a posouváme, až světlý kroužek jest současně se stupnicí ostře viditelný. Rovina výstupní pupily leží nyní v rovině dělení a my můžeme průměr výstupní pupily poho-

dlně odečísti. Místo dynametru bývá také užíván slabý mikroskop s okulárovým mikrometrem. Zaostríme jím na výstupní pupilu tak jako jiný objekt, jehož velikost máme okulárovým mikrometrem změřiti.

V zájmu kvality obrazu je někdy za objektivem clona, takže účinný průměr objektivu jest ve skutečnosti mnohem menší, než opravdový. Abychom následkem toho nedostali nesprávné výsledky, upevníme na objektiv clonu o známé velikosti, pro kontrolu třeba čtverhrannou, a změříme dynametrem průměr vzniklé umělé výstupní pupily. Možno též užiti milimetrového měřítka, nejlépe na skle naneseného, na jehož obraze ve výstupní pupile zjistíme dynametrem, případně každou jinou lupou, skutečný účinný průměr objektivu a z poměru dělení měřítka k dělení dynametru skutečné zvětšení. Na př. 12 mm skleněného měřítka se kryje s 2,2 mm měřítka dynametru. Zvětšení jest tedy $5,45\times$. Při tom mohl být průměr objektivu 28 mm a průměr výstupní pupily 4 mm, takže užitečný průměr objektivu byl pouze $4 \times 5,45 = 21,8$ mm.



Obr. 132. Měření zvětšení dalekohledu fotografickým přístrojem.

Pro některá měření použijeme theodolitu, jímž změříme úhlovou velikost nějakého výhodného, vzdáleného cíle. Potom upevníme pevně před theodolit měřený dalekohled a změříme též cíl skrze dalekohled. Poměr obou úhlů určuje zvětšení.

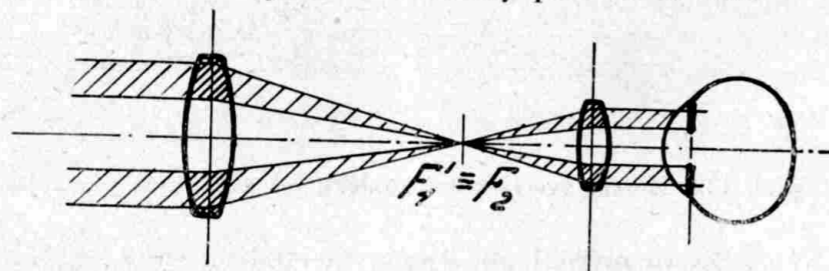
Dobře se také osvědčí metoda, při které dáme paprskům vycházejícím z dalekohledu vstoupiti do fotografického aparátu. Změříme na matnici v milimetrech vzdálenost dvou markantních bodů, načež učiníme totéž s předsunutým dalekohledem. Poměr obou délek jest zvětšením dalekohledu. Na obr. 132. jest patno,

že předsunutím dalekohledu, kde jest $f_1 = 2f_2$ — tedy zvětšení dvojnásobné — zvětší se ve fotografickém přístroji zobrazená úsečka J z velikosti J_1 dvojnásob na délku J_2 .

Odborník pozná zvětšení i tak, že se dívá jedním okem přímo, druhým skrze dalekohled a oba obrazy porovná.

Světelnost dalekohledu.

Žádným optickým přístrojem nemůže se teoreticky rozlehlý předmět jevití světleji než prostým okem. Někteří, hlavně myslivci, jsou přesvědčeni, že nočním dalekohledem vidí jasněji. Jest to do jisté míry oprávněno fyziologicky snad tím, že zabránujeme dalekohledem rušivým postranním paprskům vstoupiti do oka. Jiný výklad by se mohl opřít o výhodnost velké výstupní pupily pro oko volně se v ní pohybující. I jiná vysvětlení bylo by lze nalézt, avšak ve skutečnosti jest úvodní poučka této kapitoly směrodatnou. Aby oko nevidělo dalekohledem tmavěji, musí být průměr výstupní pupily $2h'$ týž, jako průměr pupily oka. Bylo by zbytečné, aby byl větší, ale nemá být nikdy menší. Oko, když jeho pupila je menší než pupila výstupní, použije z celého průměru objektivu jen tu část, jejíž průměr rovná se průměru pupily oka, násobenému zvětšením. Zbývající část objektivu a ostatních optických členů stává se zcela zbytečnou, jsouc na obtíž rozměry, vahou i cenou. Na obr. 133. jest tento případ znázorněn. Čárkovaná část objektivu jest přebytečnou. Protože světelnost jest vedle zvětšení důležitou charakteristikou, jsou dalekohledy označovány jednak zvětšením, jednak průměrem objektivu. Na př. hranolový dalekohled 6×30 zvětšuje $6 \times$ a jeho objektiv má účinný průměr 30 mm.



Obr. 133. Zbytečně veliký objektiv pro oko s malou pupilou.

Množství světla je určeno plochou výstupní pupily. Považujeme proto za jednotku světelnosti dalekohledu výstupní pupilu o ploše odpovídající průměru 1 mm. Výstupní pupilu každého jiného dalekohledu srovnáme s plochou výstupní pupily dalekohledu zá-

kladního. Světelnost bude se tudíž vždy rovnati čtverci průměru výstupní pupily. Dalekohled 6×30 bude podle toho míti světelnost $5^2 = 25$, neboť:

$$\pi r_1^2 : \pi r_2^2 = 1^2 : 5^2.$$

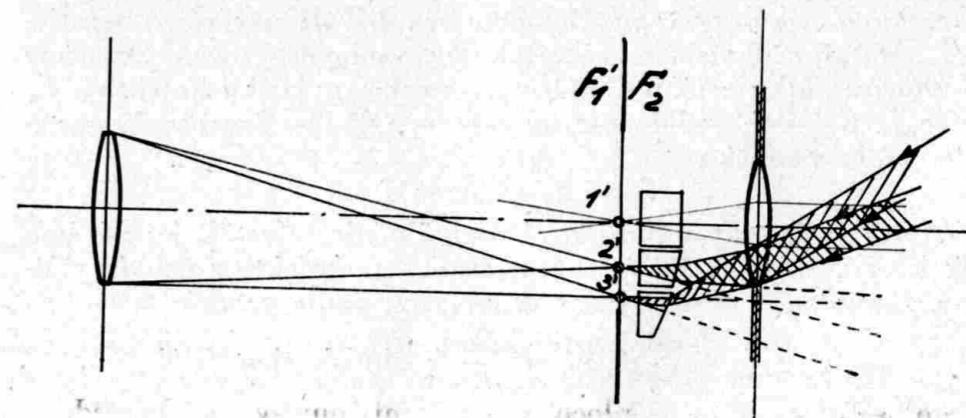
Při užívání nočního dalekohledu dlužno kromě úvahy na počátku této stati ještě konstatovati, že následkem odrazu a pohlcování v optických systémech dalekohledu vzniknou ztráty asi 25% až 50%. Optickou konstrukcí bývá také tolerováno ubývání světelnosti směrem k okraji obrazu, které však nemá oko rušiti. Při monokulárním používání nočního dalekohledu jest dbáti řádného zastínění druhého oka, neboť jestliže toto jest obtěžováno cizím světlem, stahuje se souhlasně s jeho pupilou i pupila oka pozorujícího dalekohledem.

Pupila staršího člověka nedosáhne nikdy průměru, jakého vyžadují noční dalekohledy. Používal by tedy tento pozorovatel nočního dalekohledu zcela zbytečně, naopak, byl by obtěžován značnou vahou přístroje, při čemž by obraz byl následkem větších absorbcí ještě tmavší.

Tento rozbor nevztahuje se na dalekohledy určené pro astronomii, o kterých bude pojednáno zvláště.

Zorné pole a okulár.

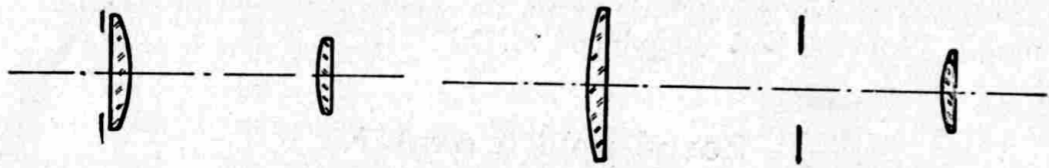
Objektivem zobrazme tři body; jeden jest na optické ose, druhý a třetí jsou od ní vzdáleny (obr. 134.). Z bodu $1'$, ležícího na optické ose, dospějí do okuláru všechny paprsky. Budeme jej proto viděti zcela jasně. Z bodu $2'$ však vstoupí do okuláru jen část světla, ostatek přijde na zmar. Bod 2 se tedy bude jevití tmavší. Z bodu $3'$ nedostane se do okuláru vůbec žádné světlo, následkem



Obr. 134. Princip kolektivu.

čehož bod 3 vůbec nevidíme. Abychom bod 2 viděli světleji a bod 3 abychom viděli vůbec, bylo by nutno změnit směr světelných kuželů, vycházejících z bodů 2' a 3'. V kapitole o hranolech bylo odvozeno, jak skleněný klín láme světlo směrem k základně. Vložíme proto do bodu 3' klín o takovém úhlu lámavém, aby všechny paprsky byly zlomeny do okuláru. Tak učiníme se všemi body. Samozřejmě, že čím blíže budeme u optického středu, tím bude úhel klínu menší. Obalová plocha všech těchto nekonečně malých plošek klínů vytvoří plochu kulovou. Jako výsledek obdrželi jsme tedy plankonvexní čočku, která shromažďuje ztrácející se světlo. Nazýváme ji proto *kolektivem*. Kolektiv nepřispívá žádnou měrou ku zvětšení obrazu; jeho vyjmutím se na zvětšení nic nezmění, jen část obrazu nebude viditelná. Čočky, vlastní zvětšení okuláru způsobující, říkáme *oční čočka* nebo krátce *očnice*, protože leží těsně u oka.

Kolektiv vkládáme buď před nebo za společnou ohniskovou rovinu okuláru a objektivu. Kdybychom jej totiž dali přímo do obrazu, pak by každá nečistota na kolektiv, chyba v broušení nebo kaz v materiálu při pozorování rušivě působily. *Okulár Ramsdenův*



Obr. 135. Okulár Ramsdenův.

Obr. 136. Okulár Huyghensův.

(obr. 135.) má kolektiv za ohniskovou rovinou, u *okuláru Huyghensova* jest ohnisková rovina uvnitř okuláru (obr. 136.). Okuláru Ramsdenova a jiných od něho odvozených užívá se většinou u dalekohledů, kdežto Huyghensova u hvězdářských dalekohledů a mikroskopů. Okuláry typu Huyghensova bývají nazývány negativními, ostatní, s ohniskem mimo okulár, jsou pozitivními. Označme ohniskovou vzdálenost celého okuláru f , ohniskovou vzdálenost kolektivu f_k , očnice f_o a jejich vzdálenost od sebe e . Okulár Ramsdenův sestavíme podle vzorečku

$$f_k = f_o = e = f$$

Kolektiv je tedy v ohniskové rovině očnice. Častěji jej dáváme blíže k oku, aby, jak již řečeno, nečistoty na kolektiv nebyly viditelné. Ramsdenův okulár jest pak sestaven podle vztahů:

$$f_k = f_o = \frac{3}{4}f; e = \frac{2}{3}f; \text{ohnisko jest } f_k/4$$

před kolektivem.

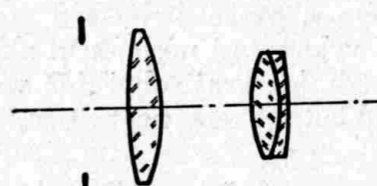
Pro okulár Huyghensův platí podobně:

$$f_k = 2f, f_o = \frac{2}{3}f, e = \frac{3}{4}f,$$

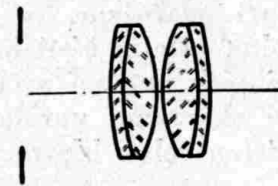
anebo

$$f_k = \frac{3}{2}f, e = \frac{f}{2}, f_o = \frac{3}{4}f.$$

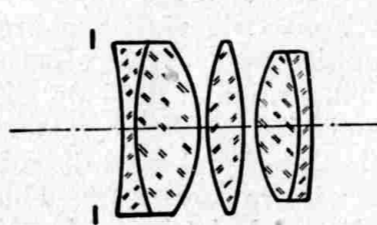
Tyto základní typy jsou v zájmu zvýšení výkonnosti různým způsobem doplňovány. Proto jest ku příkladu očnice okuláru Kellnerova achromatická. (Obr. 137.). Tímto okulárem je možno dosáhnouti asi 48° přehlédnutelného zorného pole. Okulárů s obdobným výkonem jest celá řada. Orthoskopický symetrický okulár na obr. 138. má ohnisko dosti od plochy okuláru vzdálené a proto se jej používá často u záměrných dalekohledů.



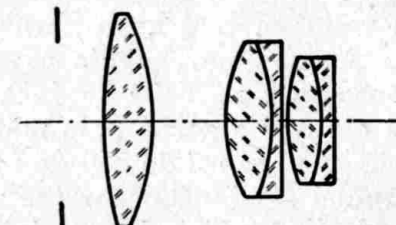
Obr. 137. Okulár Kellnerův.



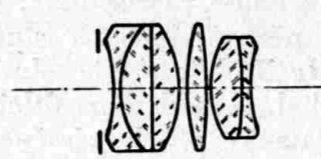
Obr. 138. Orthoskopický okulár.



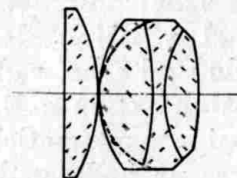
Obr. 139. Širokoúhlý okulár.



Obr. 140. Širokoúhlý okulár.



Obr. 141. Širokoúhlý okulár.



Obr. 142. Širokoúhlý okulár s asférickou plochou.

Pro přehlédnutí většího zorného pole byly zkonstruovány tak zvané *okuláry širokoúhlé*, jichž zorné pole dosahuje asi 65 stupňů. (Obr. 139., obr. 140. a obr. 141.) Vypočetl je po prvé Erfle. Ovšem,

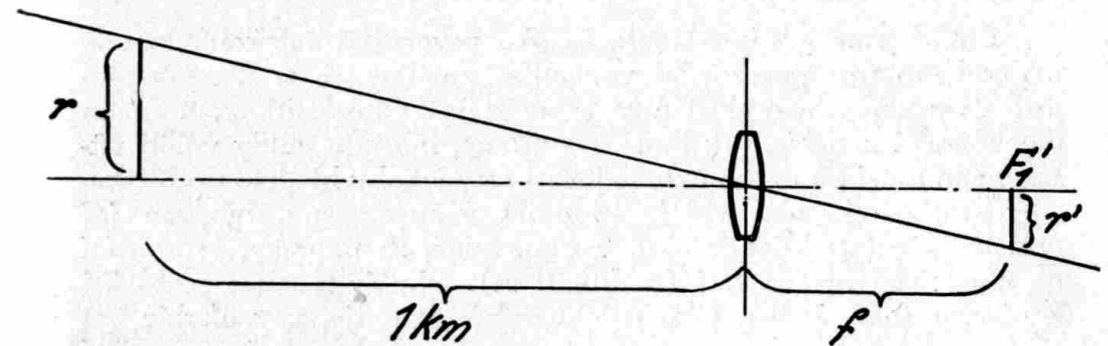
že i u těchto okulárů známe více typů než je vyobrazeno. Z nich dlužno upozorniti na širokoúhlý okulár s použitou asférickou plochou. Jest vlastně podobný okuláru Kellnerovu, avšak plocha očníce, odvrácená od oka, není sférická. (Obr. 142.)

Obraz, který okulár je schopen předložiti oku, ohraničujeme kruhovou clonou, kterou umístíme přesně do společné ohniskové roviny objektivu a okuláru. Říkáme jí *clona zorného pole*, nebo krátce *zorná clona*. Do této clony vkládáme také různé záměrné obrazce, jejichž tvar je určen účelem dalekohledu. Je-li rektifikace dalekohledu nesprávně provedena, pak často jest tento obrazec před nebo za ohniskem a při zamíření se vzhledem k cíli pohybuje podle okamžité polohy oka. Říkáme, že obraz má *paralaxu*. Je-li záměrný obrazec blíže u oka nežli obraz cíle, pak jest jeho pohyb protisměrný k pohybu oka. Je-li dále, pohybuje se souhlasně. Při rektifikaci uvažujeme ovšem při této zkoušce jen střed zorného pole, neboť ostatní části budou jistě vykazovati následkem zklenutí pole a jiných aberací určitou paralaxu, ku kraji obyčejně vzrůstající. Při zkoumání paralaxy dalekohledu okem neotáčíme, nýbrž pohybuje celou hlavou.

Zorné pole měříme ve stupních, případně pro přístroje vojenské v dílcích. Jeden *dílec* (*dc*) je úhel, pod kterým se jeví úsečka o délce 1 m ze vzdálenosti 1 km. Takových dílců matematických by se vešlo na celý kruh zhruba 6283. Toto číslo však pro praktickou potřebu nevyhovuje a proto stupnice vojenských přístrojů jsou rozděleny na 6400 *dc* (někdy i 6200, případně 6300 *dc*). Záměrné obrazce a zorné pole měříme a počítáme v dílcích matematických, které se asi do 250 *dc* s dílci dělostřeleckými shodují. Když na stupnici záměrného obrazce mají být nastavovány a měřeny hodnoty původně zjištěné stupnicí dílců dělostřeleckých (třeba elevační úhly) anebo tvoří dělení v záměrném obraze součást jiné stupnice, dělené v dílcích dělostřeleckých, pak se doporučuje ovšem nepočítati vzdálenosti jednotlivých rysek podle vzorce (49). Předepsaný úhel v dělostřeleckých dílcích přepočítáme na stupně a rysky budou od sebe vzdáleny $x = f_1 \operatorname{tg} E$, kde f_1 je ohnisková vzdálenost objektivu a E předepsaný úhel. Rozdíl mezi dílci dělostřeleckými a matematickými jest nepatrný: jejich záměnou dopouštíme se na padesát dílců zhruba 1 dílec chyby (dílece dělostřelecké jsou menší). Dalekohled 6×30 má zorné pole $8^\circ 40'$, což činí na 1.000 m kruh o průměru 150 m — říkáme, že zorné pole tohoto dalekohledu je 150 *dc*. Jeden stupeň jest 17,7 dělostřeleckých dílců. Naopak opět jeden dílec rovná se $3'22,5''$. Někdy užívaný velký dílec (*Dc*) rovná se pěti malým dílcům. Vojenské přístroje jsou opatřeny stupnicemi pro zaměřování a měření cíle. Úhly v rovině vodorovné nazývají se stranové či odměrové, v rovině svislé polo-

hové, náměrové či výškové. Stupnice opravová uděluje změnu záměrné ve straně nebo v poloze.

Zorné pole hotového dalekohledu změříme tím způsobem, že si z našeho stanoviště zjistíme theodolitem nebo pod. přístrojem úhlovou odlehlost dvou markantních vzdálených bodů, jejichž obrazy může zorné pole dalekohledu ještě pojmouti. Můžeme také měřiti zorné pole přibližně prostým srovnáním, se známým již dalekohledem. Případně umístíme do větší vzdálenosti lať, opatřenou vhodným dělením. K pohodlnému a rychlému měření slouží kolimátor, pozůstávající z přesně vypočítané testové desky a objektivu, který tuto desku zobrazí do nekonečna. Objektiv kolimátoru musí býti však řádně korigován zvláště na zkreslení, abychom se nedopouštěli chyby.



Obr. 143. Výpočet zorného pole.

Můžeme použití při měření zorného pole opět fotografického přístroje. Upevníme před fotoaparát dalekohled, nejlépe objektivem přivrácený k objektivu na nekonečno zastavené komory. Na matnici se objeví ostrý obraz zorné clony a předmět, na který jsme zacílili. Zjistíme dva diametrálně ležící body na obvodu zorné clony. Pak odstraníme dalekohled a najdeme tytéž obrazy na matnici. Je-li jejich vzdálenost na př. 20 mm a ohnisková vzdálenost fotografického objektivu 105 mm, pak platí podle obr. 143.:

$$x : 1 \text{ km} = 0,02 : 0,105$$

$$x = \frac{1000 : 0,02}{0,105}$$

$$x = 190 \text{ dc.}$$

Je-li naším úkolem určit velikost clony, případně záměrného obrazce, pak postupujeme následovně, podle obr. 143.:

zorné pole nebo záměrný obrazec má míti velikost r dílců.

Z trojúhelníků platí

$$r : 1 \text{ km} = r' : f$$

$$r' = \frac{rf}{1000} \dots \text{(v milimetrech)} \dots (49)$$

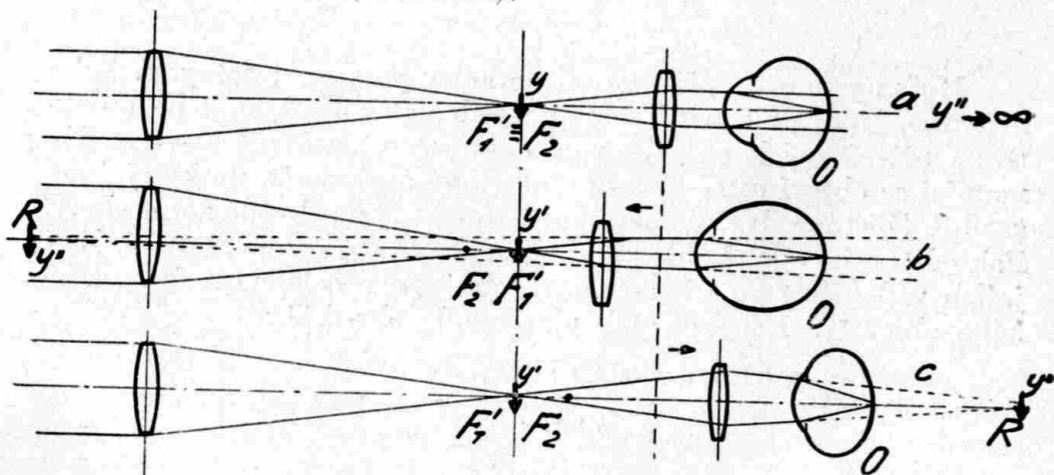
Budiž ku př. $r = 150 \text{ m}$, t. j. zorné pole 150 dc , $f = 0,3 \text{ m}$

$$r = \frac{150 \cdot 0,3}{1000}$$

Průměr clony bude tedy 45 mm .

Zaostřování dalekohledu.

Dosud jsme předpokládali, že oko pozorující dalekohledem je uzpůsobeno pro pozorování ve veliké vzdálenosti, t. j. neakomoduje (viz kapitolu o oku) a že je normální. Oko krátkozraké nebo dalekozraké nemůže, jak bude vysvětleno, buď do dálky viděti vůbec nebo musí na dálku akomodovati tak, jakoby hledělo do blízka. Aby krátkozraké oko vidělo předmět v nekonečnu, musíme jej opticky přenést blíže k oku. To znamená, že paprsky, vstupující do oka, musí divergovati (rozbíhati se). Okulár musíme přiblížiti k obrazu (obr. 144b). Oko dalekozraké vyžaduje, aby okulár byl oddálen tak, aby obraz místo v nekonečnu byl vytvořen v určité vzdálenosti za okem (obr. 144c).



Obr. 144. Zaostřování dalekohledu :

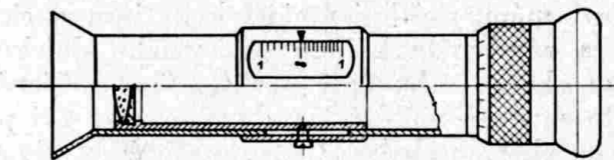
- a) oko normální;
- b) oko krátkozraké - okulár zasunutý;
- c) oko dalekozraké - okulár vysunutý.

Podle zobrazovacích zákonů jest předmět, ležící mezi spojkou a jejím ohniskem, zobrazen virtuálně před spojkou (případ 144b). Předmět před ohniskem vytvoří reálný obraz za spojkou (případ 144c). Bod R , do kterého je nutno předmět zobraziti, nazývá se »dalekým bodem« (punctum remotum) krátko- nebo dalekozrakého oka. Vzdálenost RO , resp. její převrtná hodnota v metrech jest stupněm krátkozrakosti, případně dalekozrakosti oka. Pro oko dalekozraké jednu dioptrii musíme objektivem daný obraz promítnouti okulárem do vzdálenosti jednoho metru za oko (viz kapitolu o oku). V Newtonově vzorci: $xx' = -f^2$, dosadíme za x jeden metr, za f ohniskovou vzdálenost okuláru a zjistíme, oč nutno okulár vysunouti z ohniska pro pohyb příslušný obrazu jedné dioptrie.

$$\text{Na př. } f_2 = 20 \text{ m/m, } x' = \frac{0,02^2}{1}$$

$$x' = 0,4 \text{ mm.}$$

Jedné dioptrie odpovídá posun $0,4 \text{ mm}$. Při tomto vysunutí bude obraz okulárem promítnut 1 m od oka daleko. Okulár opatříme t. zv. dioptrickým kroužkem a zařízením, aby jím bylo lze pohybovati. U dobrých triedrů jest to vícepramenný závit (obr. 173.), u levnějších nebo u dalekohledů laboratorních použito jest Archimedova závitu (obr. 147.). Krátkozraký nebo dalekozraký pozorovatel je nucen při pohledu dalekohledem sejmouti své brýle, což dosti obtěžuje. Proto se doporučuje opatřiti okulár nižší pryžovou mušlí, aby bylo možno i s brýlemi dosáhnouti okem výstupní pupily. Týž případ nastane při pozorování s nasazenou plynovou maskou, která vyžaduje pryžové mušle, kterou lze kol stěžejky odklopiti anebo zasunutí směrem k objektivu. Je-li však pupila příliš blízko u okuláru, je i tak vyloučeno přehlédnutí celé zorné pole, není-li právě plynová maska opatřena speciálními zorníky.



Obr. 145. Pomocný dalekohled s dioptrickým dělením.

Okno stížené astigmatismem nemá zcela žádné možnosti dalekohled zaostřiti. Musí buď brýle na dálku nechat nasazené, anebo nasunouti na okulár brýlové sklo o malém průměru ve zvláštní objímce.

Dalekohled, zaostřený pro oko krátkozraké, zvětšuje trochu více, s okulárem vysunutým trochu méně. Rozdíly jsou však nepatrné.

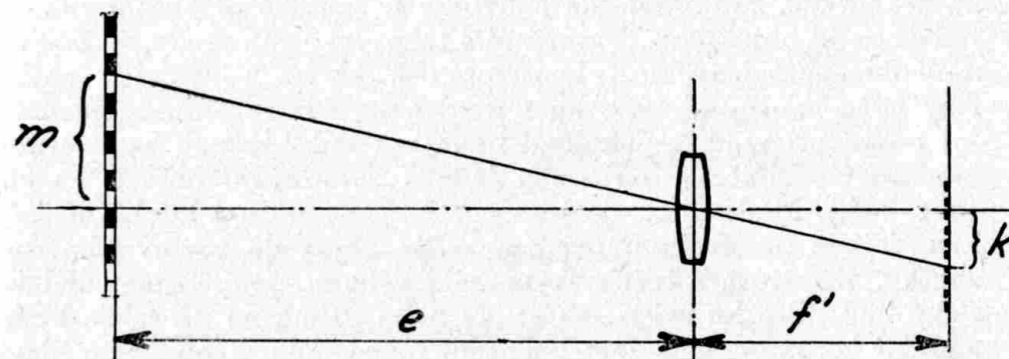
Oko při používání optického přístroje obvykle počne samovolně akomodovati, čímž se vlastně stává krátkozrakým. Proto jsou dalekohledy s nepohyblivým okulárem nastavovány pro oko čtvrt až jednu dioptrii krátkozraké. Někteří tvrdí, že je tak možno zvýšiti za šera rozlišovací schopnost oka.

Jak již řečeno, dalekohledem, zvláště binokulárním, musí oko pozorovati tak, jako by hledělo do nekonečna. Když však okulár jest zasunut k záměrné deštičce, pak obraz se nachází někde v konečné vzdálenosti před pozorovatelem. Ten pak je nucen přizpůsobiti oko na blízko (akomodovati). S akomodací jest sdružena i konvergence (sbíhání) očních os. Protože dalekohled jest však konstruován pro oční osy rovnoběžné, oči, aby nenastalo zdvojení obrazu, přemáhají do určité míry nucení ke konvergenci a násilím se staví rovnoběžně. Brzy nastává únava a pozorování jest nemožné, protože se obraz zdvojí.

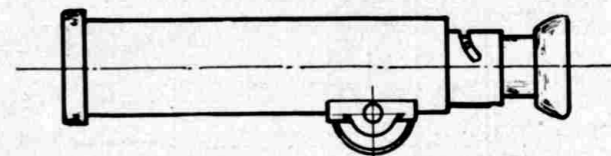
Abychom se vyvarovali pozorování spojeného s akomodací, musíme vždy při zaostřování obrazu vytočiti okulár co nejvíce ven a pak zvolna zasunovati; v okamžiku, kdy cíl, resp. záměrný obrazec spatříme ostrý, přišli jsme právě ohniskem okuláru do roviny obrazu. V této poloze jest dalekohled nastaven správně. To platí pouze pro oko emmetropické (normální). Oči emmetropické zaostří obraz, jak již odvozeno v jiném místě, v okamžiku, kdy obraz jest promítnut do bodu R . Takovým způsobem musíme si počínati vždy při rektifikaci nebo posuzování jakéhokoliv optického přístroje. K zamezení akomodace používáme velice často pomocného dalekohledu. Musí být přesně nastaven na nekonečno. Přiložíme jej ke zkoumanému přístroji a když paprsky vycházející nejsou spolu rovnoběžné, pak obraz nevidíme ostře. Při zcela nepatrné neostrosti máme ještě jemnější kritérium a sice paralaxu mezi obrazem a záměrným křížem pomocného dalekohledu. Teprve když jsme okulár nebo jiný optický člen měřeného dalekohledu uvedli do správné polohy, paralaxa, patrná při pohybu hlavy, zmizí. Zhusta chceme chybu přístroje zjistiti v dioptriích nebo zkusmo zhotoviti dioptrickou stupnici, či ji překontrolovati; k tomu účelu použijeme *pomocného dalekohledu*, jehož objektiv jest posuvný (obr. 145.). Tubus objektivu opatříme dioptrickou stupnicí, vypočítanou podle Newtonova vzorce.

Toto dioptrické dělení jest značně delší než u okuláru, takže můžeme zjistiti velmi malé chyby v justáži a v přesném nastavení. U dioptrických kruhů normálních okulárů jest tolerována chyba 0,25 dptr. u nuly a 0,5 dptr. u pátého dílku.

Pomocného dalekohledu používáme také při odstraňování paralaxy. Nastavíme nejprve správně okulár měřeného dalekohledu na jeho záměrný obrazec a pak posouváme objektivem nebo jinou částí justovaného dalekohledu, až vidíme vzdálený cíl (nebo značku v kolimátoru) současně se záměrným obrazcem, ostře a bez paralaxy. I pro posuzování kvality obrazu použijeme pomocného dalekohledu. Mívá obvykle čtyřnásobné zvětšení; ve spojení se zkoušeným dalekohledem se obě zvětšení znásobí, na příklad dostaneme s dalekohledem $6\times$, zvětšení $24\times$.



Obr. 146. Konstanta měřicího přístroje.



Obr. 147. Zaostřování záměrného obrazce.

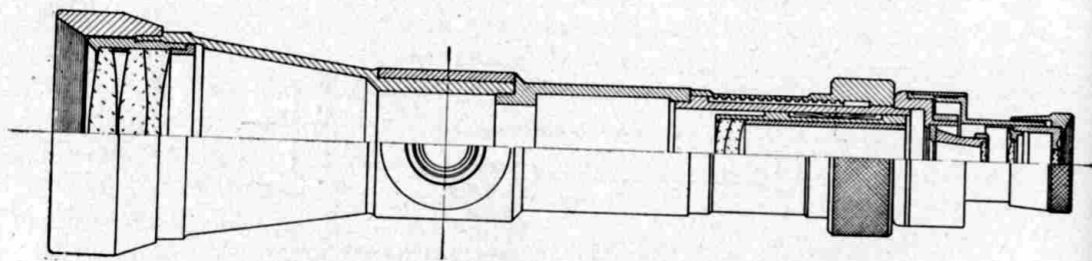
Konstrukce nepoužívanějších dalekohledů.

Dalekohled, na kterém byly vysvětleny základní charakteristiky, dává obraz převrácený. Pro některé úkoly nepůsobí převrácení rušivě, na příklad v astronomii a v zeměměřičtví.

Geodetické stroje jsou opatřeny záměrnou značkou tvaru dvou rysek, jichž vzdálenost rovná se přesně setině ohniskové vzdálenosti objektivu. Zeměměřič zamíří na lať, patřičným dělením opatřenou. Podle obr. 146. platí vztah; $k : f = m : e = 1 : 100$

$$e = 100 \cdot m.$$

Úsek latě, čtený mezi ryskami konstanty, násobí se stem, čímž jest zjištěna vzdálenost latě od stroje. Jako výchozí bod měření jest vzat střed (svislá otočná osa) stroje, který však se neztotožňuje se středem perspektivy záměrných paprsků; tento, t. zv. analaktický bod, leží mimo přístroj směrem k cíli. Nutno tedy k výsledku měření přičísti ještě určitou stálou hodnotu, zvanou *addiční konstanta*. Jest to právě vzdálenost analaktického bodu od svislé osy stroje. Geodetické stroje zaostrujeme na vzdálenosti od nekonečna až do 2 m. Obraz latě bude v ohniskové rovině pouze při zastavení na nekonečno. Pro bližší cíle pohybuje se směrem přiblížení cíle — vzdálí se od objektivu. Při měření s takovým strojem dopustíme se následkem paralaxy mezi konstantou a obrazem velikých chyb. Aby byl záměrný obrazec opět uveden do roviny obrazu, musíme jej posunouti vzad. Dalekohled bude mít tedy jednak zaostrování okuláru na záměrný obrazec a jednak zaostrování obrazu na cíl (obr. 147.). Moderní stroje jsou opatřeny pomocnou konkávní čočkou, jejímž posouváním uvedeme vždy obraz do roviny záměrné značky. Zaostrovací čočka skýtá dále výhodu, že přesune analaktický bod blíže ku svislé ose stroje nebo přímo na ni, takže bude addiční konstanta zanedbatelná nebo rovna nule. Kromě této hlavní přesnosti se délka přístroje dosti zkrátí a není nebezpečí vniknutí nečistoty do přístroje.

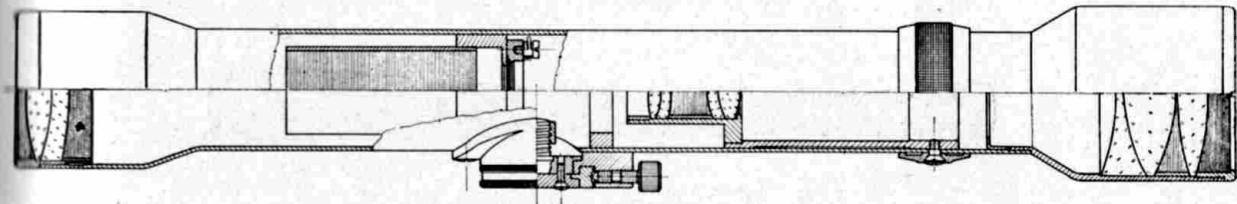


Obr. 148. Řez dalekohledem teodolitu s vnitřním fokusováním.

Teodolit s třicetinásobným zvětšením (obr. 148.) jest opatřen okulárem o ohniskové vzdálenosti osmi milimetrů. Ohnisková vzdálenost objektivu by tedy měla být dvěstěčtyřicet milimetrů a tedy celý přístroj by měl délku asi 255 milimetrů. Zaostrovací čočkou o ohniskové vzdálenosti — 184 mm vysunou se hlavní roviny o tolik z přístroje, že jeho délka se zkrátí na 212 mm. Na obr. 148. vidíme, že konstrukce objektivu jest složitější, neboť jest při třicetinásobném zvětšení dosti přetížen. Zaostrovací čočka jest achromatická a meniskovitá, aby zlepšila aberace mimo osu. Analaktický bod je přesunut do bezprostřední blízkosti osy otáčení dalekohledu.

Dalekohled terrestrický.

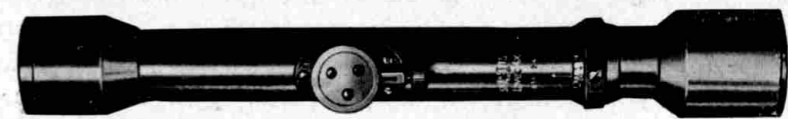
Brzy po objevení dalekohledu přišlo se na jednoduchý způsob, jak převrátiti obraz. Díváme-li se totiž na převrácený obraz v dalekohledu jiným dalekohledem, pak nám jej tento opět převrátí, takže vidíme obraz vzprímený. Takové dalekohledy našly velikého rozšíření, avšak dnes se jich užívá většinou jen jako dalekohledu loveckého. Řez dalekohledem loveckým o čtyřnásobném zvětšení jest na obr. 149.



Obr. 149. Řez loveckým dalekohledem čtyřnásobným.

Objektiv druhého dalekohledu a okulár prvního tvoří jeden organický celek a nazývá se převratným systémem. Jeho optická funkce jest poněkud jiná, neboť jest mu dáno za úkol převésti obraz objektivem vytvořený v okolí dvojnásobku jeho vzdálenosti ohniskové do ohniskové roviny okuláru. Průměr jest dosti malý, takže někdy je nutno do obrazové roviny objektivu vložit kolektiv, aby i paprsky více skloněné dospěly do okuláru.

Záměrný obrazec možno uložit do kterékoliv z obrazových rovin. Výhodné bude zvoliti ohniskovou rovinu objektivu, neboť v druhé obrazové rovině jest již obraz zhoršen aberacemi vzprímovacího systému. Někdy u přístrojů vojenských jest umístěna v jedné rovině obrazu záměrná značka pevná a v druhé pohyblivá, případně jsou obě pohyblivé, každá v jiné závislosti. Na lovecké dalekohledy jest kladen ještě požadavek ten, aby oko bylo dostatečně vzdáleno od poslední plochy okuláru (80—120 mm), protože zpětným nárazem zbraně mohlo by dojít ke zranění. Proto ohnisková délka okuláru bývá větší: 40 až 50 mm. Výstupní pupila je potom také vzdálenější. Obr. 150. a 151. znázorňuje dva nejoblíbenější dalekohledy: čtyřnásobný, se zorným polem 105 dc a světelností 60, a dvaapůlnásobný, se zorným polem 115 dc a světelností 52.



Obr. 150. Lovecký dalekohled 4 x.



Obr. 151. Lovecký dalekohled 2·5 x.



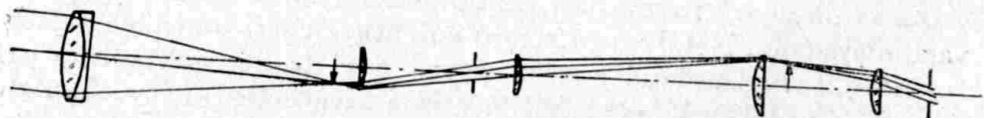
Obr. 152. Lovecký dalekohled 2·5 x s velkým zorným polem.



Obr. 153. Lovecký dalekohled 10 x.

Speciální širokoúhlý lovecký dalekohled se zorným polem 320 dc jest na obr. 152. Jen pro zvláštní lovecké účely bývá voleno zvětšení desetinásobné (obr. 153.).

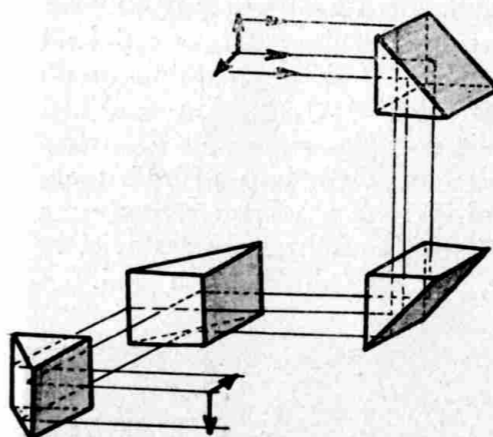
Původního tvaru terrestrického dalekohledu, opatřeného t. zv. terrestrickým okulárem, používá se již zřídka, zvláště proto, že takový okulár jest značně dlouhý. Měří téměř desetinásobek své ohniskové vzdálenosti. Z obr. 154. jest patrné, že jsou to vlastně dva jednoduché okuláry, z nichž jeden vrhá vzpřímený obraz do ohniskové roviny okuláru druhého. Tak jsou konstruovány dříve velmi užívané výsuvné dalekohledy.



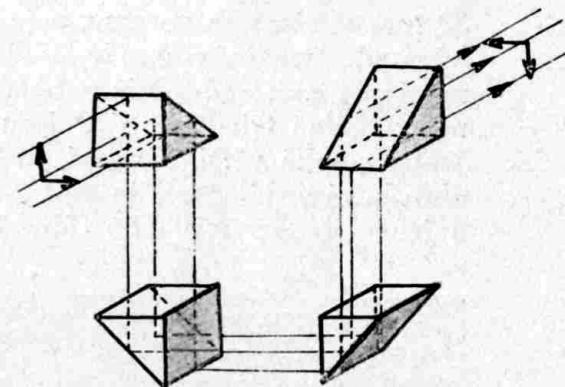
Obr. 154. Dalekohled opatřený terrestrickým okulárem.

Dalekohledy hranolové.

Převratný systém prodlužuje značně dalekohled, pročez se častěji používá ku vzpřímení obrazu zrcadel. Nelze však většinou použítí prostého zrcadla, nýbrž odrazů na plochách hranolů. Zrcadla se zadní stříbřenou plochou možno umístiti tam, kde paprsky probíhají rovnoběžně, t. j. před objektivem. Obě plochy musí však býti naprosto rovnoběžné, jinak se obraz zdvojí, protože paprsky se odrážejí na každé ploše jiným směrem. Taková zrcadla se skutečně používají, zvláště, když rozměry hranolů by příliš vadily.



Obr. 155. Prvý Porrov systém (rozdělený).



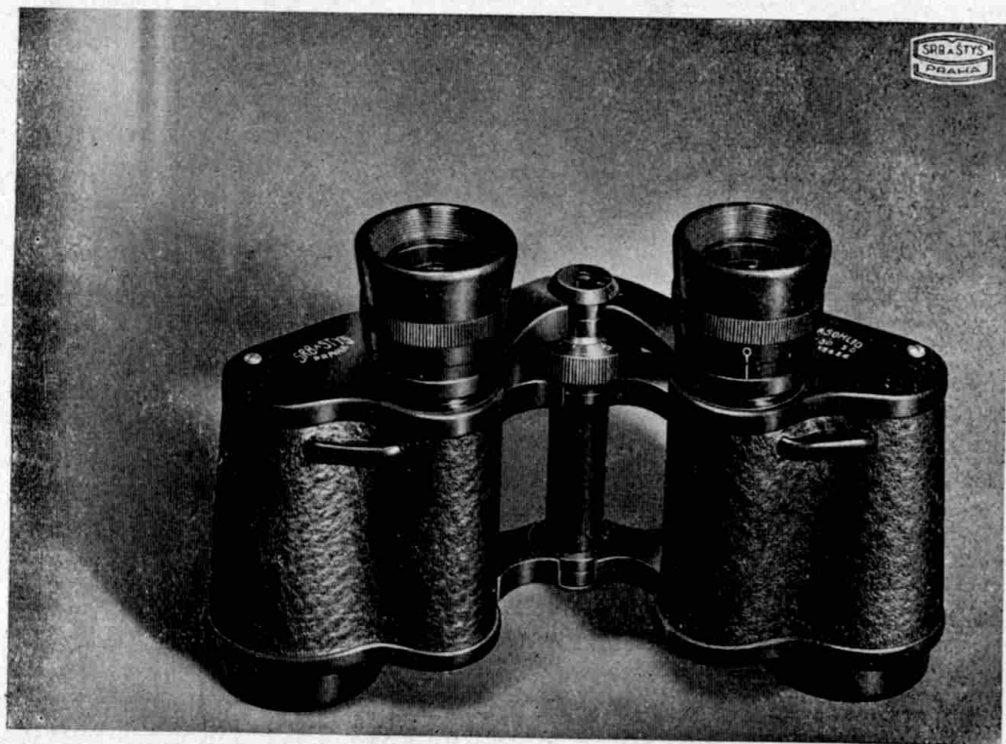
Obr. 156. Druhý Porrov systém (rozdělený).

Zrcadla vrchem stříbřená či jinak pokovená nebo kovová, nejsou u terrestrických dalekohledů používána nejen, že jsou velmi citlivá proti poškození a různým vlivům, ale poněvadž neskytají žádných výhod oproti hranolům. Skleněný hranol odráží paprsky buď úplným odrazem nebo — dopadají-li paprsky pod úhlem menším, takže nenastala totální reflexe — odrazem na stříbřené ploše. Děje se to zvláště u světelnějších dalekohledů, když materiál, ze kterého jsou hranoly vyrobeny, má příliš nízký index lomu. Neúplný odraz na plochách hranolu z nevhodného materiálu jeví se jako čtvercovitá vignetace výstupní pupily. Většinou postačí nahraditi hranol z korunového skla o indexu lomu 1,516 hranolem z baryt-kronu o $n_D = 1,569$. Hranolů flintových bývá používáno jen ve zcela speciálních případech.

V nejjednodušším případě vystačíme se dvěma odrazy: Jedním převrátíme obraz stranově, druhým výškově. Prvý a podnes nejvíce používaný systém hranolů objevil Ital Porro. Tento systém jest složen z dvojice pravoúhlých hranolů, které leží v rovinách k sobě kolmých. Postup převrácení obrazu jest z obr. 155. jasný. Na tomto obraze jsou hranoly pro názornost rozříznuty. Jejich skutečný tvar a uspořádání jest na obr. 29. a 30. kapitoly o hranolech. Stočením dílčích hranolů (na obr. 156.) dostal Porro systém ploch trochu odlišný, taktéž hojně užívaný. Skutečný tvar viz na obr. 30. kapitoly o hranolech.

Prvým Porrovým systémem jsou opatřeny téměř všechny hranolové dalekohledy. Nejužívanějším takovým dalekohledem jest polní kukátko 6×30 (obr. 157.); jest opatřeno Kellnerovými okuláry, které jsou schopny dostatečně ostře zobraziti zorné pole

150 dc — $8^{\circ}40'$. Použijeme-li pro tutéž skříň a objektiv o ohnisku 120 mm okulár o ohnisku patnácti mm, dostaneme triedr 8 krát 30 mm. Ovšem se zorným polem menším. U dobrých dalekohledů bývá zde používán okulár širokoúhlý (obr. 139.), kterým dosáhneme i při zvětšení osminásobném opět zorného pole 150 dc. Rozměry skříně triedru 8×40 jsou vzhledem k většímu průměru objektivu, také větší. Pomocí jiných objektivů o větším průměru a ohniskové vzdálenosti je možno z téže skříně a hranolů sestavit ty nejružnější typy: 10×50 (obr. 158.), 12×60 (obr. 159.) a jiné.

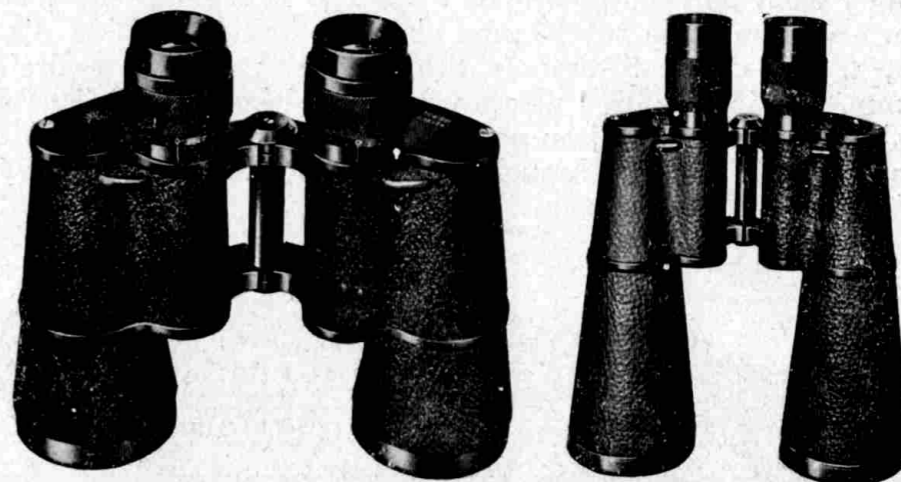


Obr. 157. Triedr 6×30 .

Typickým nočním dalekohledem jest 7×50 (obr. 160.) s výstupní pupilou 7.1 mm. Použito je skříně triedru 8×40 . Relativní otvor objektivu jest volen trochu větší u triedru 7×50 , než u jiných hranolových dalekohledů a sice, jest pro průměr 50 mm voleno ohnisko 183 mm, tedy relativní otvor $1 : 3,66$. Můžeme si to zde dovoliti, protože zvětšení i zorné pole jest poměrně dosti malé.

Druhý Porrovův systém jest oproti prvému výhodnější do té míry, že jej lze snadněji upevniti a že rozměry skříně utvářejí se výhodněji. Jako příklad jest na obr. 161. uveden noční dalekohled 8×60 a na obr. 162. vyhlídkový dalekohled 18×50 . Noční daleko-

hled 8×60 , jest vybaven širokoúhlým okulárem a speciálním uspořádáním barevných filtrů, které jsou uzavřeny v hranolové skříni. Jediným točítkem možno v obou polovinách dalekohledu současně nastavit jeden ze čtyř filtrů. Hranolové skříně jsou posuvné v rybnovitém vedení pomocí šroubu. Přístroj osmnáctinásobný jest upotřebitelný jen se stativem.



Obr. 158. Triedr 10×50 .

Ob. 159. Triedr 12×60 .



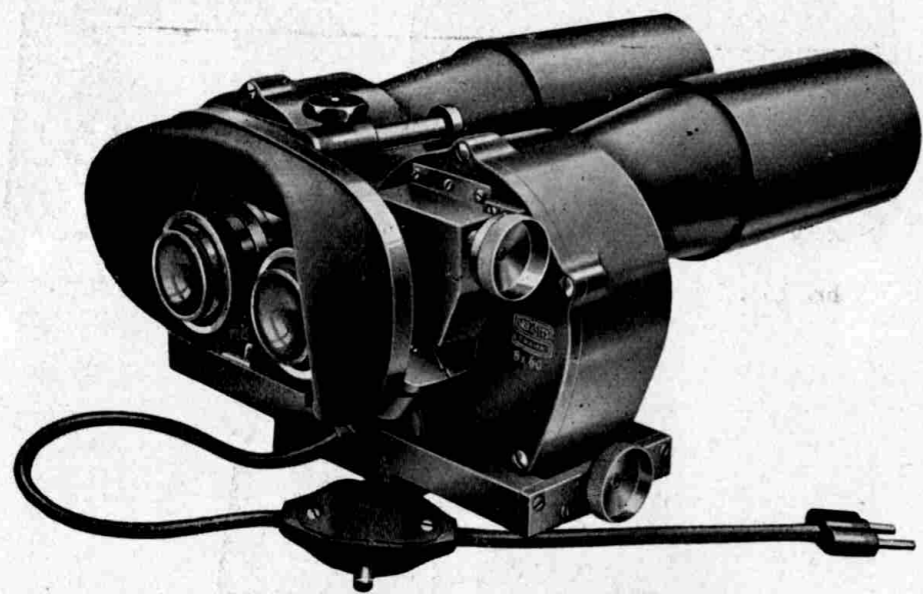
Obr. 160. Triedr 7×50 .

Z druhého Porrova systému jest odvozen hranol Schützův, vyznačující se menší drahou paprsků ve skle (obr. 163.).

Slabý obrys obrazu odpovídá normálnímu hranolu druhého

Porrova systému. Spodní odrazná plocha jest však posunuta tak, že tvoří tečnou rovinu světelného válce. Dvojice těchto hranolů ušetří oproti normálnímu Porrovu systému téměř 25% skla. Úsporu osvětlíme na příkladě: Noční dalekohled 7×50 má zorné pole 129 dc. Ohnisko objektivu jest 183 mm, podle vzorce $r' = \frac{rf}{1000}$,

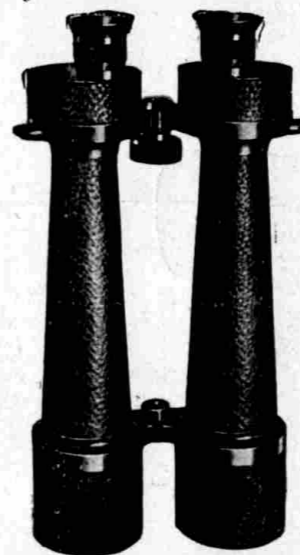
průměr clony zorného pole bude $r' = 23,6$ mm. Použijeme-li hranolu o vstupní ploše 26×26 mm, obdržíme dráhu ve skle 4×26 mm, t. j. 104 mm. S hranoly Schützovými vystačíme s drahou 86 mm. Jest jimi opatřen vysoce výkonný dalekohled 6,5×50 (obr. 164.). Porrovy hranoly jsou na přeponě opatřovány drážkou, která slouží jednak uložení hranolu, jednak k odstranění škodlivých reflexů.



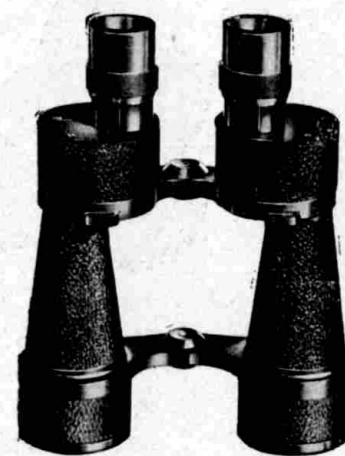
Obr. 161. Binokulární noční dalekohled 8 x 60.

Známého efektu úhlového zrcadla, dávajícího obraz zrcadlově nepřevrácený, jest použito u hranolu střechového. Úhlové zrcadlo je složeno ze dvou k sobě naprosto kolmých zrcadlicích ploch. Osoba vidí v něm své levé oko L po dvojitým odrazu skutečně vlevo L'' a pravé skutečně vpravo P''. Tedy sebe zří tak, jakoby se sama na sebe dívala (obr. 165.). Mysleme si tato zrcadla upevněna na odrazový hranol pravoúhlý. Paprsky, přicházející vpravo nahoře, vyjdou po dvojitým odrazu vlevo dole. Obraz jest ve straně i ve výšce převrácen (kapitola o hranolech). Tyto střechové hranoly jsou velmi zhusta používány zvláště tam, kde pravý úhel mezi osou objektivu a okuláru není na obtíž, ba spíše vítán — pro pohodlné po-

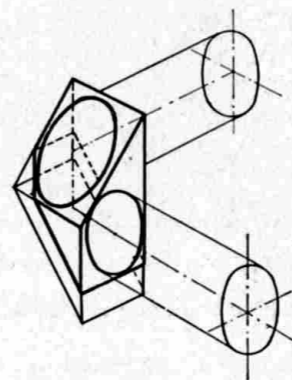
zorování cílů, pohybujících se v okolí zenitu. Příkladné provedení jest znázorněno na obr. 166. Jest to úhlový binokulární noční dalekohled 6,5×50, určený pro službu OPL. Střechového hranolu možno použití i pro pozorování přímohledné, dlužno však jej spojití s hranolem, který by nikterak polohu obrazu neovlivnil. Zde bývá používáno hranolu pentagonálního (obr. 167.) nebo jiné sestavy, přidávající ke hranolu střechovému ještě dvě zrcadlicí plochy.



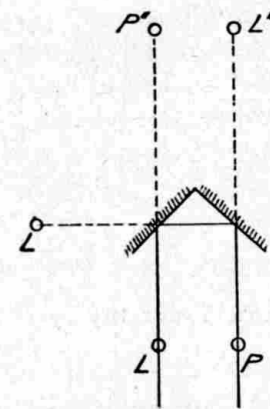
Obr. 162. Triedr 18 x 50.



Obr. 164. Noční dalekohled 6.5 x 50.



Obr. 163. Hranol Schützův.

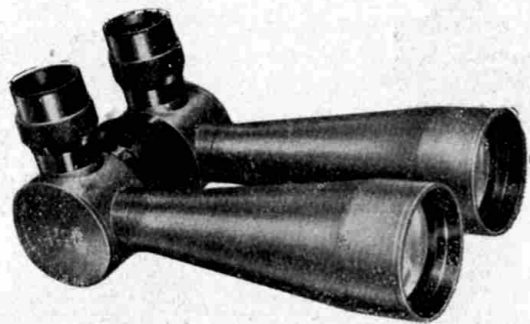


Obr. 165. Úhlové zrcadlo.

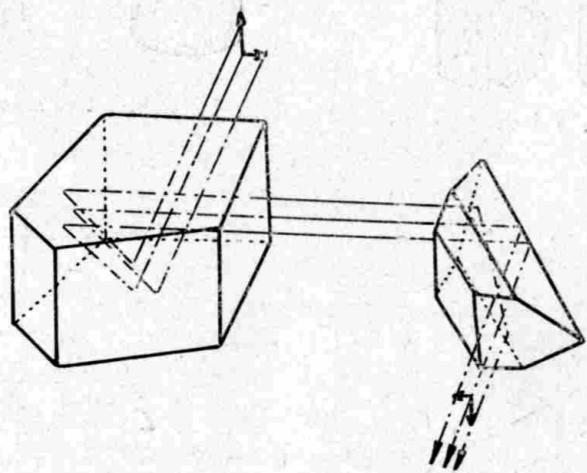
Z nich hranol Abbé-ův (obr. 168.) skýtá možnost položití osu objektivu v pokračování osy okuláru. Jest používán někdy i u měřících přístrojů, u nichž vyžadujeme vzpřímený obraz a malé roz-

měry. Vstupní plocha střežového hranolu slouží současně jako odrazová. Na obr. 168. jest tento systém použit v dalekohledu geodetického stroje firmy Kern-Aarau.

Hranolu Lemanova, který jest obecným případem těchto systémů, jest používáno tam, kde značnější výškový rozdíl mezi objektivem a okulárem je výhodný (obr. 169.). Skýtá ještě výhodu, že převrácení obstará jediný hranol. Na obr. 170. jest hranol podobný, velmi zajímavý, avšak bez převýšení objektivu.

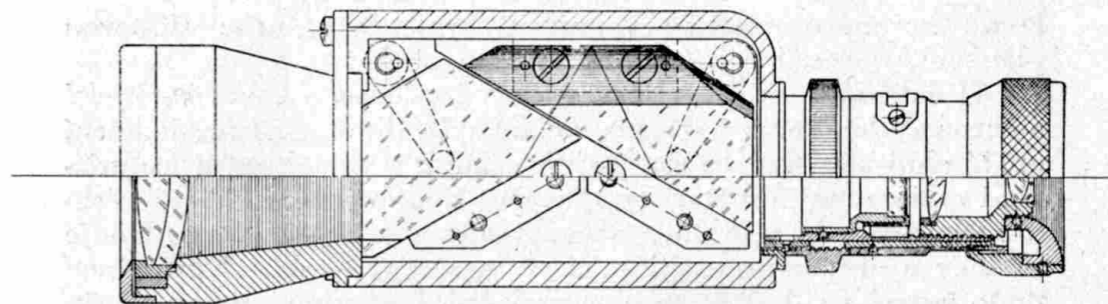


Obr. 166. Úhlový dalekohled pro pozorování letadel.

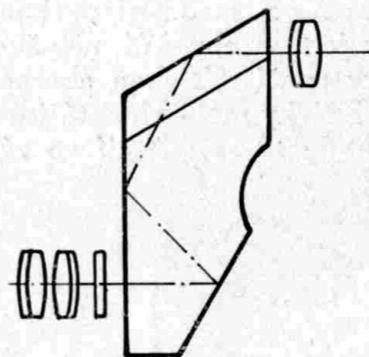


Obr. 167. Převratný systém hranolový, tvořený hranolem pentagonálním a střežovým.

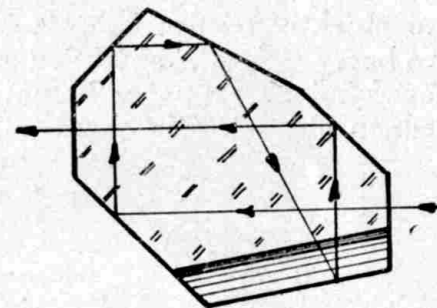
Úhel odrazu v hranolu střežovém můžeme ovšem voliti dle potřeby, od 90 stupňů do 135 stupňů i více. Tím dosti rozměry vzrůstají. Zvláštním případem jest hranol Schmidtův, u něhož vstupní a výstupní plochy fungují současně jako zrcadla. Osa okuláru svírá s osou objektivu úhel 135° . Sestava celého dalekohledu jest na obr. 171. Plochy střežy jsou stříbřeny, protože paprsky dopadají pod příliš malým úhlem.



Obr. 168. Hranol Abbé-ův v přímohledném dalekohledu geodetického stroje.



Obr. 169. Dalekohled s hranolem Lemanovým.



Obr. 170. Převratný systém, tvořený jediným hranolem.

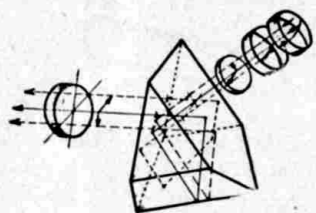
Změníme-li směr z tohoto dalekohledu vystupujících paprsků tak, aby byly se vstupujícími rovnoběžné, aniž bychom však polohu obrazu ovlivnili, jak jest tomu na obr. 172., obdržíme velmi elegantní systém, vyžadující málo místa. Při kombinaci hranolu střežového s pentagonálním můžeme střežku nabrousiti přímo na hranol pentagonální. (Hranol penta — střežový.) Tímto nejsou všechny možnosti ani zdaleka vyčerpány.

Ku konci této úvahy budiž ještě podrobně probrána jako příklad konstrukce obvyklého hranolového dalekohledu 6×30 (obr. 173.).

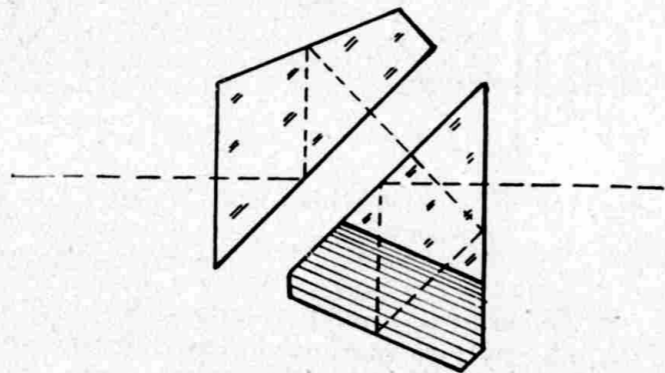
Objektiv jest achromatický, lepený. Kdyby bylo úkolem vypočítati takový objektiv od začátku, bez pomoci již stávajících pomůcek, bylo by postupováno následovně: Za předpokladu velmi tenkých čoček o malém průměru, byla by zjištěna zakřivení pro zvolený materiál. Sklon paprsků k ose jest předpokládán rovněž velmi malý. K podmínkám odstranění zobrazovacích vad, t. zv. Seidelovým sumám, přistupuje ještě další a sice, aby zakřivení převrácených ploch obou členů achromatu bylo totéž. Někdy lze do

konce korunovou čočkou vybrousiti symetricky, nebo flintovou plankonkavně, což skýtá značné výrobní přednosti.

U dalekohledového objektivu stačí uvažovati o aberaci sférické a chromatické, koma jest dána volbou skla. S požadavkem dodržení určité ohniskové vzdálenosti jest to několik rovnic, kterým lze určitými zakřiveními a materiály vyhověti. Bude výhodné již při těchto rozbořech vzíti v úvahu vrstvu skla hranolů, neboť tato ovlivňuje sféricky a chromaticky sbíhající se svazky paprsků. Když jsme tímto způsobem došli k určitým výsledkům, zjistíme nutnou tloušťku každé čočky, diktovanou jejím průměrem. Pak trigonometrickým počtem sledujeme několik procházejících, s osou rovnoběžných paprsků a variacemi některých poloměrů snažíme se dosíci optima. Výsledky můžeme graficky znázorniti, jak jest na obr. 174. učiněno pro objektiv triedru 18×50. Slabé křivky značí sférickou aberaci pro barvy C, D a F objektivu samotného. Křivky málo klenuté jsou sférickými aberacemi v hranolech. Obě hodnoty se sečítají ve výslednou aberaci. (Na obraze silně.)



Obr. 171. Dalekohled s hranolem Schmidtovým.

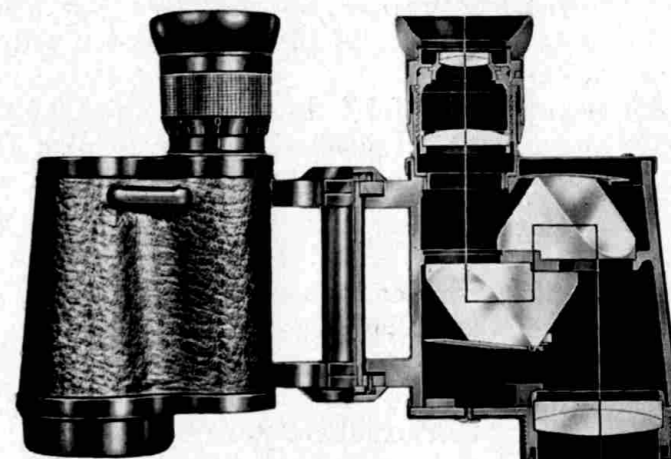


Obr. 172. Převratný systém přímohledný s hranolem Schmidtovým.

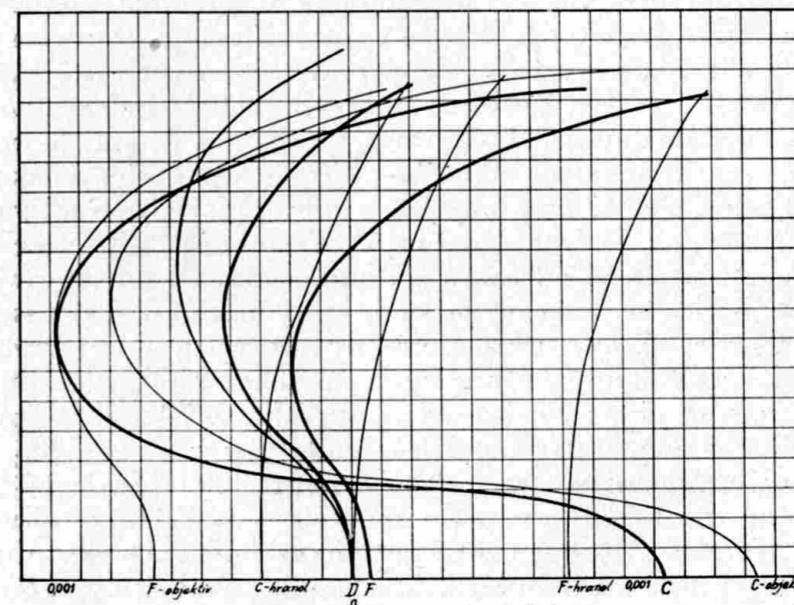
Objektivy, větší jak 60 mm, se nedoporučuje tmeliti, protože působením teploty vznikají nebezpečná napětí následkem nestejného roztahování čoček a kanadského balsámu. Z téhož důvodu se nelepí ani objektivy o průměru menším, jsou-li určeny pro zvlášť přesné přístroje (theodolity, dálkoměry), nýbrž mezi čočky na okraj se vkládají tři kovové plošky.

Ohnisková vzdálenost objektivu 6×30 jest 120 mm, z čehož vyplývá okulár o ohniskové vzdálenosti 20 mm. Použito jest okuláru Kellnerova. Triedr má zorné pole 150 dc, tedy průměr clony zorného pole bude $r' = \frac{r \cdot f}{1000} = 18$ mm. Je-li v této cloně zamontována záměrná deštička, pak 10. dílcům odpovídá vzdálenost 1,2 mm.

Šířka hranolu, který jest poměrně blízko clony, bude nejméně 18 mm. Vzhledem k fasetám bude šířka ve skutečnosti 20 mm. Rozměry druhého hranolu, přivráceného k objektivu, budou tytéž. Ztrácíme tím část paprsků, mířících ku kraji zorného pole. Úbytek světlosti není však tak značný, aby byl okem patrný.



Obr. 173. Řez triedrem 6 x 30.



Obr. 174. Sférická aberace barvy žluté, modré a červené v objektivu a hranolem triedru 18 x 50.

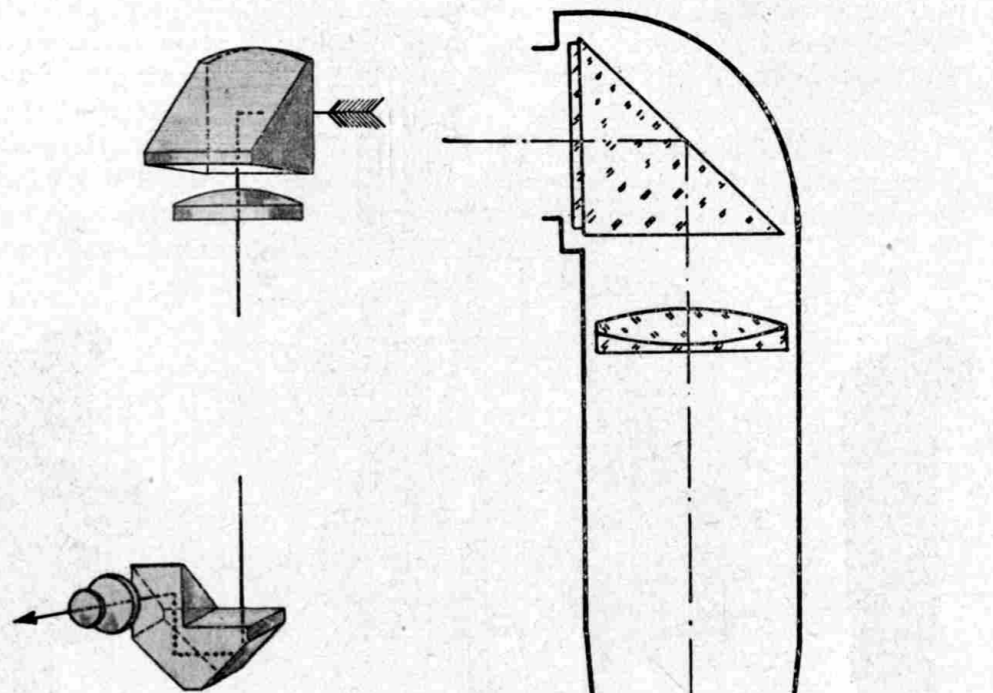
Hranoly jsou zhotoveny z materiálu o indexu lomu 1,569. Pochopitelně bude vzdálenost objektivu od zorné clony větší jak 120 milimetrů (měřeno na optické ose), neboť průchodem světla hranoly se dráha o více jak třetinu cesty v hranolech prodlouží. Pro toto sklo jest koeficient, kterým jest dráhu ve skle násobiti 0,364. Přepona hranolu 6×30 měří asi 45 mm, tedy celková dráha v obou hranolech jest 90 mm a prodloužení 33 mm. Vzdálenost ohniska od zadní plochy stovacetimilimetrového objektivu jest asi 116 mm. Rovina zorné clony bude od zadní plochy objektivu tedy 149 mm, měřeno po optické ose.

Posun okuláru, odpovídající 1 dptr., bude $x' = 0,4$ mm. Vzdálenost obrazového ohniska od poslední plochy očníce jest 8 mm. Výstupní pupila jest obrazem objektivu, vytvořeným okulárem; podle Newtonova vzorce $f^2 = x x'$, bude $x' = \frac{20^2}{12}$. Vzdálenost výstupní pupily od obrazového ohniska bude 3.3 mm, takže oko bude od poslední plochy okuláru asi 11 mm daleko.

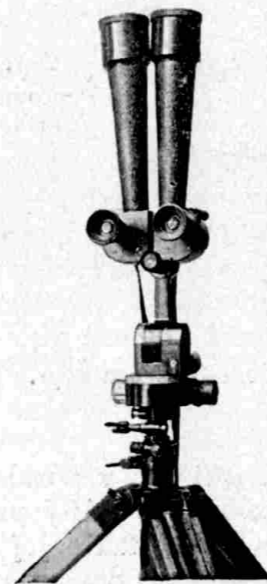
Periskopy.

U těchto přístrojů jest úmyslně volen velký odstup vstupní pupily od pupily výstupní (*periskopická výška*). Můžeme rozlišiti dvě veliké skupiny periskopů: periskopy s velkým zvětšením, které jsou konstruktivně vlastně dalekohledy v předešlé kapitole popsané, a vlastní periskopy. Tyto se vyznačují velikým zorným polem (až 75°) a následkem toho slabým zvětšením (nejčastěji $1.3 \times$). Periskopického efektu docílíme u kteréhokoliv předchozího dalekohledu, oddálením jedné odrazové plochy od ostatních hranolů. Obr. 175. jest schematem takového zařízení nůžkového dalekohledu 10×50 , jehož vnější tvar vyplývá z obr. 176. Konstruktivně jest zajímavým úhlový dalekohled 15×60 . Výstupní plocha střešového hranolu jest současně odrazovou. Protože paprsek nevystupuje kolmo, jest přičleněn pomocný hranol, který pochopitelně nesmí být nikterak přilepen, aby nastal potřebný odraz. Nutným požadavkem jest, aby oba hranoly byly z naprosto téhož materiálu, jinak by barevné chyby obraz značně zhoršily (obr. 177.). Skutečný tvar patnáctinásobného úhlového dalekohledu jest na obr. 178.

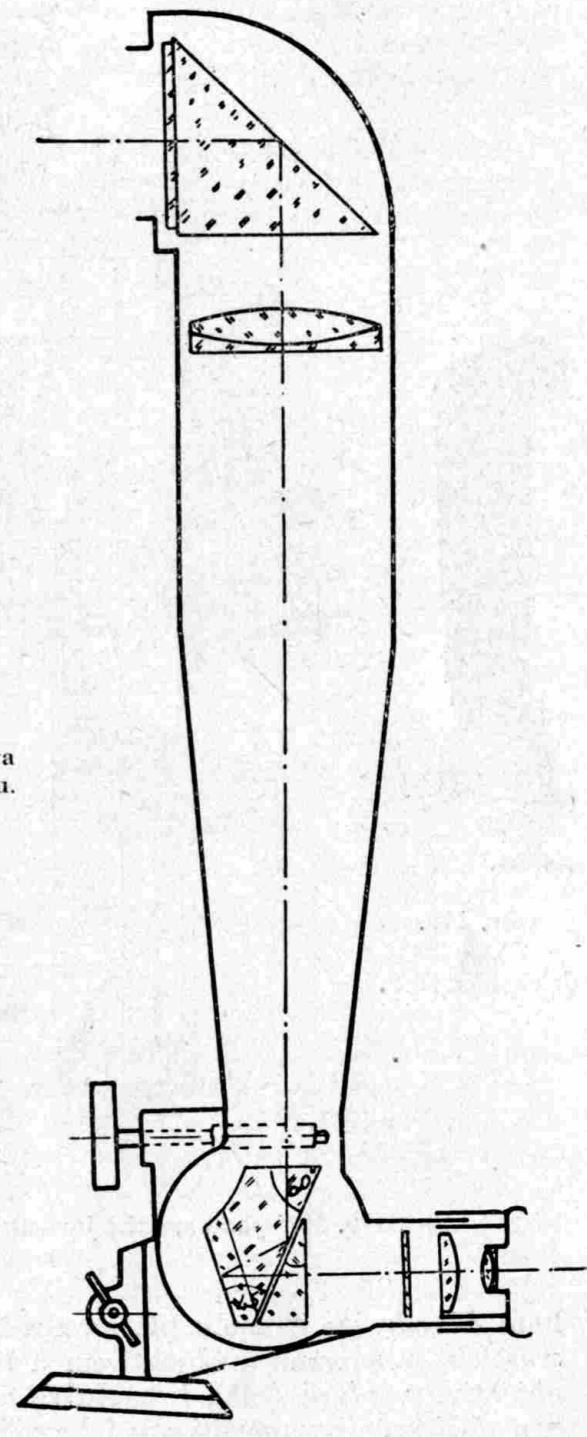
U dalekohledu panoramatického (obr. 180.) hlavicevý hranol jest otočný kol svislé osy, takže můžeme přehlédnouti obzor kol dokola. Na obr. 179. jest příčný řez tímto dalekohledem. Aby bylo vyrovnáno převalování obrazu, které nastává otáčením hlavového hranolu, jest do chodu paprsků zařazen Wollastonův hranol. Paprsky se u tohoto hranolu na vstupní a výstupní ploše lámou. Z to-



Obr. 175. Použití druhého Porrova systému v nůžkovém dalekohledu.



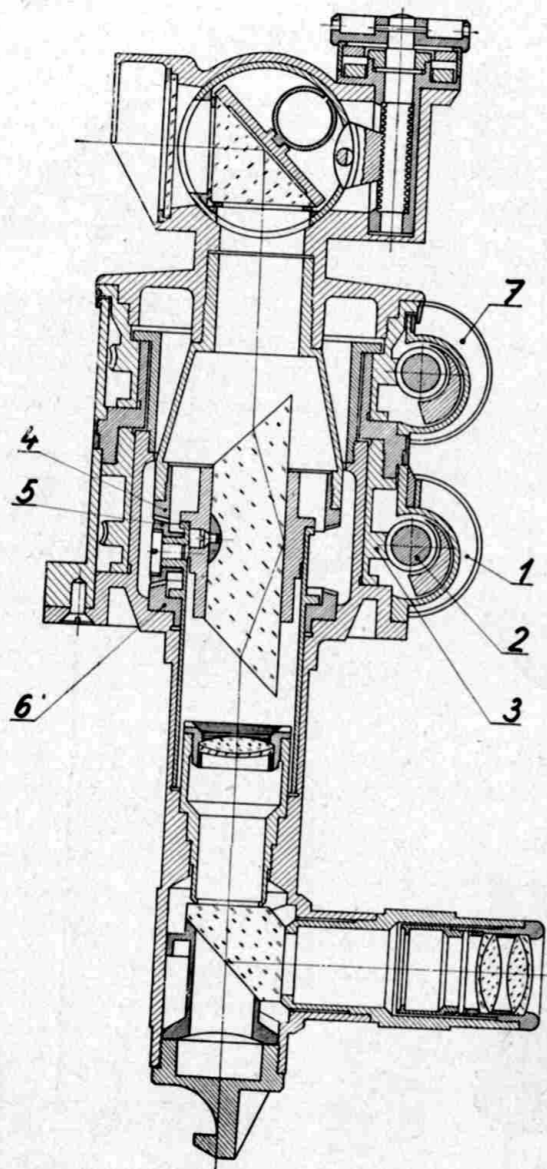
Obr. 176. Nůžkový dalekohled 10 x.



Obr. 177. Schema optiky úhlového dalekohledu. 15 x.



Obr. 178.
Úhlový
dalekohled 15x.



Obr. 179. Řez panoramatickým dalekohledem fy Srb a Štys.



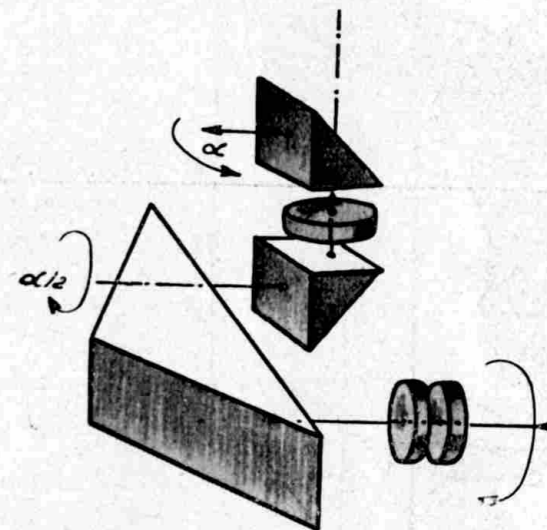
Obr. 180.
Panoramatický
dalekohled.

hoto důvodu lze hranolu při konstrukci použít jen v paralelních svazcích, nikoliv mezi objektivem a okulárem. Pro určitý průměr objektivu vyplývá délka hranolu ze zákona lomu, takže jej nelze pro větší průměry použít pro jeho přílišné rozměry. Soustava dvou nebo více Wollastonových hranolů tuto nevýhodu odstraňuje. Dva nebo více Wollastonových hranolů jest přiloženo k sobě odrazovou

plochou nebo jinou, s ní rovnoběžnou. Na chod paprsků nemá toto uspořádání zcela žádného vlivu, jest však dodržeti mnohem větší výrobní přesnosti, než u obvyklých hranolů Wollastonových (obr. 181.). Tímto hranolem je možno využít i velmi značných průměrů objektivu. Obvyčejný hranol Wollastonův by byl při průměru objektivu 40 mm 175 mm dlouhý. Taková konstrukce je ovšem prakticky nepřijatelná. Lze však velmi dobře použít »dvojwollastonu« o poloviční délce pouhých 87,5 mm.



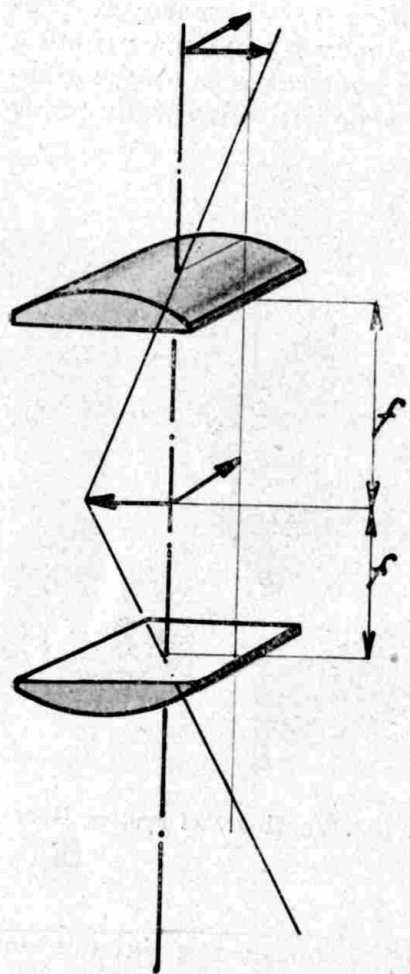
Obr. 181. Dvojitý Wollastonův hranol.



Obr. 182. Vzpřimovací systém Goerz.

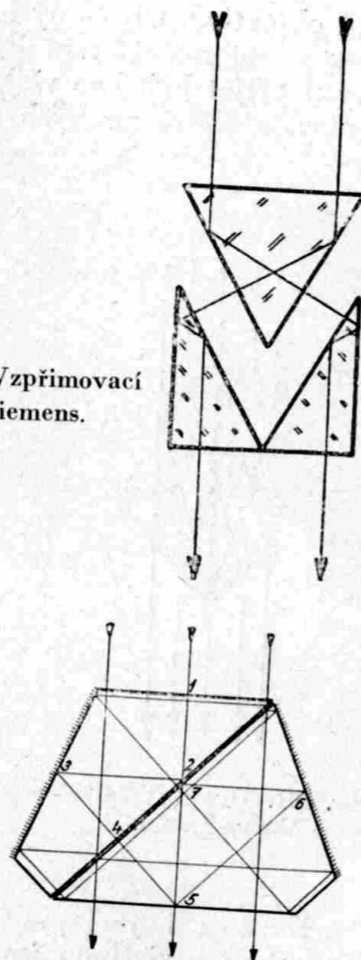
Existují i jiné systémy vzpřimující obraz tak jako hranol Wollastonův, většinou jsou však jen teoreticky zajímavé. Představme si prvý Porruv systém, kde polovinu vstupního hranolu otáčíme ve stranovém úhlu. Obraz se počne samozřejmě převalovati. Otáčíme-li však druhým hranolem kol vodorovné vstupní osy o polovinu otočení hlavice, pak naklonění obrazu vyrovnáme. Funkce jest z obrazu 182. patrna. Mechanické provedení bylo by dosti složité. Jiné řešení, velmi elegantní, lze odvodit z vlastní podstaty hranolu Wollastonova. Tento převrací obraz pouze v jednom směru, t. j. buď stranu nebo výšku. Totéž vykonává dalekohledový systém o zvětšení $1\times$, složený ze dvou válcových čoček (obr. 183.). Ani takovéto zařízení nenalezlo praktického užití. Na obr. 184. jest jiný systém hranolů. Oproti předchozímu vyznačuje se možností použití i ve sbíhavých svazcích, t. j. mezi okulárem a objektivem, protože

v celém systému nedochází nikde k lomu. Lze mít obavu, že výroba a uložení jsou značně obtížné.



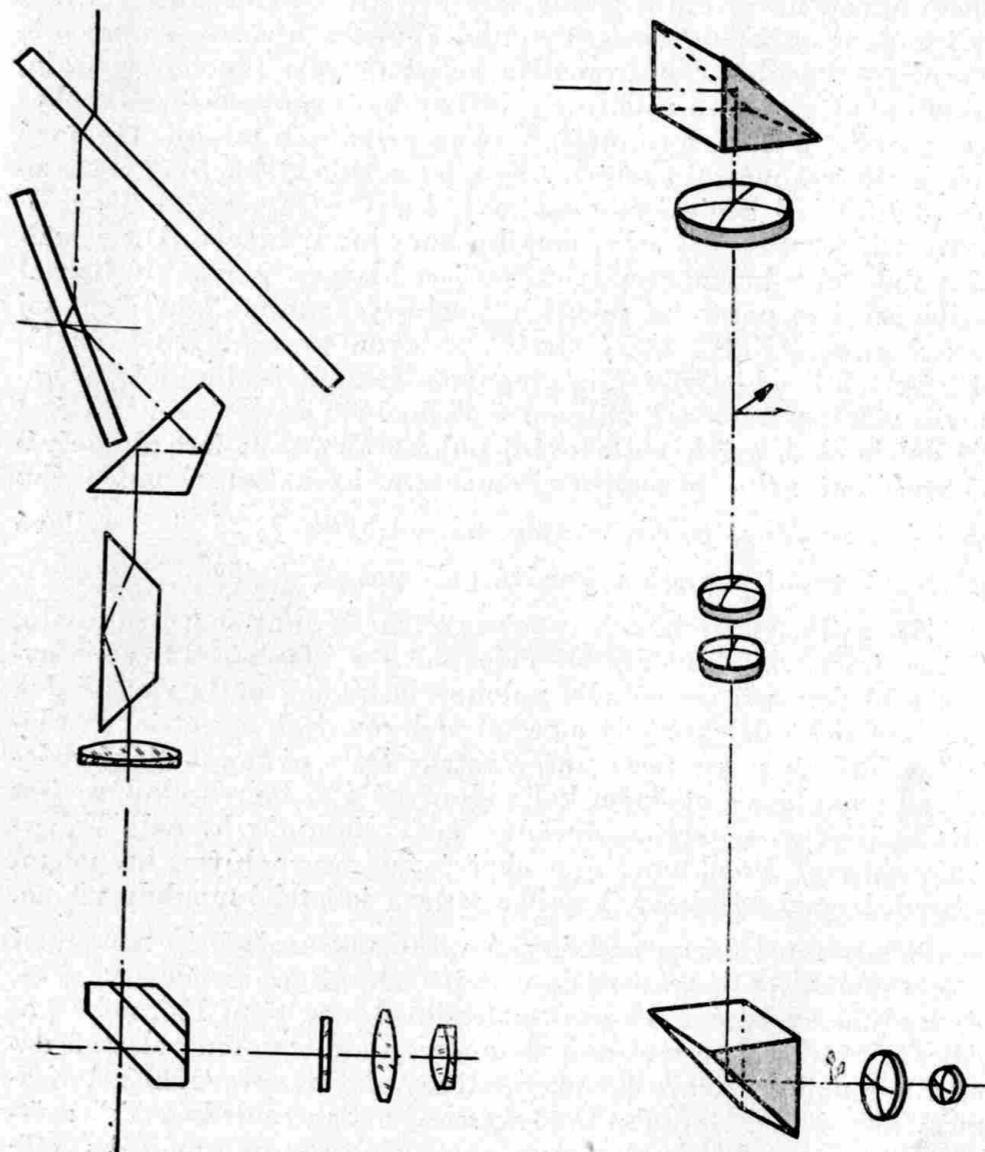
Obr. 183. Vzprímovací systém Jacob. Obr. 185. Vzprímovací systém Pechan.

Obr. 184. Vzprímovací systém Siemens.



Vynecháním střechy na hranolovém systému obr. 172., dostaneme vzprímovací hranoly, které je možno také uložit mezi objektivem a okulárem (obr. 185.). Sledujme cestu optické osy tímto systémem. Vchází v místě 1, odrazí se v bodě 2 na stříbřenou plochu 3. Odtud kolmo na vzduchovou vrstvu mezi hranoly v místě 4 přejde do druhého hranolu. Z bodu 5 odrazí se na stříbřenou plochu 6, načež po odraze v 7 vychází ze systému v prodloužení svého původního směru. Samozřejmě, že existuje i více kombinací, zabírají však značný prostor, než aby je bylo lze s úspěchem použít.

V panoramatickém dalekohledu otáčí se pomocí diferenciálního převodu Wollastonův hranol poloviční rychlostí otáčení hlavice. Otáčením stranového točítka 11 zabírá šnek 2 do šnekového kola 3 a tím se otáčí celá hlavice i s kuželovým kolem 4. Toto tvoří spolu se satelitem 5 a pevným kuželovým kolem 6 diferenciálních soukolí.



Obr. 186. Dalekohled zenitopanoramatický. Obr. 187. Periskop s velkým zvětšením.

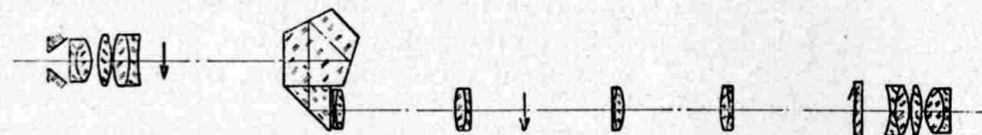
Satelit 5 je otočný kol hřídele, upevněného na objímce vzprímovacího hranolu. Pohybem kola 4 odvalí se satelit 5 po pevném kuželovém kole 6 a otočí hranol Wollastonův o poloviční úhel otočení

kola 4. Též výsledku dosáhneme otočením opravového točítka 7. U některých dalekohledů tvoří okulár s dolním kuželovým kolem 6 jeden celek, při jehož točení kol svislé osy natáčí satelit 5 Wollastonem taktéž o poloviční úhel. Dalekohledu panoramatického používáme nejen při pozorování kol dokola horizontu, nýbrž i pro sledování od horizontu k zenitu, při přeletu letounu, aniž bychom byli nuceni skláněti hlavu. Osu dalekohledu uložíme vodorovně, celé těleso i s hlavovým hranolem pohybuje se v polohovém úhlu, kdežto okulár zůstává vodorovný. Někdy bývá spojeno těleso s okulárem pevně a hlavice se otáčí. V obou případech musíme stranový pohyb cíle vykonávat s sebou. Aby toho nebylo třeba, byl konstruován dalekohled zenitopanoramatický, který nám umožní přehlédnouti celý prostor kol sebe, aniž bychom hnuli hlavou. U normálního dalekohledu panoramatického jest hlavový pravoúhlý hranol nakláněcí pro nastavení menších polohových úhlů. Nahradíme jej hranolem zenitálním, který sestává ze dvou pravoúhlých hranolů, přiložených k sobě stříbřenou přeponou. Jeho otáčením můžeme nastavit všechny polohové úhly od 0 až do 1600 dc. Na obr. 186. jest týž dalekohled, avšak nastavování polohového úhlu jest obstaráváno zrcadlem nebo hranolem. Pomocným hranolem rhombického typu jest rozdělen pohyb zrcadla na odchylku $\pm 22.5^\circ$ z nulové polohy. Vstupní paprsek vykonává tedy pohyb $\pm 45^\circ$.

Ze zajímavých řešení, používajících Wollastonova hranolu, dlužno jmenovati binokulární dalekohled s konstantním vodorovným vzhladem při jakémkoliv polohovém úhlu. Jsou to vlastně dva panoramatické dalekohledy s osami vodorovnými, symetricky položené vzhladem k ose nosu pozorovatele. Dále panoramatický dalekohled s okulárem otočným kol vodorovné osy. Pohyb okuláru jest opět kuželovým soukolím převáděn na Wollastonův hranol. Wollastonův hranol, kombinovaný s obyčejným pravoúhlým hranolem, nahradí hranol střechový, kterážto sestava jest také mnohdy vítána.

Někdy musí býti periskopická výška tak značná, že nám není možno použití objektivu o odpovídající ohniskové vzdálenosti. Pak předradíme zvolenému systému dalekohled o zvětšení $1\times$, nebo použijeme převratného systému. V tom případě obdržíme vlastně dalekohled podobný loveckému, opatřený dvěma pravoúhlými hranoly (obr. 187.). Způsobu s předřazeným dalekohledem $1\times$ zvětšujícím užívá se někdy pro pozorování obrazu pohyblivého cíle dvěma pozorovateli. Pak jsou ve výstupní pupile prvního dalekohledu (náležitě veliké) umístěny dva objektivy dvou různých dalekohledů. Jeden pozorovatel pohybuje zaměřovacím ústrojím dalekohledu tak, aby udržoval cíl stále na vodorovném vlákně kříže, druhý jej sleduje svislým vláknem.

Pro malá zorná pole a periskopické výšky bývá používáno sestavy dvou do čtyřicetipěti stupňů skloněných zrcadel, která je možno ve vhodné trubici upevniti na normální polní kukátko (obr. 188.).



Obr. 189. Periskop záměrný.

Obr. 188. Pomocný zrcadlový periskop.

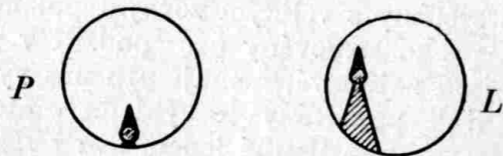
Periskopové systémy s velkým zorným polem byly ve světové válce důkladně prokonstruovány pro použití v ponorkách. Tato řešení, jakkoliv jsou zajímavá, nemají pro nás významu. Obdobné periskopy jsou však používány k výhledu v útočných vozzech a v krytech. Jsou to trubice, dlouhé jeden, dva i více metrů, většinou zalomené, aby při průstřelu výhledem nebyl pozorovatel raněn. Tato eventualita jest sotva možná, uvážíme-li, že výstupní pupile pět mm veliké odpovídá vstupní otvor asi 6.5 mm. Po stránce konstruktivní jsou tankové periskopy tvořeny dvěma dalekohledy se širokouhlými okuláry. Jejich objektivy jsou k sobě přivráceny. Při malých průměrech a větších délkách trubice může být vřazen i převratný systém, případně teleskopický systém o zvětšení $1\times$. Užijeme jako objektivu i jako okuláru téhož širokouhlého systému, avšak za ohniskovou rovinu objektivu vsuneme kolektiv, za účelem získání slabého zvětšení. Též efektu dosáhneme vhodným zobrazovacím poměrem převratného systému (obr. 189.).

Složitě periskopy jsou opatřeny kombinacemi nejrůznějších

druhů. Možno periskop opatřiti Wollastonovým hranolem, aby bylo umožněno pozorování panoramatu. Periskopy pro ponorky bývají vybaveny u objektivu prstěncovou čočkou, v níž se celý horizont zrcadlí (podobně, jako ve skleněných koulích, které vidáme v zahradách). V okuláru jest pak kol vlastního obrazu navinut zmenšený obraz celého horizontu. Některý cíl vyžaduje slabého zvětšení a velikého zorného pole, jiný opět naopak. Před celým vlastním přístrojem bývá proto předřaděn otočný dalekohledový systém, obyčejně holandský, o zvětšení příkladně dvojnásobném. V jedné poloze bude tedy zvětšení dvojnásob velké nežli bez představného dalekohledu. Otočí-li se tento o 180° , pak zvětšení jest poloviční. Někdy bývá použito pankratického systému, kde pohybem dvou optických členů je zvětšení plynule měněno, třeba od dvojnásobného do osminásobného.

Dalekohledy binokulární.

Použitím dalekohledu pro obě oči zlepšíme a usnadníme pozorování značně. Pozorovatel se tak snadno neunaví a zvýší svoji schopnost vnímati prostor. Jest však podmínkou, aby optické osy obou dalekohledů byly spolu rovnoběžné, neboť jen tak bude možno bez obtíží pozorovati. Jsou tolerovány nepatrné úchyly: pro triedr $6\times$ asi $2'$ výškově, $2'$ temporálně a asi $6'$ nasálně. Oba obrazy musí býti také stejně veliké, neboť pak i při rovnoběžných optických osách by části obrazu mimo střed se úhlově lišily. Velmi citlivé jsou oči na ztočení obrazů, způsobené nesprávnou polohou některého hranolu.



Obr. 190. Justáž binokulárního dalekohledu.

Proto jest důkladná rektifikace, podmíněna ovšem řádným mechanickým řešením uložení jednotlivých optických členů a řádným justážním aparátem, nejdůležitější prací na dalekohledu.

Nejčastěji jsou objektivy dalekohledů uloženy ve dvojí excentrické objímce (obr. 388.) tak, aby jejím natáčením bylo lze nastavit střed objektivu do libovolného místa. Používáno jest také jednoduché centrační deštičky, v níž jest upevněn objektiv. Otvory pro šrouby deštičku držící jsou poněkud větší, takže uvolněním šroubů jest objektiv v nutných mezích pohyblivý. Zřídka najdeme u binoklů objímku objektivu ovladatelnou dvěma šrouby. Proti šroubům

tlačí pérovky objektiv do správné polohy. Povolněním neb utažením toho neb onoho šroubu objektiv dokonale ovládneme.

Často jest rozhodnouti, jak veliký musí pohyb objektivu býti, aby bylo lze dalekohled řádně zrektifikovati. V takovém případě musíme uvážit, jak veliká paralaxa zůstane mezi oběma polovinami binokuláru po správném uložení všech optických systémů a uvedení mechanických částí do mezí tolerancí. Zbývající možnou chybu převedeme v míře úhlové na pohyb obrazu a tím objektivu. Zvětšení a kvalita obrazu (prohnutí obrazového pole, astigmatismus) kladou posunu objektivu určité meze, neboť nelze libovolně vysunouti osu objektivu z optické osy ostatních systémů.

Provisorně můžeme vyrektifikovati dalekohled následovně: Zamíříme pravý okulár *P* na nějaký vzdálený markantní bod a řádně upevníme. V levém okuláru *L* bude tento bod ležeti jinde; musíme pak pohybovati rektifikačním ústrojím, až v obou okulárech spatříme týž obraz (obr. 190.).

V továrně se rektifikace provádí jinak. Justážní přístroj je vyobrazen a popsán ve stati o kolimátorech.

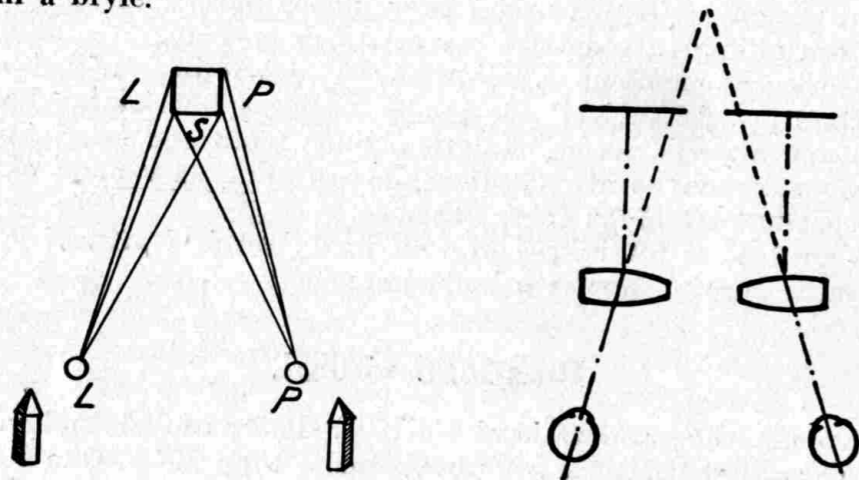
Plastické vidění.

Kromě schopnosti zrakové viděti předměty plošně, mohou oči vnímati prostor. Oči *P* a *L* pozorují tužku (obr. 191.). Oko *P* vidí stěnu střední a pravou, kdežto oko *L* vidí střední plochu a plochu levou. Ačkoliv tedy obrazy v obou očích jsou různé, nevidíme test dvojité v případě, že jsou obrazy vrženy na místa stejně položená vzhledem ke žluté skvrně. Oba průměty mozek zpracuje v jednotný prostorový vjem. Prostorově můžeme viděti pouze do určité vzdálenosti, dané rozlišovací schopností oka i cvikem. Předmět ještě rozlišíme od nekonečna, pokud nebude dále než 400—1000 m. Jakým způsobem bude možno tuto schopnost zvýšiti? Bez důkazů je z obr. 191. jasné, že hloubkového dojmu přibývá se vzrůstajícím úhlem, který je tvořen vzdáleností očí a vzdáleností cíle. Tento úhel lze zvětšiti buď přiblížením cíle (dalekohledem) anebo zvětšením vzdálenosti očí od sebe. Vzdálenosti bodů, ze kterých předmět pozorujeme, říkáme *základna* či *base*. Základnu zvětšíme na př. tak, že zhotovíme dva snímky téhož předmětu z různých míst třeba dosti odlehlých a tyto pak vhodným zařízením pozorujeme. Můžeme tak hloubkový dojem velmi značně posílit. Dva různé snímky krajiny možno vyhodnotit v řádnou vrstevnicovou mapu (stereofotogrametrie). Díváme-li se svými očima na takový stereosnímek, zhotovený větší základnou, pak máme dojem, jaký by měl obr.; domy se zdají býti jako z dětské stavebnice. Týž pocit vzbudí i pohled stereoskopickým dalekohledem a dálkoměrem, o kterých bude

později zmínka. Naopak opět, je-li základna snímku menší, dostane se nám obrazu, jaký by měl trpaslík s očima málo vzdálenýma: vše bude plošší a větší.

Při hotovení stereosnímku je třeba větší opatrnosti, než vyžaduje normální fotografie. Speciální stereoskopické komory jest nutno použítí jen pro obrazy pohybujících se předmětů, jinak vystačíme s normálním fotoaparátem.

Další o prostorovém vidění nalezneme v odst.: binokulární vidění a brýle.



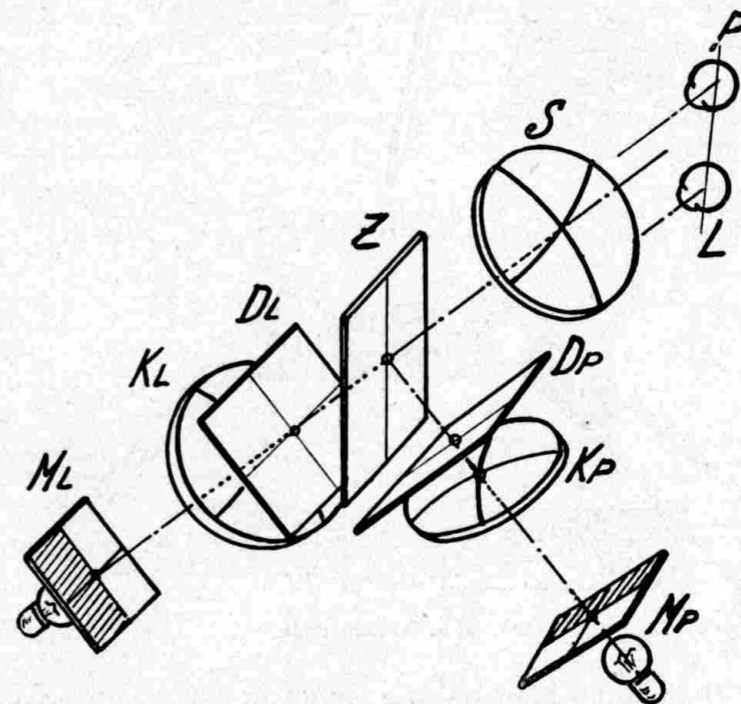
Obr. 191. Princip plastického vidění.

Obr. 192. Stereoskop Brewsterův

Stereoskopy.

Dvojici stereoskopických obrázků můžeme při trochu cviku vidět plasticky i bez jakéhokoliv přístroje. Musíme jen přinutit oči, aby akomodovaly (viz kapitolu o oku), ale aby podržely rovnoběžně své osy. Hledíme upřeně na nějaký vzdálený cíl, při čemž zvolna předsuneme dobře osvětlené obrázky před oči, aniž bychom se odpoutali očima od prvního cíle. S akomodací (zaostření očí na blízko) jest totiž spojena konvergence (sbíhání optických os očí), při které by se obraz zdvojnásobil. Aby oči nebyly nuceny k akomodaci, přeložíme oba obrázky do nekonečna tím, že je umístíme v ohniskové rovině dvou spojek. K snadnému splynutí obou obrazů použil Brewster čoček excentrických (obr. 192.), protože oči při vědomí, že pozorují do blízka, počnou konvergovati. Zbíhající se (konvergující) oční osy jsou vhodným prismatickým účinkem čočky zlomeny tak, že probíhají u obrázků paralelně. Stereoskopických přístrojů jest celá řada. Účelem všech konstrukcí jest přinutit oko k pozorování vždy jen jediného, jemu příslušného obrázku, aniž by ako-

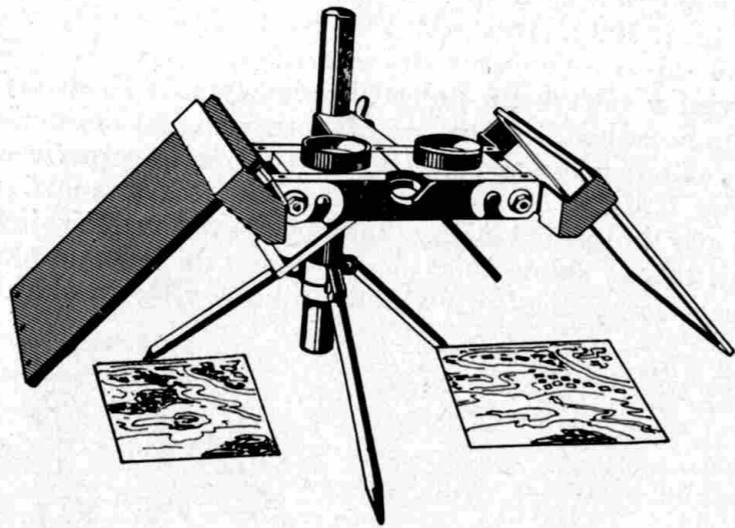
modovalo. Z novějších řešení jest zajímavým *Photoplastikon Mahlerův* (obr. 193.). Obě oči *P* a *L* pozorují jediným velkým zvětšovacím sklem *S* současně dva stereodiapositivy *D_L* a *D_P* tak, že jeden vidí v odraze na polostříbrném zrcadle *Z*, druhý v průhledu tímto zrcadlem. Za každým diapositivem jest kolimační čočka *K_P* a *K_L*, která zobrazí přibližně do nekonečna prosvícený proužek matice *M_P* a *M_L*. Svítící proužek jest stranově posunut z optické osy kolimační čočky, takže paprsky, vycházející z této čočky, mají takový sklon, že se sice dostanou do jednoho oka (které má jimi prosvícený diapositiv vidět), nikoliv však do oka druhého.



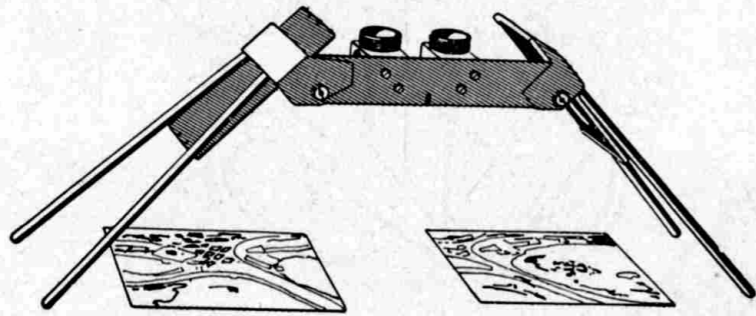
Obr. 193. Stereoskop Mahlerův.

Druhé oko tedy prvý diapositiv vůbec neuvidí, za to však podobným uspořádáním jest mu prosvícen diapositiv druhý. Zařízení působí velmi sugestivně, zvláště proto, že plastiku vidíme bez přikládání očí k nějakým okulárům. Normální čočkový stereoskop dovolí pozorovati obrazy nejvýše asi 60×60 mm, neboť více vzdálenost očí nedovoluje. Letecké snímky stereoskopické mají však formát mnohem větší; proto používáme systému čtyř zrcadel, podobného jako u telestereoskopu Helmholtzova (obr. 196.). Tyto přístroje, hojně používané letectvem, jsou na obr. 194. a 195.

Stereoskopické filmy se nasetkaly dosud se žádným praktickým



Obr. 194. Stereoskop.



Obr. 195. Stereoskop.

výsledkem. U jednoho systému jest oddělení obrazu dosaženo barvami. Obraz, příslušný oku pravému, jest příkladně zabarven zeleně, druhý obraz červeně. Diváci pozorují brýlemi se dvěma barevnými filtry. Každé oko pozoruje filtrem zbarveným jako jemu příslušný obraz. Obraz druhý tedy nevidí, protože zelený filtr všechny červené paprsky pohltí. Jindy opět jsou rychle na témže stínítku střídány pravý obraz s levým. Celou řadu jiných způsobů najdou zájemci v patentní knihovně.

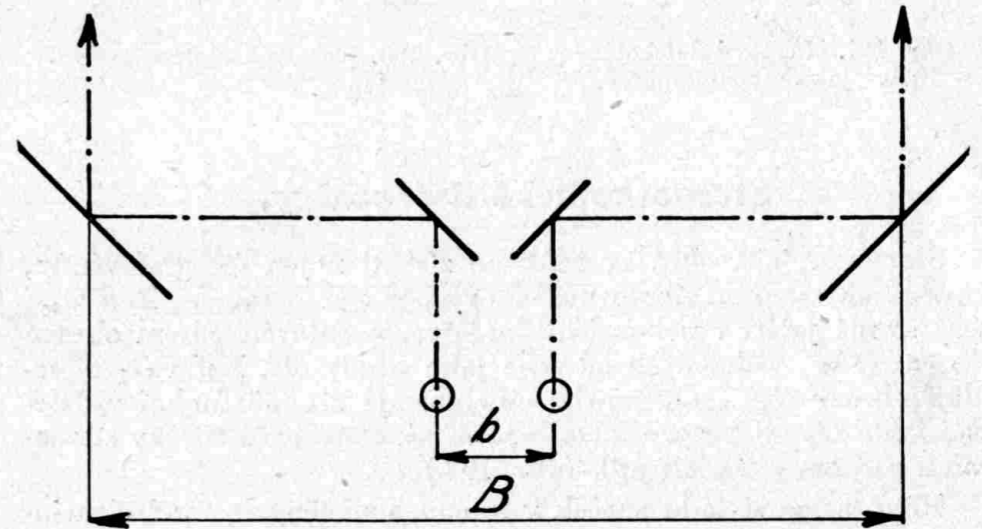
Stereoskopické dalekohledy.

Optickým způsobem můžeme oči od sebe oddáliti čtyřmi zrcadly tak, že po dvojném odraze leží oko zdánlivě v prodloužení osy výstupního zrcadla (obr. 196.). Fysik Helmholtz, sestrojivší

tuto kombinaci, nazval ji *telestereoskop*. Předměty pak pozorujeme místo očima od sebe vzdálenými b , ze základny B . Budou se nám jevit v poměru $\frac{B}{b}$ plastičtěji. Tento podíl zoveme *specifická plastika*. Vřadíme-li do chodů paprsků každého oka dalekohled, který předmět Z -krátě přiblíží, pak *celková plastika* bude

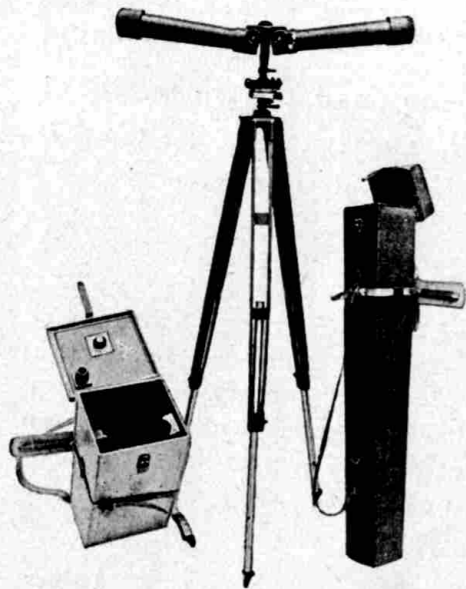
$$S = \frac{B}{b} Z . \quad (50)$$

Každý dalekohled zkresluje perspektivu; předměty se jím zdají buď plošší nebo části vzdálenější neúměrně zvětšené. Zvětšením vzdálenosti objektivů získáme zvýšení plastiky, mnohdy pro rychlou orientaci v terénu tak důležité a jaksi vykompensujeme plochou perspektivu. U dalekohledů hranolových vyplývá zvětšení základny již z konstrukčních prvků (hranolů), někdy však jsou objektivy od sebe oddalovány úmyslně.

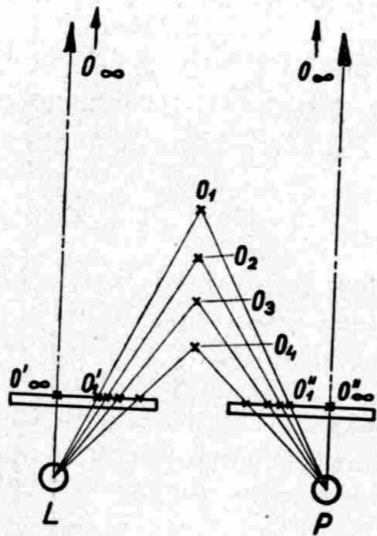


Obr. 196. Telestereoskop Helmholtzův.

Takové stereoskopické dalekohledy umožní velmi rychlou orientaci o tvaru a rozložení terénu; o jeho členitosti a situaci útvarů v něm se nacházejících. Stereoskopické dalekohledy jsou buď tvaru trubice o vnitřní optické stavbě obdobné stereoskopickým telemetrům anebo ve formě nůžkového dalekohledu; lze střídati podle potřeby efekt periskopický s efektem stereoskopickým. Prvého dosáhneme sklopením obou dalekohledů k sobě, druhého roztažením ramen do vodorovné polohy (obr. 197.).



Obr. 197. Nůžkový dalekohled užitý jako stereoskopický.



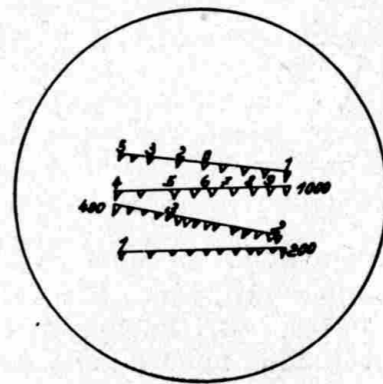
Obr. 198. Konstrukce stereogramu.

Stereoskopické dálkoměry.

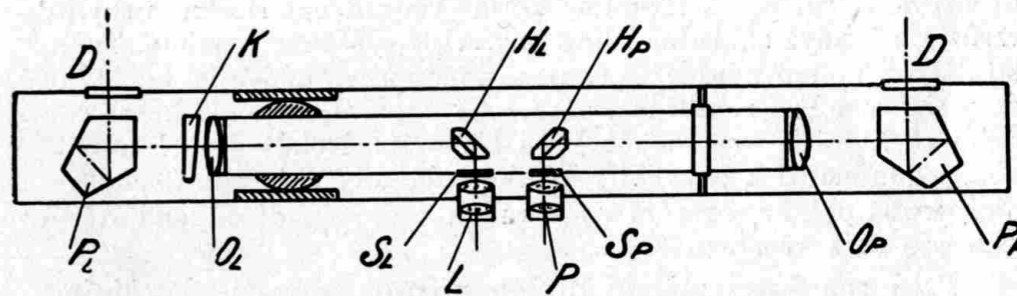
Stereoskopické obrázky můžeme získati nejen fotografováním, nýbrž i nakreslením. Zhotovme takový pár stereogramů. Bod O_∞ který se má jeviti v nekonečnu, bude representován párem obrazů O'_∞ a O''_∞ , vzdálených od sebe jako středy očí. Bodu O_1 odpovídají obrazy O'_1 a O''_1 , jichž odlehlost je zřejmě funkcí vzdálenosti bodu O_1 od pozorovatele. Právě tak sestrojíme značky stereogramu pro body O_2, O_3 atd. (obr. 198.).

Představme si řadu značek v terénu, umístěných v určitých intervalech. Bude jim odpovídati pár stereogramů, při jichž pozorování máme prostorový dojem oné řady vzdálenostních značek (obr. 199.). Do stereoskopu, tvořeného skleněnými stereogramy a okuláry, přivedme obrazy krajiny vržené párem objektivů. Chceme-li změřiti vzdálenost určitého cíle, pak stačí zjistiti, která značka stereogramu jeví se stejně vzdálena jako cíl. Dovedli jsme dálkoměr s pevnou měřicí značkou (obr. 200.). Je tvořen dalekohledem binokulárním s pentagonálními hranoly P_L a P_P , objektivy O_L a O_P , středovými hranoly H_L a H_P a okuláry L a P . V jejich ohniskových rovinách jest pár náležitě vypočítaných stereogramů S_P a S_L (obr. 199.). Konstrukce telemetru jest nadobýčej delikátní, protože sebe menší prohnutí teplem nebo jinými vlivy poruší celý rekti-

fikační stav přístroje. Z toho důvodu vkládají se kromě okulárů a hlavových hranolů všechny optické části do ocelové trubice, která ve vnější nosné trubici jest na jednom konci kardanicky zavěšena, na druhém uložena v kulovém ložisku. Hlavové hranoly jsou pentagonální, aby při prohnutí nosné trubice nebyla způsobena žádná chyba. Pentagonální hranol totiž odráží paprsek vždy o 90° , i když



Obr. 199. Stereogram telemetru s pevnou značkou.

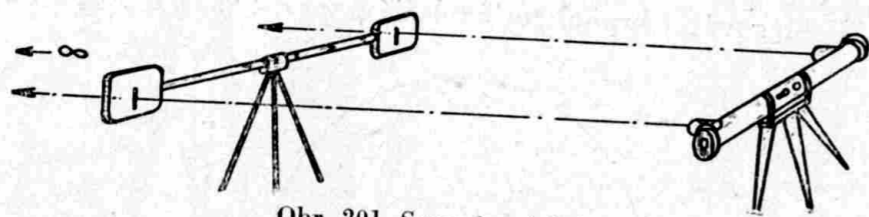


Obr. 200. Schema stereoskopického telemetru.

hranol poněkud stočíme. Vzdor té největší péči nelze přístroj uchrániti od menších dejustáží, během transportu nebo působením denních vlivů. Proto jest opatřen jednak rektifikačním zařízením, jímž přivedeme srovnání výstupních os do jedné horizontální roviny (srovnání výškové), jednak zařízením nastavujícím obě osy v této rovině spolu rovnoběžně (srovnání dálkové). Srovnání výškové má za účel ustaviti oba obrazy výškově, aby měřič se neunavil a aby nenastalo případně zdvojení obrazu. Srovnáním dálkovým nastavíme obrazy cíle tak, aby se nám vzhledem k měřicí značce jevíly skutečně tam, kde cíl jest.

Výškově srovnáme přístroj jednoduše tak, že jeden konec vnitřní trubice nepatrně zdvihneme. Vyžaduje to velmi jemného

mechanismu, proč bývá používáno častěji planparalelního skla, které nakláníme kol horizontální osy. Zdviháme tak jeden obraz ve funkci náklonu skla. Můžeme také nakláněti jeden hlavový hranol, který pak vlastně působí jako nakloněné planparalelní sklo.



Obr. 201. Srovnávací lať.

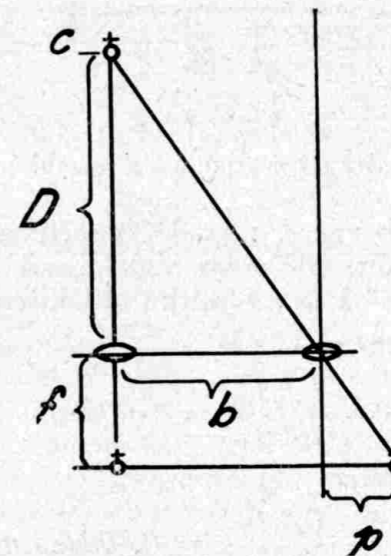
K dálkovému srovnání mohli bychom použítí těžže prostředků, ale odchylky, které způsobují, jsou příliš veliké. Proto užíváme klínu K , otočného kol optické osy. Paprsky při otáčení klínu opisují plášť kužele. Je-li základna nahoře nebo dole, rovná se způsobená dálková odchylka nule, protože paprsky jsou odchýleny výškově. Tato výšková chyba jest však příliš nepatrná, než aby mohla pozorování rušiti. Otáčením klínu vodorovná složka úchylky vzrůstá, až, když základna klínu jest svislá, dosáhne maxima. Točítko dálkového srovnání bývá spojeno se stupnicí, udávající odchylku ve vteřinách. Pro rektifikaci v továrně používá se jedna krycí deštička D , která k tomu účelu bývá klínovitá. Někdy jsou klínovité obě, jedna slouží k obvyklé rektifikaci dálkové a je opatřena stupnicí, druhá pak ke srovnání v továrně. V tom případě odpadá ovšem klín pro dálkové srovnání K .

Před započítím měření dlužno přístroj srovnati. Používáme k tomu význačných bodů, které jsou skutečně v nekonečnu (měsíc, hvězdy) nebo cíle velmi vzdálené, daleko za dosahem měření (10 až 50 km). Takové nejsou ovšem vždy k dispozici. V této situaci jest užíváno *srovnávací lať*. Její princip jest tento: Před výstupní otvory telemetru umístíme dvě stejné značky (obr. 201.), jichž vzdálenost se rovná přesně délce základny. Uvidíme tedy v telemetru jen jeden jejich obraz, ležící v nekonečnu. Budeme pak srovnávati tak dlouho, až obraz bude stejně vzdálen jako stereogram označený ∞ . Srovnávací lať dáme asi 20—100 m daleko od přístroje. Při delší ohniskové vzdálenosti objektivu by však její obrazy nepadly do rovin měřících značek, proč musíme předraditi dvě přídavkové čočky, jichž ohniskové vzdálenosti rovnají se vzdálenosti lať, takže tato bude jimi zobrazena do nekonečna.

Nejpřesněji však jistě srovnáme na cíle o známé vzdálenosti, neboť postup srovnání jest přirozenější a nemusíme se obávati

chyby, způsobené deformací srovnávací lať. Vzdálenost však musí být zjištěna opravdu přesně, protože jinak by chyba, byť zanedbatelná, přivedla při následujícím měření na jiné vzdálenosti případně úchylky velmi nemilé.

Protože přesnost měření jest závislá na rozlišovací schopnosti měřiče, nebude měřič nikdy schopen změřiti vzdálenost jediným měřením, neboť v určitém úseku bude paralaxa mezi značkou a cílem tak malá, že měřič ji nepostihne. Uprostřed tohoto pásma nejistoty bude správná hodnota. Měření provádí se tak, že měřič pohybuje značkou přes pásmo nejistoty, až zjistí paralaxu. Pak se vrátí, až paralaxa se objeví na druhé straně znovu. Tento pohyb vykoná vícekrát, při čemž jeho výkyvy stále zmenšuje. Střed nejúžších hranic jest nejpřesnějším měřením. Tomuto způsobu měření říkáme *rámování*, protože přesná hodnota jest všemi měřeními jaksi zarámována.



Obr. 202. Výpočet paralaxy telemetru.

Pro veliké, hlavně lodní dálkoměry, nelze použítí žádný ze způsobů srovnávání. Existuje mnoho zařízení pro vnitřní justáž, zakládající se na umělém zmenšení základny na nulu a srovnávání na jedinou značku kolimační čočkou do nekonečna zobrazenou.

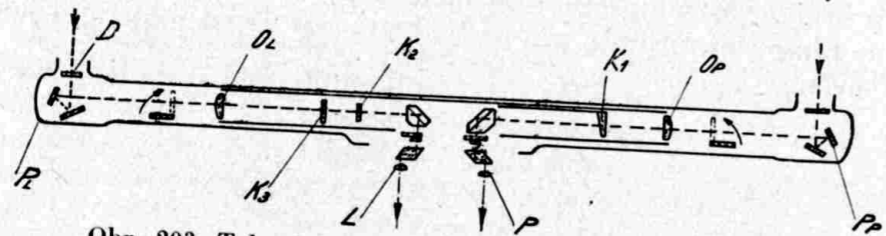
Takováto zařízení se u pozemních dálkoměrů zřídka vykytují a proto je nebudeme blíže popisovati.

Telemetr s pevnou měřící značkou je velmi vzdorné konstrukce, neboť není na něm, kromě točitek pro dálkové a výškové srovnávání, žádných pohyblivých součástí. Avšak pro přesnější měření

a větší měřicí rozsahy by číslované měřicí značky byly příliš nepřehledné. Mohli bychom však jednou značkou pohybovat tak, že při určitých polohách značky promítli bychom si ji očima do různých vzdáleností, takže by podle obr. 198. procházela postupně body O'_1, O'_2 až O'_∞ . Na obr. 202. jest patrno, aby značka se jevila ve vzdálenosti D , musíme ji vychýliti z polohy — nekonečno — o hodnotu

$$p = \frac{f \cdot b}{D} \quad (51),$$

protože $D : f = b : p$. Pohybové zařízení opatříme přímo vzdálenostní stupnicí. Prací měřiče pak bude přivést značku do té vzdálenosti, v jaké se mu zdá býti cíl. Stranový posun značky se mu



Obr. 203. Telemetr stereoskopický s pohyblivou značkou.

bude jevit jako pohyb vpřed a vzad. Vypočteme, jaký by byl posun značky na př. mezi měřením vzdálenosti 1000 m a 1050 m s telemetrem o základně 1 m a ohnisku objektivu f 300 m.

Posun z ∞ do 1000 m

$$p = \frac{0,31}{1000} = 0,0003 \text{ m}$$

Posun z ∞ do 1050 m

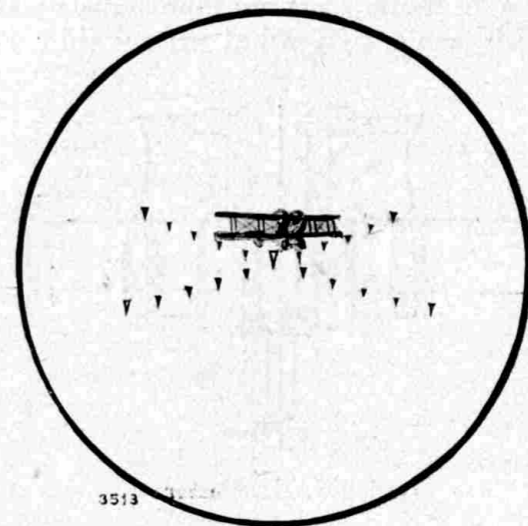
$$p = \frac{0,31}{1050} = 0,000285 \text{ m}$$

Posun z 1050 m do 1000 m

$$P_{1000} - P_{1050} = 0,000015 \text{ m.}$$

Vidíme, že mechanicky je takové zařízení ztěž proveditelné a můžeme si také učiniti pojem o obtížné mechanice telemetrů vůbec. V praxi neposouváme proto značkou, nýbrž pomocí vhodného deviačního zařízení pohybuje do strany jedním obrazem cíle. Měřič má přesto dojem, že se pohybuje značka. Takový telemetr s »pohyblivou« měřicí značkou jest znázorněn na obr. 203. Opět vidíme dva pentagonální hlavové hranoly P_L a P_P (u větších telemetrů zrcadla) objektivy O_L a O_P , okuláry P a L a srovnávací ústrojí, tvořené opět otočným klínem K_2 pro srovnání dál-

kové a nakláněcí planparalelní deštičkou K_3 pro srovnání výškové. Mezi objektivem a okulárem pohybuje se měřicí klín K_1 (deviační klín), spojený pevně s dálkovou stupnicí. Když klín bude přímo v rovině obrazové, nezpůsobí žádnou odchylku, kdežto posuneme-li jej až k objektivu, bude odchylka maximální. Dlužno uvážiti, že s klínem nemůžeme až do ohniskové roviny, nýbrž jen do určité



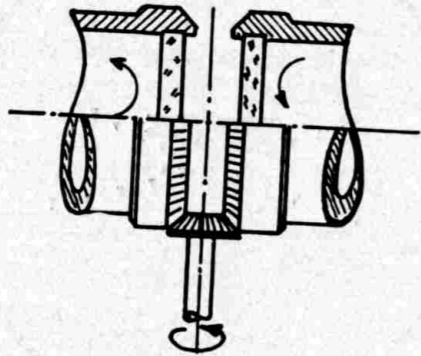
Obr. 204. Zorné pole stereoskopického telemetru s pohyblivou značkou.

vzdálenosti před ní. Zbývající odchylku musíme vykompenzovati pomocným klínem, který volíme ještě o něco lámavější, abychom měli možnost rektifikace. Tímto klínem jest také prováděna rektifikace v továrně. Pomocný klín může současně sloužiti jako krycí sklo vstupního otvoru D . Dvě odklopné pomocné čočky C_L a C_P , jichž ohniskové vzdálenosti rovnají se vzdálenosti srovnávací latě, slouží ke zobrazení srovnávací latě přesně do roviny stereogramů S_L a S_P . Na obr. 204. jest takový stereogram. Při pohledu do telemetru máme dojem, že značky kříže ubíhají od středu kupředu a vzad, což lépe definuje polohu střední měřicí značky, se kterou vlastní měření provádíme. Na obr. 203. vidíme ještě dva rovnoběžnostěnné hranoly u okulárů. Takové, t. zv. rhombické hranoly, nemají naprosto žádný vliv na polohu obrazu. Jejich otáčením kol osy stereogramu oddalují nebo přibližují se k sobě oba okuláry, čímž měníme rozsah oční.

Vlastní měření jest tedy zde prováděno posuvným měřicím klínem K_1 . Jiné deviační zařízení jest vlastně zvláštním případem předchozího. Je tvořeno dvěma stejnými klíny o základnách proti sobě ležících, z nichž jeden jest pevný, druhý pohyblivý. Když hra-

noly jsou na sobě, odchylka je nulová; vysouváme-li jeden hranol, odchylka vzrůstá. (Telemetr O. P. L.)

Telemetry německé opatřeny jsou většinou dvěma otáčivými klíny, t. zv. diasporametrem. Oba klíny jsou zasazeny v objímkách nesoucích kuželové ozubení. Kola jsou poháněna týmž pastorkem, takže jeho otočením vychýlíme je o stejný úhel od osy pastorku. Dálkovou stupnici upevníme na obvod jedné objímky a čteme ji systémem čoček a hranolů. Celý mechanismus musí se pohybovat v kuličkových ložiskách a býti velmi přesný (obr. 205.).



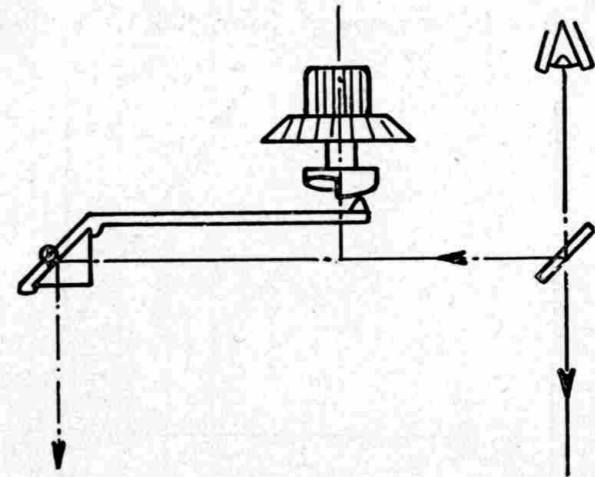
Obr. 205. Diasporametr.

Přesnost měření jest závislá na zvětšení dalekohledů a na délce základny. Vyrábějí se pro účely námořní telemetry o základně až 30 m. Telemetry stereoskopické používají se téměř výhradně k měření dálek vzdušných cílů. Bývají opatřeny ještě mechanickým nebo optickým zařízením pro přímé měření výšky. Měřiči musí býti vybíráni a důkladně vycvičeni. Při výběru měřičů u vojenských útvarů bývá teprve často zjištěno, jak malé procento lidí má neporušenou motilitu očí a bezvadně vnímá prostor. Lze z toho i odvodit důsledky pro používání jiných binokulárních přístrojů, případně pro opodstatnění plastického filmu.

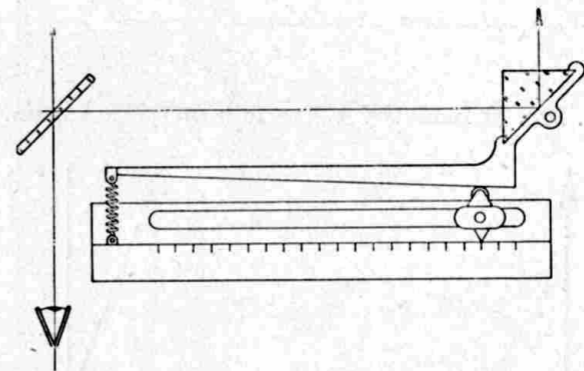
Telemetry koincidenční.

Trojúhelník, tvořený cílem a základnou, můžeme měřiti nejen stereoskopicky, nýbrž jednoduše tak, že úhel u cíle, tvořený spojnicemi koncových bodů základny s cílem, skutečně změříme. Mohli bychom tedy na jednom pevném rameni upevniti dva dalekohledy se záměrnými kříži. Aby v obou dalekohledech byl cíl ve středu záměrného obrazce, musili bychom optickou osu jednoho z nich ztočiti o určitý úhel, který by byl funkcí vzdálenosti. Prakticky jest

takový přístroj neproveditelný, neboť úhel pohybu jest zcela nepatrný. Ve skutečnosti svádíme obrazy z obou dalekohledů do jednoho okuláru a řízením nějakého optického členu je přivedeme ke koincidenční. Pohyb optické části jest pak značně větší a lze jej pohodlně měřiti náležitou stupnicí.



Obr. 206. Jednoduchý dálkoměr fotokomory.

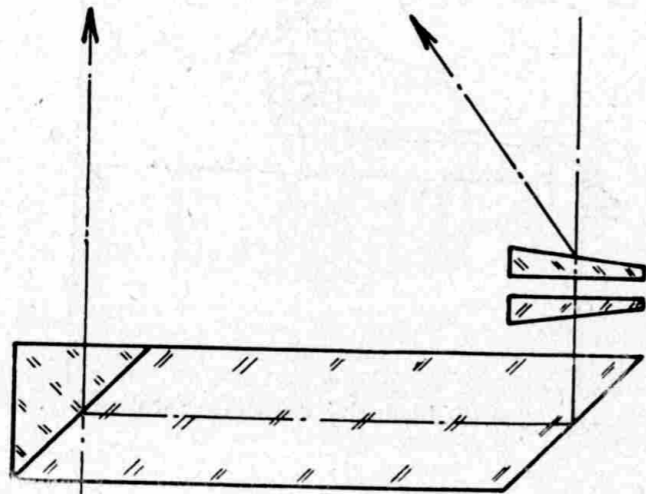


Obr. 207. Jednoduchý dálkoměr s běžcem.

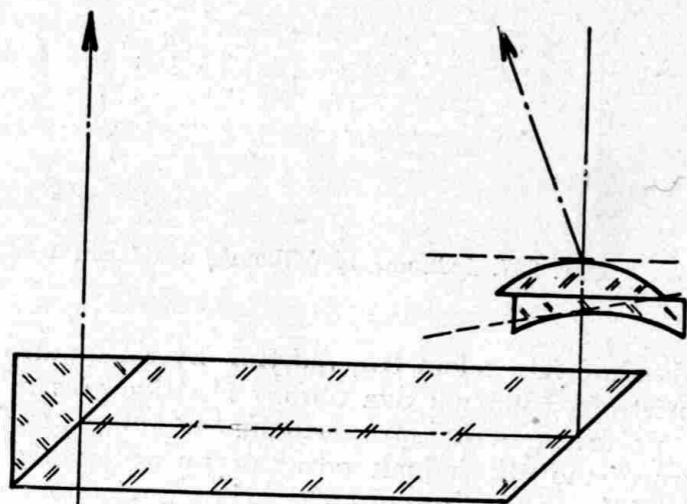
U jednoduchých telemetrů, jakými bývají opatřovány fotografické přístroje, klademe dva obrazy zkrátka přes sebe. Takový dálkoměr pozůstává z polopropustného zrcadla, kterým jednak přímo pozorujeme cíl, jednak odrazem pozorujeme obraz cíle v otočném zrcádku, nebo hranolu. Na páku otočného zrcadka tlačí šroubová vačka, jejíž hlavice je opatřena dálkovou stupnicí (obraz 206.).

Podobně funguje telemetr podle obr. 207. Podél ramena otáče-

jícího hranolem pohybuje se jezdec s ukazatelem na veliké přehledné stupnici. Jsou však i malé telemetry fotoaparátů, užívající k dosažení koincidence obvyklých deviačních zařízení jako diasporametru. (Obr. 208.). Pak jest celý telemetr tvořen dvěma hranoly, polopropustnou plochou slepenými. Jako deviatoru bývá užíváno také dvou čoček, o témže zakřivení, avšak opačného znaménka, které se po sobě posouvají (obr. 209.). Výsledkem nebude

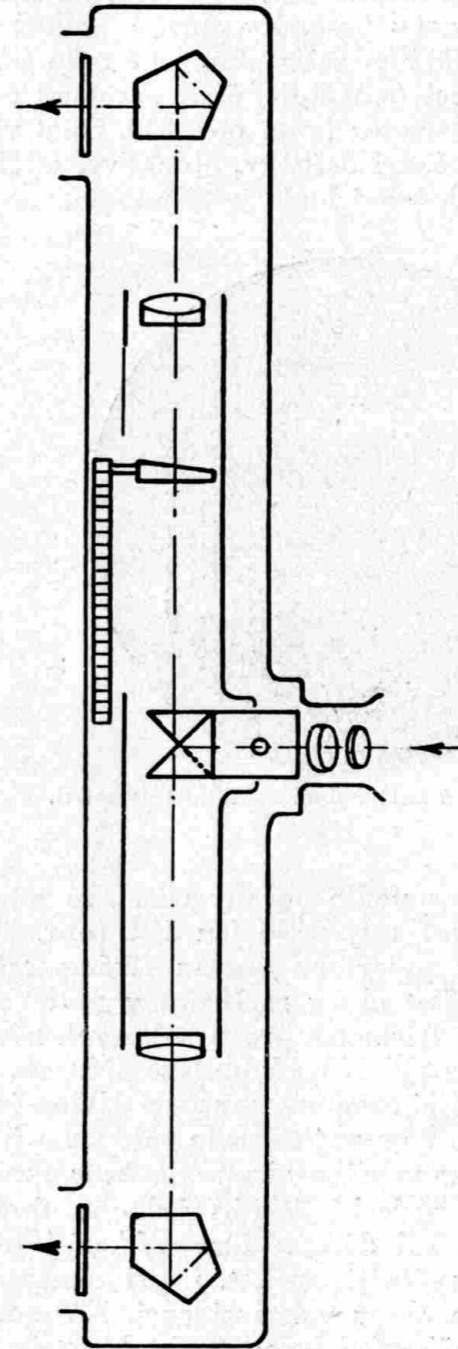


Obr. 208. Jednoduchý telemetr s diasporametrem.

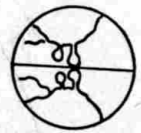


Obr. 209. Jednoduchý telemetr s deviatorem čočkovým.

ovšem žádný dioptrický účinek, avšak myslíme-li si v místech průsečíků osy s čočkami dvě tečné roviny, pak representují tyto klín, jehož úhel se s vysouváním jedné čočky mění.



Obr. 210. Schema dálkoměru koincidenčního.

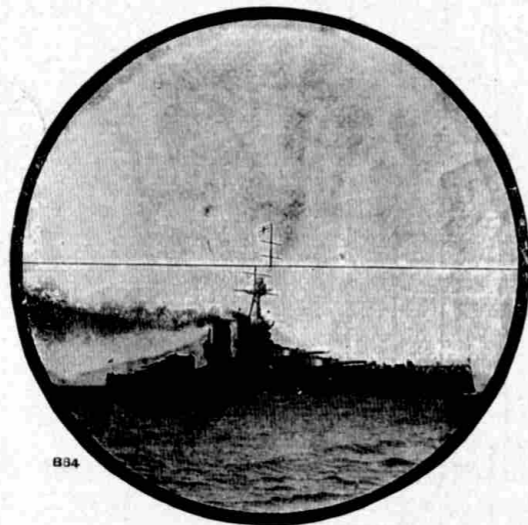


Obr. 211. Zorné pole invertního telemetru.



Obr. 212. Zorné pole invertního telemetru.

Přesné telemetry koincidenční jsou stavěny podobně jako stereoskopické; jen obrazy z obou objektivů přijdou do jediného okuláru. Nepřekrývají se však, nýbrž vhodně konstruovanými hranoly jest polovina každého odstraněna, takže oba na sebe na jisté rozdělovací čáře hraničí, jsouce posunuty právě o hodnotu p (paralaxu), dříve odvozenou. Měřícím zařízením, jaké bylo již popsáno, přivedeme je ke koincidenční (splynutí), čímž paralaxu p změříme. Schema koincidenčního telemetru je na obr. 210. Opět vidíme dva pentagonální hranoly, dvě krycí deštičky, objektivy, měřící klín se stupnicí a centrální hranol, který bude ještě popsán.

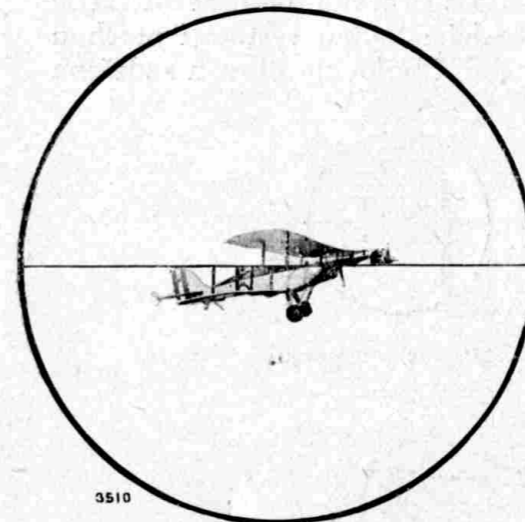


Obr. 213. Zorné pole koincidenčního telemetru.

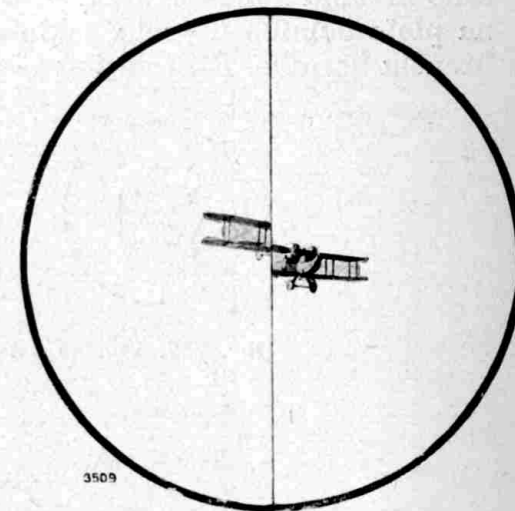
Zorné pole uspořádáme podle povahy cíle. Pro pozemní cíle převrátíme horní obraz buď celý nebo jen část (obr. 211., 212.). Dálkoměru s převrácenou polovinou obrazu říkáme *telemetr invertní*. Pro námořní cíle jest obraz rozříznut v půli (obr. 213.). Zorné pole koincidenčních telemetrů protiletadlových bývá uspořádáno podle obr. 214., 215. a 216. Když k obsluze přístroje jest určen pouze jeden muž, t. j. měřič samotný, musíme dálkoměrnou stupnici přenéstí opticky přímo na okraj zorného pole nebo ji čte měřič lupou, která jest u druhého volného oka, majíc tvar okuláru.

Derektifikace výšková způsobí, že část jednoho obrazu schází nebo přebývá (obr. 217.). Při dálkové derektifikaci budeme vždy o určitou úhlovou chybu měřiti špatně, t. j. při zaměření na bod v nekonečnu nebude jeho obraz v koincidenční. Ke srovnání přístroje používáme těchto zařízení, jako u stereotelemetrů, t. j. klínů nebo deštiček, případně náklonu hlavových hranolů nebo vnitřní

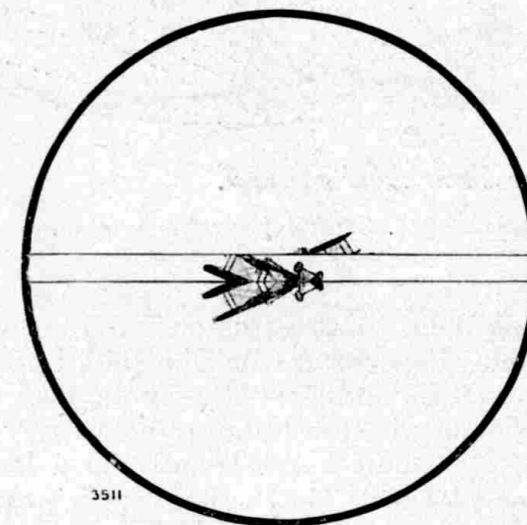
trubice. Také způsoby srovnávání jsou obdobné; buď na body v nekonečnu nebo ve známé vzdálenosti. Srovnávací lať jest téhož tvaru jako pro telemetry stereoskopické.



Obr. 214. Zorné pole protiletadlového koincidenčního telemetru.



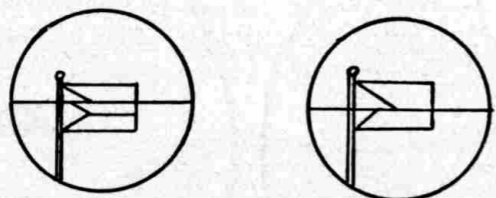
Obr. 215. Zorné pole protiletadlového koincidenčního telemetru.



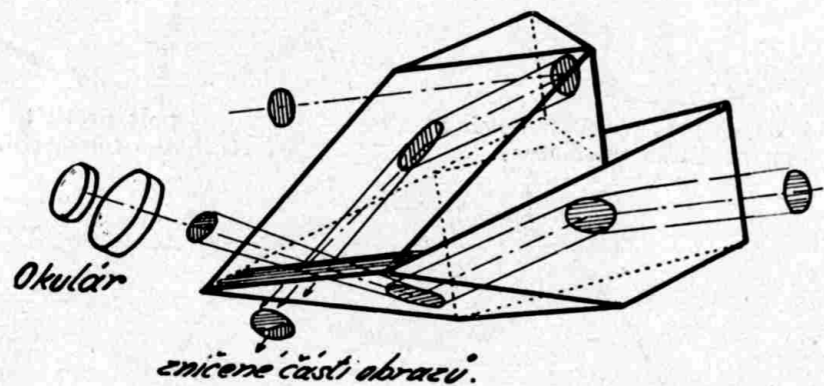
Obr. 216. Zorné pole protiletadlového telemetru.

Rozdělovací (centrální) hranoly jsou velice složité. V zásadě však můžeme rozlišiti dva typy: buď je hranice obrazu tvořena stříbřenou vrstvou (Zeiss, SOM, OPL, Goerz) nebo ostrou hranou hranolu (Barr a Stroud, Srb a Štys). Na obr. 218. jest takový systém se stříbřenou plochou znázorněn. Z obrazu tvořeného levým objek-

tivem (svisle šrafováno), odrazí se na stříbřené ploše dolní polovina do okuláru. Při tom musí obraz vzniknouti přesně na hranici stříbření. Druhá polovina světelného válce projde dolní plochou spodního hranolu kolmo a ztrácí se. Světlo z pravého okuláru odráží se na ploše dolního hranolu, takže prochází kolmo výstupní plochou hranolu horního. Při tom jest však dolní polovina obrazu zadržena



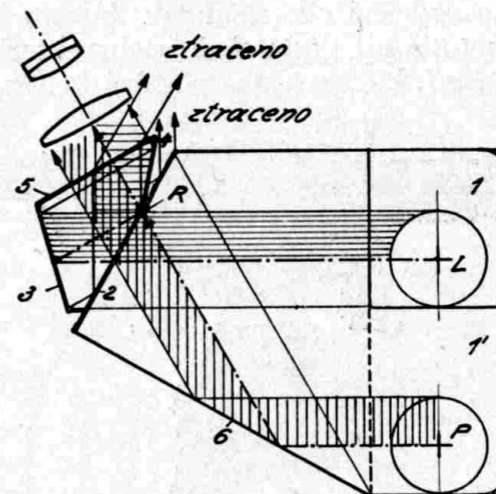
Obr. 217. Výšková derektifikace telemetru.



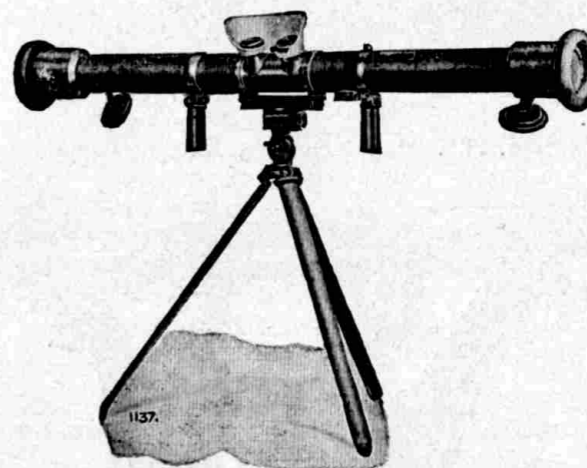
Obr. 218. Centrální systém hranolů.

stříbrem a odražena dolů. Ohraničením stříbrné vrstvy řídí se uspořádání zorného pole. Ponecháním úzkého pásku stříbra, resp. odstraněním malého výřezu, obdržíme zorné pole, jaké je na obr. 212. Obraz 219. jest schematem centrálního hranolu firmy Barr a Stroud a firmy Srb a Štys. Světelné kužele z pravého a levého objektivu P a L odráží se na plochách 1 a 1'. Paprsky L prochází styčnými plochami 2 obou hranolů a odráží se od stříbrné plochy 3 vlastního rozdělovacího hranolu. Horní polovina odráží se pak od plochy 4 tak, že projde plochou 5 kolmo do okuláru. Spodní část paprsků odrazí se však opět na plochu 2, dospěje šikmo k ploše 5 a lámaje se, míjí okulár. Obraz jest položen přesně na průsečnici rovin 2 a 5, která tvoří rozdělovací hranu R. Paprsky P, odrazivší se od plochy 1' na plochu 6, procházejí plochami 2, avšak pouze dolní část obrazu dospěje do menšího hranolu a kolmo k ploše 5 do okuláru.

Paprsky příslušné horní části obrazu, lámou se na ploše 2 a ztrácí se. Rovinu obrazu jest opět položit tak, aby v ní ležela přímka R.



Obr. 219. Centrální systém hranolů.



Obr. 220. Koincidenční telemetr fy Barr a Stroud.

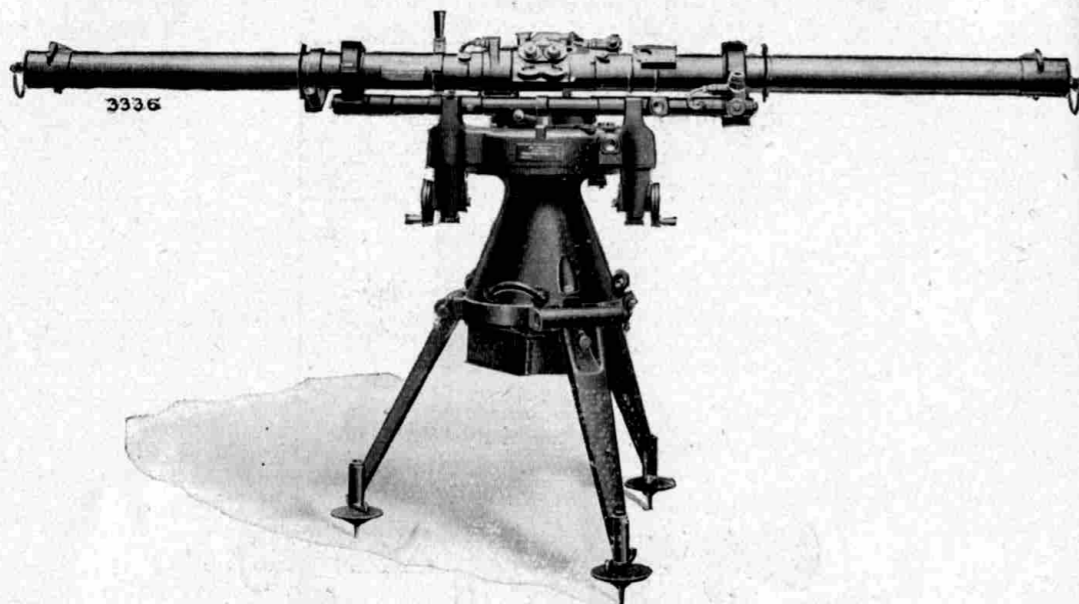
Zvláštní případy a konstrukce.

Obvyklé konstrukce vyznačují se základnou 800—1000 mm, zvětšením 11 až 14tinásobným a rozsahem měření od 250 do 10.000 m. Jako příklad uvádíme na obr. 220 koincidenční invertní telemetr firmy Barr a Stroud, Glasgow o základně 80 centimetrů.

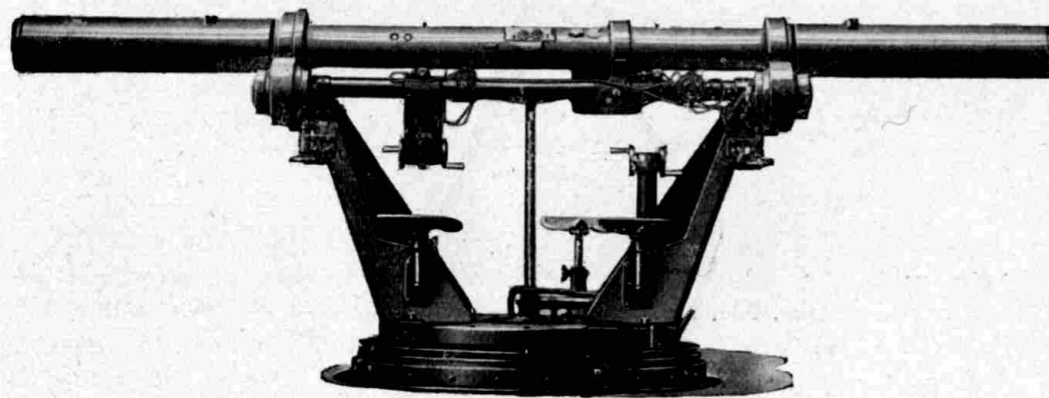
Dálkoměry, sloužící k měření výšky vzdušných cílů, jsou většinou stereoskopické o základně dva až čtyři metry a se zvětšením

dvacetipětinasobným. Jsou opatřeny širokouhlými okuláry a vyžadují obsluhy obyčejně čtyř mužů.

Při měření na vzdušné cíle není tak důležitá dálka cíle, jako jeho výška. Dálka totiž cíl dostatečně necharakterisuje, protože se při průletu stále mění, kdežto výška zůstává konstantní. Proto jsou



Obr. 221. Altitelemetr fy Barr a Stroud.

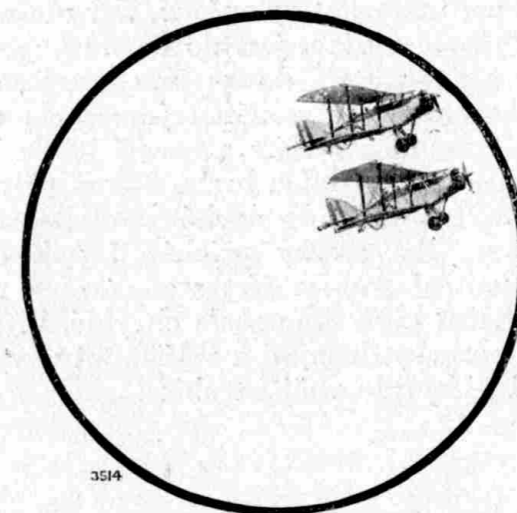


Obr. 222. Altitelemetr fy Barr a Stroud.

telemetry opatřovány zařízením, kterým lze přímo výšku měřiti. Přístroji pak říkáme *altitelemetr*. Popisování výškoměrných zařízení by vedlo příliš daleko. Všechna řeší mechanicky, matematicky, geometricky nebo opticky trojúhelník, tvořený změřenou délkou a polohovým úhlem cíle. Takový devítistopový altitelemetr firmy Barr a Stroud jest na obr. 221. Na obr. 222. jest výrobek téže firmy

se základnou 4 m 57 cm. Výkonnost tohoto přístroje jest jistě neuvěřitelná, uvážíme-li, že jen průměr objektivů jest 70 mm.

Malé stereoskopické dálkoměry jednometrové vyznačují se slabým zvětšením pětinasobným a velikým zorným polem. Pro pozorování z krytu jsou stavěny telemetry periskopické, těch nejružnějších tvarů. Z nich často používaným jest malý padesáticentimetrový periskopický telemetr se zvětšením desetinasobným.



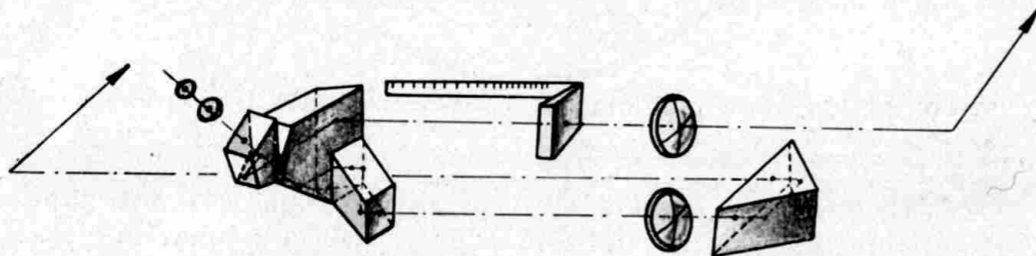
Obr. 223. Zorné pole ortho-pseudo-stereoskopického telemetru.

Ze zvláštních konstrukcí sluší uvést *dálkoměr ortho-pseudo-stereoskopický* firmy Barr a Stroud, spočívající na zajímavém efektu *pseudostereoskopickém*. Když totiž zaměníme levý stereogram za pravý, pak zvrátíme prostor tak, že body nejbližší stanou se nejvzdálenějšími a naopak. Představme si nyní ve stereoskopickém dálkoměru s pohyblivou značkou cíle a stereogram, mezi nimiž zůstala ještě určitá paralaxa — měření není tedy správně provedeno — ku příkladu cíl jeví se blíže. Přeměňme nyní oba obrazy cíle: cíl bude o tolik za, oč byl předtím před značkou. Značka jest tedy oběma obrazy cíle zarámována. Při měření se z obou stran obrazy přibližují ke značce, až vše jest v téže vzdálenosti. Značku zcela vypustíme a považujeme oba obrazy sobě vzájemně za značku, měříme, až paralaxa mezi nimi zmizí. Zorné pole takového telemetru jest znázorněno na obr. 223.

Přesnost tohoto systému jest dvojnásobná, protože paralaxa mezi oběma obrazy jest jednou tak veliká, jaká byla mezi obrazem a normální značkou. Kromě této výhody dlužno ještě uvážiti, že nějaká hypotetická chyba, způsobivší, že orthostereoskopický

obraz jest třeba dále, zobrazí pseudostereoskopický obraz blíže, takže na měření nemá chyba žádného vlivu, protože vzhledem ke správnému měření zvětší nebo zmenší symetricky paralaxu.

Jiné řešení, odstraňující vliv dejustáží na přesnost přístroje, jest prováděno firmou Srb a Štys u telemetru koincidenčního. Většina chyb má svůj původ v deformacích a změnách vnitřní trubice telemetru, to znamená, hlavně ve změnách vzájemné polohy objektivů. Telemetr firmy Srb a Štys má zamontovány dva objektivy těsně nad sebou, takže jest vyloučeno, aby uložení objektivů se pozměnilo. Aby to bylo možno, jest do chodu paprsků vsunut pomocný pravoúhlý hranol, který do systému nemůže vnésti žádných chyb, kromě výškové. Ostatní součásti jsou zcela obvyklé, až na speciální centrální hranolový systém, popsán již v odstavci o těchto prismech. Ze dvou pentagonálních hranolů jsou přiváděny paprsky do jednoho objektivu přímo, do druhého odrazem v pravoúhlém hranolu (obr. 224.). Oba svazky přicházejí pak do centrálního systému. Dlouhá vnitřní trubice jest zredukována na držák obou objektivů. Rektifikační klíny jsou zcela obvyklé. Přístroj jest do té míry necitlivý na poruchy denními a zvláštními vlivy, že jednotlivé členy lze upevniti přímo do vnější trubice.



Obr. 224. Dálkoměr fy Srb a Štys.

Jest těžko rozhodnouti, zda pro všeobecné účely jest doporučiti spíše dálkoměr koincidenční, anebo dálkoměr stereoskopický. Prvý nevyžaduje nikterak pečlivého výcviku měřiče, protože po stručném vysvětlení funkce přístroje může každý, sice s menší přesností, ale přece jen, měření prováděti. Měřič dálkoměru stereoskopického musí být pečlivě vybrán a řádně vycvičen, aby bylo dosaženo nutného výsledku. Při tom dlužno uvážiti, že únava způsobí velmi často značné úchytky v rovnoběžnosti očních os a tím případně zcela znemožní měření stereoskopické. Na druhé straně opět není každý cíl vhodný pro koincidenční telemetr, zvláště pak cíle nejasných obrysů bez markantních míst a cíle, nalézající se v ne zcela průzračné atmosféře, činí měření koincidenční velmi nejistým.

Konstruktivně jsou oba druhy dálkoměrů při téže základní

stavbě stejně závislémi na přesnosti výroby. Také derektifikace během měření způsobují u obou tutéž chybu. Pouze výšková chyba, která u telemetru koincidenčního jest většinou bez vlivu na přesnost měření, může při měření stereoskopickém zaviniti značné poruchy.

Přesnost dálkoměrů.

Předpokládejme ideálně vyrektifikovaný dálkoměr, se kterým provádí cvičený měřič serii měření. I když bude se snažiti nalézti střed pásma nejistoty rámováním, přece budou se jednotlivé výsledky od sebe lišiti. Rozbor chyby mohli bychom provésti způsobem obvyklým při zjišťování chyb přístrojů: odloučiti chybu osobní od chyb nahodilých a chyb instrumentálních. Omezíme se však pouze na následující: přesnost měření jest zřejmě funkcí délky základny B a rozlišovací schopnosti oka spojeného s přístrojem. Pro určitou rozlišovací schopnost oka samotného bude tento faktor určen zvětšením dalekohledu Z , nehledě k jeho vlastní rozlišovací schopnosti, jejíž vliv však zanedbáme. Jako *výkonnost dálkoměru* označíme součin $B \times Z$. Zdálo by se tedy, že by bylo výhodné zvýšiti zvětšení úměrně se zmenšením základny. Přístroj by pak byl značně menší, takže by jej bylo lze lehce transportovati bez nebezpečí porušení rektifikace. Musíme však uvážiti, že na zvětšení závisí zorné pole a různé konstrukční prvky, které nedovolí v součinu $B \times Z$ jednu hodnotu přeháněti ve prospěch druhé.

Chyba přístroje, nebo chyba způsobená konstantní chybou měřiče, bude na malou vzdálenost malá, na velkou však roste úměrně se čtvercem vzdálenosti. Abychom přesnost měření mohli posouditi nezávisle na měřené dálce, vyjadřujeme úchytky měření ve vteřinách a nikoliv v metrech. Na příklad chyba 12" způsobí u dálkoměru o výkonnosti 11.2 (základna 80 cm, zvětšení 14 \times) na 1 km úchytku pět metrů, na 4 km osmdesát tři metry.

Při výcviku, srovnávání nebo justáží přístroje měřič vykoná serii měření, zjistí střední hodnotu a odečte ji od skutečné, geodetickým měřením zjištěné, dálky. Úchytku označme d , skutečnou dálku D . Chybu ve vteřinách vypočítáme pak podle vzorce:

$$\gamma = d \cdot \frac{B \cdot Z}{0,0000048 \cdot D^2}$$

Stupnice pro dálkové srovnání jsou děleny ve vteřinách. Bylo-li ku příkladu srovnáváno předchozím dálkoměrem na dálku 2500 m a byla-li zjištěna střední chyba $d = 125$ m, pak nastavíme na stupnici dálkového srovnání

$$\gamma = \frac{125 \times 0.8 \times 14}{0,000005 \times 25000^2} = 45''.$$

Naopak máme možnost vypočítati tímto vzorcem pravděpodobnou chybu, které se dopustí měřič s určitou rozlišovací schopností. Vzorec pak zní:

$$d = \gamma \cdot \frac{0,0000048 \cdot D^2}{B \cdot Z}.$$

Necvičený měřič může příkladně učiniti chybu 60". Na 2500 m uchýlí se o

$$d = 60 \times \frac{0,000005 \times 2500^2}{0.8 \times 14} = 165 \text{ m.}$$

Výrobci dálkoměrů udávají zpravidla v tabulkách možných chyb hodnoty, které vyplnou z posledního vzorce při osobní stále chybě měřiče deset až patnáct vteřin. Měřič musí být tedy dobře vycvičen, protože rozlišovací schopnost oka pro rozeznání nesprávné koincidence dvou rovnoběžných přímek, kde jedna jest pokračováním druhé, jest asi 30".

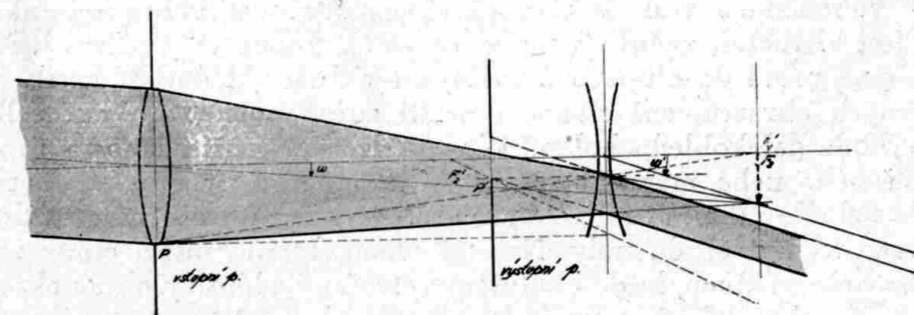
Pro paralaxu stereoskopickou bude asi platna táž hodnota. Pro informaci připojujeme tabulku pravděpodobných chyb telemetru o základně 80 cm a zvětšením 14krát (výkonnost 11.4) a telemetru o základně tři metry a zvětšením 25krát (výkonnost 75).

Výkonnost	Dálka v metrech:										
	500	1000	1500	2000	3000	4000	5000	6000	8000	10000	12000
11,4	1.3	5.2	12	21	47	83	130	187	—	—	—
75	—	0.8	1.7	3.1	7.0	12	19	28	50	78	112

Tyto hodnoty samozřejmě se vztahují na dobře vyrektifikovaný a srovnaný přístroj, na vycvičeného a odpočatého měřiče, dobrou viditelnost a klidnou atmosféru. Nejsou-li všechny tyto podmínky splněny, pak je nutno tyto úchytky zdvojnásobiti případně čtyřnásobiti.

Dalekohled holandský.

Tento jednoduchý přístroj, někdy také nazývaný dalekohled *Galileův*, byl objeven roku 1608 v Holandsku. Tvoří jej dvě čočky; dříve než spojka — objektiv — předmět zobrazí, rozptýlí před její ohnisko vřazený konkávní okulár hlavní paprsky tak, že úhel, který svírají s optickou osou, se zvětší (obr. 225.). Ohniskové roviny objektivu a okuláru splývají jako u dalekohledu astronomického. Paprsky, vycházející z okuláru, jsou rovnoběžné, jako by přicházely z nekonečna. Předmět, který se prostému oku jeví pod úhlem ω



Obr. 225. Konstrukce obrazu a výstupní pupily v dalekohledu holandském.

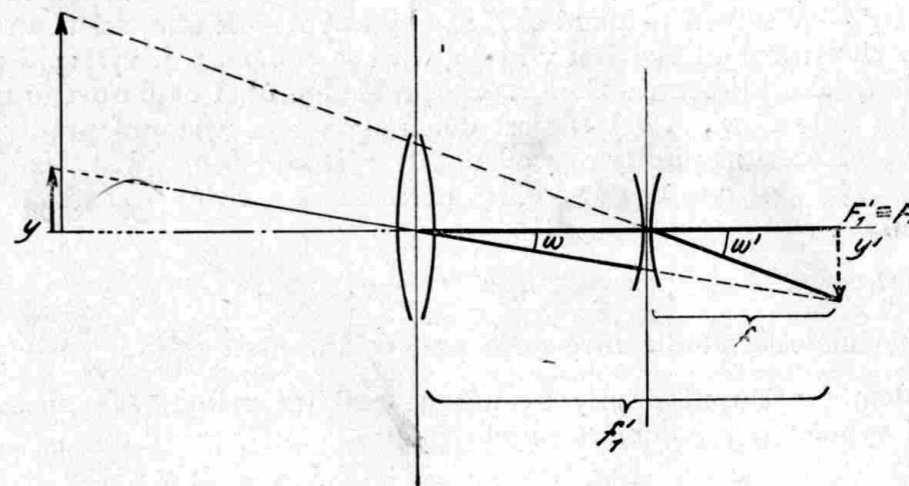
objeví se dalekohledem ve větším úhlu ω' . Vidíme, že úhel ω jest pro týž obrázek y' předmětu y určen ohniskovou vzdáleností objektivu f_1' . Úhel ω' je tvořen stejným obrázkem y' a ohniskovou vzdáleností okuláru f_2 (obr. 226.). Zvětšení vypočítáme obdobně jako u dalekohledu Keplerova z poměru obou úhlů:

$$Z = \frac{\text{tg } \omega'}{\text{tg } \omega} \text{ anebo} \quad \dots (52)$$

podle předchozí úvahy:

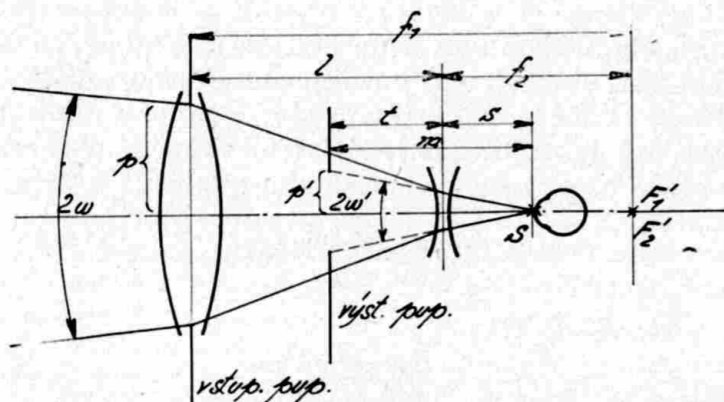
$$Z = \frac{f_1'}{f_2} \quad \dots (53)$$

I tento vzorec se kryje s oním pro dalekohled astronomický.



Obr. 226. Výpočet zvětšení holandského dalekohledu.

Všimněme si však, že obrázek y' ve skutečnosti vůbec nevznikne — jest virtuální, zdánlivý, neboť se nalézá mimo celý přístroj. Nemůžeme proto do ohniskové roviny objektivu vkládati žádných záměrných obrazců, ani clonou omeziti zorné pole. Toto jest velká nevýhoda dalekohledu holandského; nelze jej použítí jako přístroje záměrného nebo měřicího, nýbrž výhradně pro pozorování. Zorné pole nebude nikterak ostře ohraničeno, nýbrž ku kraji bude světlost obrazu klesati až do nuly. Neostrá clona, kterou místo clony zorného pole uvidíme, bude okulárem vytvořený zdánlivý obraz objektivu. Na obr. 225. jest provedena konstrukce výstupní pupily obvyklým způsobem. K bodu P jest nalezen jeho obraz P'.



Obr. 227. Výpočet zorného pole holandského dalekohledu.

Pro posouzení velikosti zorného pole dlužno uvážiti vztah clony — v našem případě obrazu objektivu — k oku, ležícímu na ose clony. Pokud oko jest v klidu, dívá se clonou, t. j. výstupní pupilou, jako klíčovou dírkou, takže přehlédne úhel okulárového zorného pole $2\omega'$. Úhel ω' jest dán poloměrem výstupní pupily p' a vzdáleností m pupily oka od pupily výstupní (obr. 227.). Vzdálenost výstupní pupily od okuláru označíme t a vzdálenost oka S od okuláru s .

Platí, že
$$tg\omega' = \frac{p'}{m}.$$

Hledáme však předmětové zorné pole ω , kde platí vztah $\frac{tg\omega'}{Z} = tg\omega$.

Poloměr výstupní pupily nemůžeme změřiti, máme však možnost jej vypočítati z poloměru objektivu p :

$$p' = \frac{p}{Z}. \quad \text{Tedy} \quad tg\omega = \frac{p}{m Z^2},$$

při čemž

Podle vzorce

$$m = t + s.$$

$$\frac{1}{b} = \frac{1}{a} + \frac{1}{f} \quad \text{jest}$$

$$\frac{1}{t} = -\frac{1}{f_1 - f_2} - \frac{1}{f_2}$$

$$t = \frac{(f_1 - f_2) - f_2}{f_1},$$

kde délka dalekohledu

$$l = f_1 - f_2$$

a zvětšení

$$Z = \frac{f_1}{f_2},$$

takže

$$t = -\frac{l}{Z}.$$

Dosadíme

$$tg\omega = \frac{p}{\left(s - \frac{l}{Z}\right) Z^2}.$$

Poloviční zorné pole holandského dalekohledu jest

$$tg\omega = \frac{p}{Z(Zs - l)} \dots (54).$$

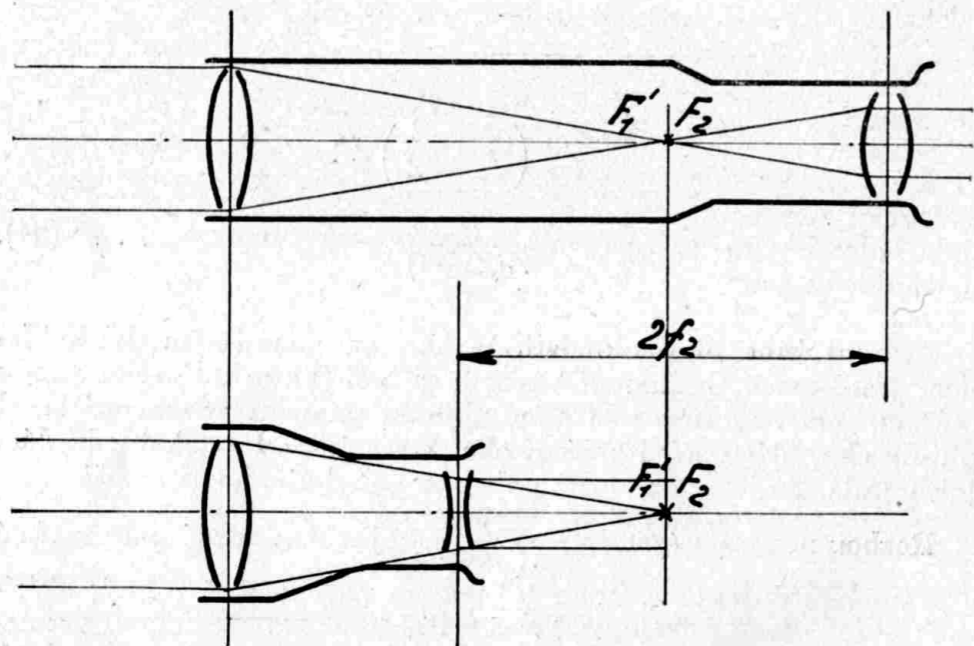
Dosud jsme předpokládali, že oko za holandským dalekohledem jest pevné. Uvážíme-li však, že se pohybuje kol svého středu otáčení, pak nemůžeme za střed sbíhání paprsků považovati střed pupily oka, nýbrž střed otáčení oka, který jest od dalekohledu dále jak pupila. Bude proto zorné pole oka pohybujícího se menší.

Rozborem vzorce $tg\omega = \frac{p}{Z(Zs - l)}$ zjistíme: zorné pole vzrůstá s průměrem objektivu. Proto jej volíme vždy značně veliký; získáme tím i vysokou světelnost, která u těchto dalekohledů není tak snadno dosažitelná, jako u dalekohledů se spojným okulárem. Nejvíce je zorné pole závislé na zvětšení. Je to patrné ze vzorce i z úvahy, že se vzrůstem zvětšení zmenšuje se průměr výstupní pupily, kterou oko používá jako průhledu. Proto holandské dalekohledy jsou použitelné, jen pokud jejich zvětšení není větším asi šesti-násobného.

Dále zorné pole jest závislé na délce dalekohledu. Čím jest tato menší, tím jest zorné pole větší. Spojíme-li tuto podmínku s požadavkem velkého průměru objektivu, vyplyne snaha zvýšiti světelnost objektivu. Jest to dobře možno, neboť vzhledem k slabému zvětšení nebudou značnější zobrazovací vady na obtíž; zvláště také proto, když některé z nich (astigmatismus) jsou konkávním okulárem do jisté míry kompensovány.

Samozřejmě budeme hleděti oko co nejvíce k dalekohledu přiblížiti, pročez pryžové mušle vytvoříme co nejplošší.

V mnoha případech bude míti dalekohled holandský převahu nad hranolovým. Jeho mechanická i optická konstrukce jest značně jednodušší, takže cena bude nepoměrně nižší. Také váha přístroje bude zcela nepatrná. Délka dalekohledu astronomického jest dána součtem ohniskových vzdáleností, kdežto u dalekohledu holandského musíme uvažovati o jejich rozdílu. Dalekohled holandský bude proto o dvojnásobnou ohniskovou vzdálenost okuláru kratší (obraz 228.). Při silnějším zvětšení nebude ovšem rozdíl tak markantní. Světelné ztráty absorbcí a odrazem jsou taktéž mnohem menší, neboť odpadají vzpřimovací hranoly i složitý okulárový systém.



Obr. 228. Srovnání délek dalekohledu Keplerova a holandského.

Chceme-li u triedru zvýšiti světelnost, jest snad nutným následkem naší snahy zvětšení vrstev skla v hranolech, čímž jasnost obrazu jest opět snížena. Vysoká světelnost holandského dalekohledu jest téměř nutná v zájmu potřebného zorného pole a proto se osvědčuje jako noční dalekohled, kdy mnohdy předčí při slabých zvětšeních dalekohledy hranolové.

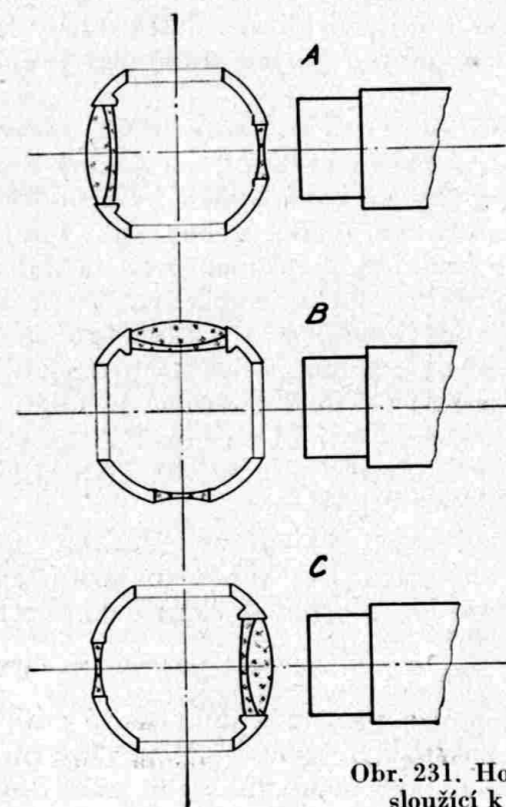
Při silnějším zvětšení není však holandský dalekohled použitelný, neboť zorné pole jest zcela nepatrné. Také zmíněná již nemožnost užití záměrného obrazce, zatlačila značně tento druh dalekohledu.

Užívá se jej téměř výhradně jako divadelního kukátka se zvětšením asi dvojnásobným (obr. 229.). Někdy jako levného polního kukátka se zvětšením tří až šestinásobným (obr. 230.). Ze speciálních konstrukcí jest uvésti malé holandské dalekohledy, opatřené stranicemi a nosníkem, takže je lze nasaditi jako brýle. Systém holandského dalekohledu užívá se také pro získání různého zvětšení



Obr. 229. Divadelní kukátko 2·5 x.

Obr. 230. Holandský dalekohled 4 x.



Obr. 231. Holandský dalekohled, sloužící k výměně zvětšení.

dalekohledu jiného, na př. periskopu. Zařízení jest znázorněno na obr. 231. V poloze A jest před dalekohled, o zvětšení na př. třinásobném, předřazen holandský systém, zvětšující dvakrát. Celá sestava zvětšuje tedy šestkrát. Otočením do B jest holandský dalekohled vyřazen, neboť pozorujeme otvory otočného válce, takže jest nastaveno zvětšení trojnásobné. V poloze C jest představený dalekohled otočen tak, aby zmenšoval. Výsledné zvětšení bude jedenapůlnásobné.

Snahy po zvětšení zorného pole vedly k použití pomocné konvexní čočky mezi objektivem a okulárem. Tato čočka zobrazí objektiv blíže k okuláru, takže zorné pole se asi o 10% zvětší. (Busch)

O způsobu měření zvětšení holandského dalekohledu bude zmínka v kapitole o kolimátorech. Zorné pole měříme podle německého způsobu tak, že šest milimetrů od okuláru vložíme clonu o průměru šesti milimetrů a nyní teprve najdeme, jak velikou část měřické latě čteme na určitou vzdálenost, případně užijeme vhodného kolimátoru.

Dalekohledy hvězdářské.

Galilei i Kepler konstruovali své dalekohledy k účelům astronomie, jistě netušíce, jakých jiných uplatnění jejich vynálezy naleznou.

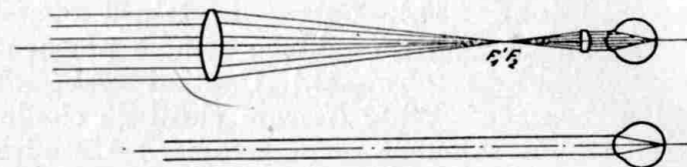
Hvězda jest ideálním svítícím bodem. Jako opravdový bod bude vždy zobrazena, při každém zvětšení, na jediný zrakový element. Záleží nyní na tom, aby zraková buňka byla podrážděna tím největším možným množstvím světla, neboť pak, i když hvězda jest velmi tmavá, přece bude zpozorována. Systém dalekohledu a oka má jako vstupní pupilu plochu objektivu, která tvoří základnu světelného válce, jehož vrcholem v nekonečnu je svítící hvězda. Dalekohled změní průměr tohoto válce na průměr výstupní pupily, při čemž množství světla ve válci obsažené je totéž. Světlo je jaksí mnohem »hustší«, jak ze srovnání na obr. 232. je patrné. Oko, pozorující dalekohledem, obdrží tolik světla, jako kdyby jeho pupila měla průměr použitého objektivu.

Množství světla je opět vyjádřeno plochou objektivu πh^2 , kde h je poloměr objektivu. Dalekohledem uvidí tedy oko tolikrát světleji, kolikrát se vejde plocha objektivu do plochy oční pupily $\pi h'^2$. Jelikož ale $\frac{h^2}{h'^2} = Z^2$, jasnost vzroste se čtvercem zvětšení.

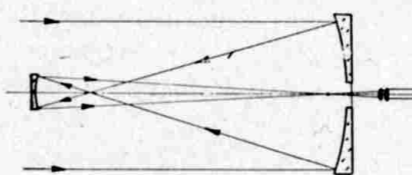
To však platí pouze pro opravdu bodové zdroje. Protože výstupní pupila dalekohledů hvězdářských je vždy menší než pupila oka, budou se plochy, jako příkladně nebe, zdáti tmavší. Tak bude

kontrast mezi hvězdou a pozadím ještě zvýšen. Proto velkými přístroji lze za příznivých okolností pozorovati hvězdy i za dne.

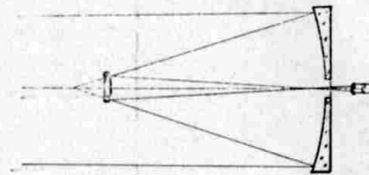
Oko rozliší ještě dva body od sebe, které se mu jeví pod úhlem aspoň $1'$ (viz kapitolu »Rozlišovací schopnost oka«). Rozlišovací schopnost bude dalekohledem Z -krát zvýšena. Nazvemež úhel tvořený středem objektivu a dvěma velmi blízkými body, které jest rozlišiti, β , pak platí $\beta = \frac{60''}{Z}$. Teoretická rozlišovací schopnost na příklad triedru 6×30 bude tedy $10''$. Při této úvaze předpokládáme, že obraz není zhoršen aberacemi anebo úkazy ohybovými.



Obr. 232. Světelnost hvězdářského dalekohledu.



Obr. 233. Dalekohled Gregoryův.



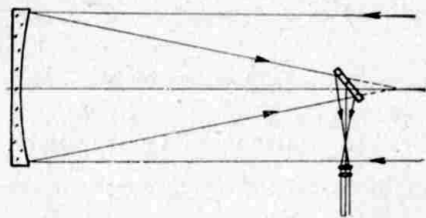
Obr. 234. Dalekohled Cassegrainův.

Obraz, tvořený objektivem, nesestává však z bodů, nýbrž ze samých ohybových úkazů (viz kapitolu o ohybu světla). Budou většinou tvaru koncentrických kroužků tím větších, čím méně světelný bude objektiv. Jejich nepříznivý vliv bude při silném zvětšení patrnější. Při daném průměru objektivu bylo by zvětšení, které by dalo menší pupilu než 1,0 až 0,5 mm, úplně zbytečným, protože bychom viděli sice obraz větší, nemohli bychom však rozeznati dalších podrobností. U dalekohledů pozemních nastane tento stav vyjíměčně, snad jen u geodetických strojů. Za to dalekohledy hvězdářské, kde se často jedná o rozlišení velmi blízkých dvojhvězdí, mají zvětšení vystupňována až na hranici danou rozlišovací schopností, pokud to ovšem atmosférické podmínky dovolí.

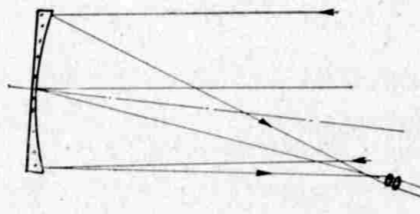
Astronomové užívají jednak dalekohledů dioptrických či refraktorů, jednak katoptrických či reflektorů. Výroba ohromných bloků skla pro objektivy nebo zrcadla jest značně obtížná. Největší

objektiv, který se podařilo zhotoviti, má v průměru 102 cm a ohniskovou vzdálenost 19 m. Největší zrcadlo o průměru pěti metrů jest montováno ve Spojených státech.

Princip reflektoru byl objeven Italem *Zuccim* roku 1616, tedy osm let po zjištění sestavení prvního dalekohledu vůbec. Snahou všech konstrukcí jest zpřístupnění okuláru ohniskovou rovinu vydutého zrcadla, pokud možno pomocí malého počtu ploch za současného zkrácení celé stavby dalekohledu a případně výhodného vykompensování některých aberací. Gregory vrátil malým vydutým zrcadlem, položeným za ohniskem, odražené paprsky zpět tak, že obraz vznikl ve vývrtu hlavního zrcadla a mohl být okulárem pohodlně pozorován (obr. 233.). *Cassegrain* taktéž opatřil hlavní zrcadlo otvorem, použil však vypouklého zrcadla pomocného, čímž zkrátil délku dalekohledu (obr. 234.). Opatření drahé zrcadlo vývrtem je dosti nebezpečné. Proto *Newton* vložil do chodu paprsků do pětačtyřiceti stupňů skloněné rovné zrcadlo, takže odrazil obraz do boku tělesa dalekohledu (obr. 235.). *Herschel* ušetřil pomocné zrcadlo vůbec, nakloniv zrcadlo hlavní asi o 1.5° . Vzniklé asymetrické aberace vyrovnal pravděpodobně tvarem zrcadla (obraz 236.).



Obr. 235. Dalekohled Newtonův.



Obr. 236. Dalekohled Herschelův.

Přechod k refraktorům tvoří zrcadlo Manginovo, které má tvar konkávního menisku s postříbřenou konvexní plochou. Zobrazení se zde děje jednak odrazem, jednak lomem. Podobného je používáno u *medialů*, dalekohledů, tvořících obraz čočkou i zrcadlem.

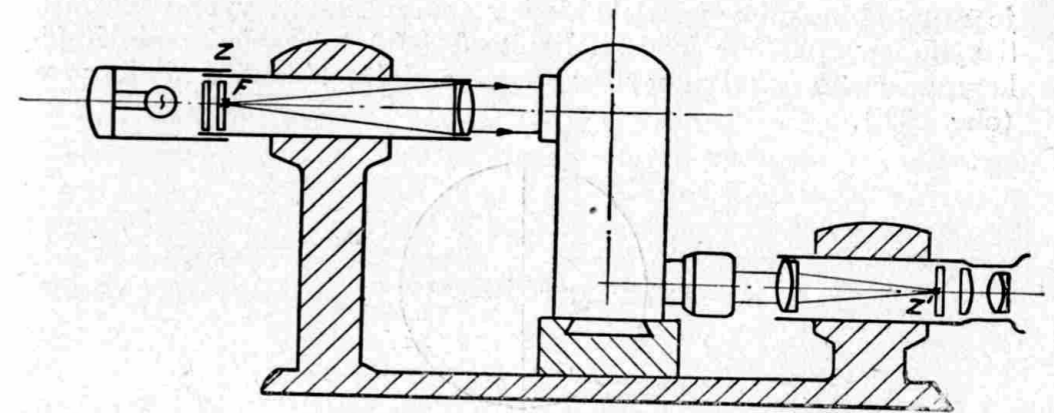
Zrcadla reflektorů nejsou sférická, nýbrž mají retušované zony, aby bylo dosaženo optima zobrazení. Otázka chromatických aberací se u nich nevyskytuje. Za to však koma ruší více než u refraktorů. Také temperatura u nich značněji obraz ovlivňuje. Je však možno dáti jim průměry mnohem větší než objektivům. Otázka pokovení jest u nich méně závažnou, než jak se zdá.

Kolimátory justážní, kontrolní a záměrné.

Kolimátory justážní.

Základní postavení většiny optických přístrojů jest jejich zaostření do nekonečna, při čemž optická osa zaujímá rovnoběžný směr s nějakou jinou, ať již mechanicky či opticky určenou přímkou. Přístroje, které umožní tyto prvky nastavit nebo kontrolovat, nazývají se kolimátory.

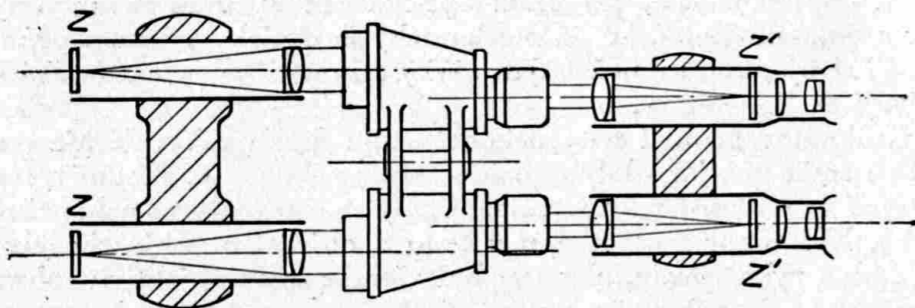
Kolimátor přiblíží tedy nekonečno na dosah ruky, dávaje paprskům směr týž, jako kdyby přicházely z nekonečna. Předmět, nacházející se v ohniskové rovině spojky, jest jí promítnut nekonečně daleko. Kolimátor bude složen z testu a objektivu. Objektiv musí býti řádně vykorigován, aby test byl všemi pásmy objektivu zobrazen opravdu do nekonečna; sférická aberace a ostatní vady na ose by způsobily případně dosti závažné úchyly. Pokud lze, eliminujeme chromatismus pomocí filtrů nebo monochromatickým osvětlením testu. — Někdy jest výjimečně použito rozlehlejšího testu, takže vycházející paprsky svírají s osou dosti značný úhel. Pak musí objektiv býti korigován i pro aberace mimo osu. Justážní a kontrolní kolimátory jsou velmi pevně uloženy, aby derektifikace jich samotných nás nesváděla k nesprávným uzávěrům o rektifikačním stavu zkoušených přístrojů.



Obr. 237. Justážní kolimátor.

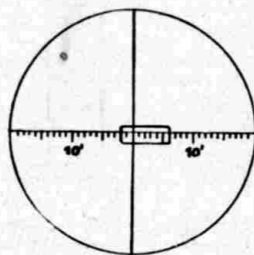
Na obr. 237. jest jednoduchý kolimátor, sloužící pro správné ustavení záměrné deštičky dalekohledu do ohniska objektivu, přesné zaostření okuláru na značku deštičky a správné ustavení optické osy. Kolimátor jest tvořen korigovaným objektivem, křížovým testem, upevněným přesně v ohniskové rovině objektivu a žárovkou se žlutozeleným filtrem. Pro zvýšení přesnosti není obraz pozorován přímo, nýbrž pomocným dalekohledem, který jest taktéž opatřen

záměrným křížem. Kříže pomocného dalekohledu a kolimátoru jsou tak ustaveny, aby se kryly, když optická osa zkoušeného dalekohledu jest ve správné poloze. Jinak, když tato není rovnoběžná s nějakou mechanicky určenou přímkou, vidíme kříže dva. Kříž zkoušeného dalekohledu musí být ostrý současně s testem.



Obr. 238. Kolimátor pro justáž triedrů.

Téhož zařízení užijeme pro nastavení rovnoběžnosti os binokulárních přístrojů. Jsou to dva kolimátory a dva dalekohledy, uložené v masivních držácích, mezi které se vkládá zkoušený dalekohled (obr. 238.). Při rovnoběžných optických osách dvou polovin dalekohledu musí záměrné kříže pomocných dalekohledů se kříži kolimátorů. Nekryjí-li se však výškově, stranově nebo úhlově, pak je nutno binokulární dalekohled v tomto smyslu vyrektifikovati. S výhodou opatříme kříže kolimátorů ještě tolerančním obdélníčkem, značícím úchytku osy 1' nahoru a dolů, 2' vně a 6' k nosu (obr. 239.).



Obr. 239. Záměrná deštička kolimátoru pro justáž triedru.

Kolimátoru lze užiti také pro měření optických konstant dalekohledu. Záměrné kříže kolimátorů i kontrolních dalekohledů bývají za tím účelem opatřeny dělením. Vřazením dalekohledu o určitém zvětšení, zvětšíme obraz kříže kolimátoru v kontrolním dalekohledu a z poměru dílků zvětšených k dělení v okuláru zjistíme velmi přesně zvětšení.

Nasazením kolimační čočky na kontrolní dalekohled přeměníme jej v dalekohledovou lupu nebo mikroskop. Můžeme jej pak posouváním ve směru osy zaostřiti na výstupní pupilu zkoušeného dalekohledu a na vhodném okulárovém mikrometru kontrolního dalekohledu změřiti její průměr.

Zvláště holandský dalekohled můžeme vlastně jen tímto způsobem proměřiti, protože Ramsdenovu dynametru není výstupní pupila přístupná.

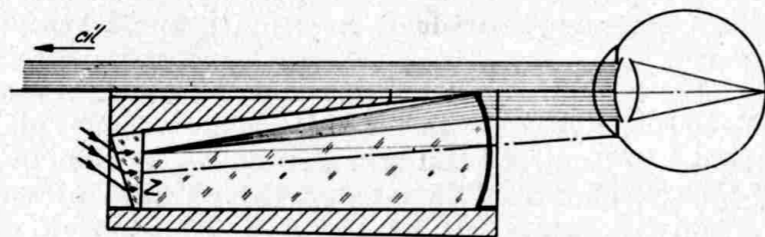
Pro justáž velkých binokulárních dalekohledů jest používán podobný kolimátor, patřičně dimensovaný. Soustrojí kolimátoru a dalekohledu použijeme samozřejmě vždy při justáži složitějšího systému hranolů, neboť optické osy dalekohledu a kolimátoru náležitě definují směr paprsků do zkoušených hranolů vystupujících a vystupujících.

Někdy není možno provésti justáž nebo kontrolu přístroje na ideální nekonečno, nýbrž pouze na nějakou konečnou vzdálenost. Pak nebude ovšem zaměřený test zobrazen do roviny záměrné značky, nýbrž blíže k oku. Vzniklá paralaxa by ohrozila přesnost výsledku a proto zobrazíme test předřazenou jednoduchou spojkou do nekonečna. Test a tato kolimační čočka tvoří vlastně opět kolimátor. Takové jednoduché čočky o ohnisku 2 až 60 m používáme při justáži dalekohledů, při srovnávání telemetrů na lať, jakož i pro přizpůsobení dalekohledu pro kratší vzdálenost. Systém takový nazýváme »dalekohledová lupa«. Bývá jí užíváno k těm nejrozmanitějším účelům i místo slabého mikroskopu (viz binokulární lupy). Sadou pomocných čoček můžeme dalekohled přizpůsobiti různým vzdálenostem předmětu. Pokud je dále, vystačíme i se skly brýlovými, pro menší vzdálenosti musíme představit čochy achromatické, které pro binokulár musí býti excentrické, jakoby vyříznuté z jediného velkého achromatu. Jen tak zachováme paralelitu vystupujících os, při správné konvergenci paprsků mezi dalekohledovou lupou a předmětem.

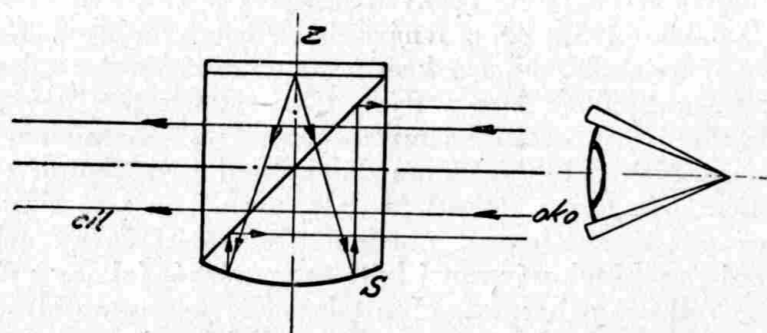
Kolimátory záměrné.

Někdy jest používáno malých kolimátorků jako záměrného přístroje místo dalekohledu. Kolimátor záměrný jest tvořen značkou vyrytou do vrstvy laku nebo stříbra a čočkou ve vhodné objímce. Nejčastěji jest užito skleněného hranolu, na jedné straně opatřeného sférickou plochou, na druhé průsvitnou značkou v tmavém poli. Oko, zaměřující kolimátorem, je v takové poloze, že do jedné části pupily vchází paprsky přímo od cíle, do druhé části z kolimátoru. Mezi oběma jest pás, odstíněný kovovou objímkou, který učiní obraz tmavším, sám však není patrný.

Značka jest buď tvaru kříže nebo vzhůru obráceného klínu. Prvá se nedoporučuje pro zdoluhavý způsob zaměřování, protože je nutno zaměřiti nejprve stranově a pak výškově. Hranolovité těleso kolimátoru můžeme tak upravit, že obraz záměrného klínu se zdá býti vysunut nad kolimátor a tím zlepšiti zaměřování; optickou osu kolimátoru jest nutno nakloniti do určitého úhlu a hrot značky umístiti trochu výše. Aby odstínění objímkou příliš nerušilo, musí být její horní část co nejtenší, případně část optiky necháme nechráněnou, jak na obr. 235. jest naznačeno. Firma Goerzova někde užívala klínovitých sklíček, nesoucích záměrnou značku za účelem získání více světla, protože klínem jsou zlomeny paprsky, přicházející z oblohy přímo do kolimátoru.



Obr. 240. Záměrný kolimátor.



Obr. 241. Záměrný kolimátor průhledový.

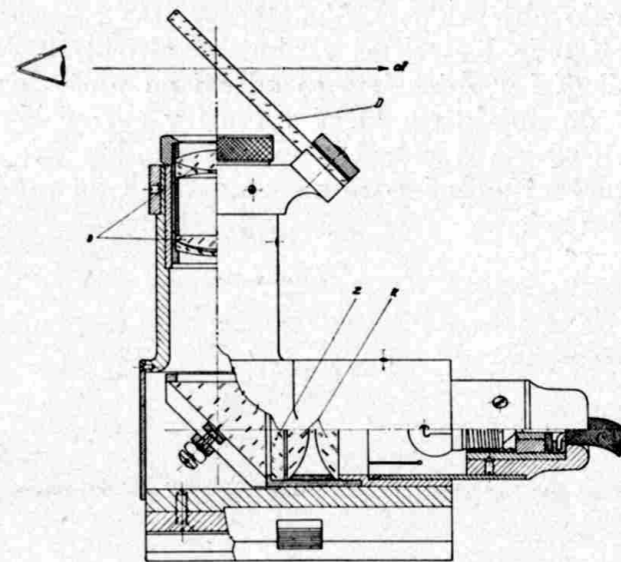
Záměrných kolimátorů existuje celá řada, avšak většina konstrukcí neodpovídá teoreticky ani prakticky svému určení.

Zmínky zasluhuje elegantní řešení americké. Dva pravouhlé hranoly jsou spolu na polopropustně postříbřené přeponě slepeny (obr. 241.). Horní hranol jest opatřen záměrnou značkou Z, dolní má odvěsnu S sférickou a postříbřenou, takže funguje jako vyduté zrcadlo. Jeho radius jest vypočítán tak, aby značka nacházela se právě v ohniskové rovině tohoto zrcadla, takže jest jím zobrazena do nekonečna. Oko, hledící kolimátorem, vidí polostříbřenou vrstvou přímo cíl. Na téže vrstvě jsou odraženy do oka paralelní pa-

prsky, přicházející z vydutého zrcadla, takže oko vidí současně cíl i značku.

Rozšířením této konstrukce vyplyne často používaný záměrný kolimátor s překrývajícím se obrazem cíle a značky, bez vignetací a s větším zorným polem.

Je tvořen (obr. 242.) průsvitnou značkou v černém poli Z, která jest žárovkou a kondensorem K rovnoměrně prosvícena. Petzvalův objektiv O promítne značku Z do nekonečna. Rovnoběžné paprsky jsou planparalelní deštičkou D odraženy do oka, které průhledem deštičkou D pozoruje současně vzdálený cíl. Místo deštičky lze jako v prvním případě užiti dvou slepených pravouhlých hranolů s polopropustnou přeponou. V mnohých případech předčí tento kolimátor dalekohled; oko může se za ním volněji pohybovati a zorné pole není vlastně nikterak omezeno. S výhodou jej užijeme tam, kde je třeba rychlého zacílení a měření na cíle pohyblivé a pomíjivé (rozprasky, letouny).



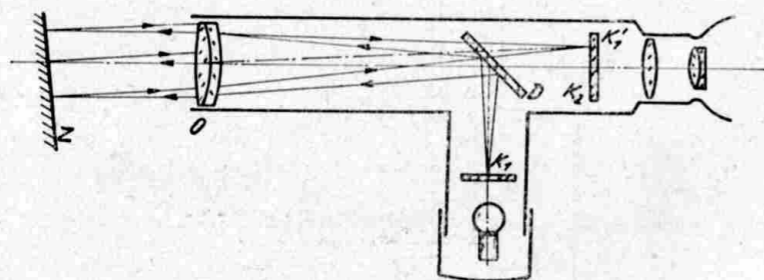
Obr. 242. Záměrný kolimátor průhledový.

O správnosti záměrného kolimátoru přesvědčíme se následujícím způsobem: zamíříme jej na velmi vzdálený bod a zajistíme. Pozorujeme pak z většího odstupu značku a cíl, pohybuje hlavou do strany. Značka musí při tomto pohybu stále tkvěti na cíli, případně se pohybovati v dovolených tolerancích. (Obyčejně 1 až 5 dc). Pohyb obrazu záměrné značky jest způsoben nesprávnou vzdáleností testu od optické plochy. Kolimátor tvořený jediným

hranolem nelze v takovém případě nikterak vyjustovati. Správnou délku kolimátoru kontrolujeme, případně justujeme, pomocným dalekohledem. Test kolimátoru musí se v něm objeviti zcela ostře. Rovnoběžnost záměrné osy kolimátoru s nějakou přímkou, danou upevněním kolimátoru, ustavujeme přiložením nebo upevněním příslušně opracované plochy kolimátoru k pomocnému dalekohledu. Dalekohled i kolimátor musí býti zaměřeny pak na též vzdálený bod.

Autokolimátory.

Často se při kontrole optických systémů osvědčí princip autokolimace. Kolimátor jest současně dalekohledem; musíme ovšem paralelní paprsky vrátiti zrcadlem zpět do objektivu. Na obr. 243. vidíme normální astronomický dalekohled, do kterého jest vložena šikmá skleněná deštička D , odrážející paprsky z prosvíceného záměrného kříže do objektivu O . Vzdálenost DK_2 se rovná vzdálenosti DK_1 , leží tedy K_1 taktéž v ohnisku objektivu. Rovnoběžné paprsky, vycházející z objektivu, se odráží na ploše hranolu nebo zrcadla Z zpět do objektivu, který vytvoří v rovině K_2 obraz K_1' značky K_1 . Je-li rovina Z kolmá k optické ose, kryjí se obrazy K_1' a K_2 . Úhel, který případně svírá s osou, je pak na posunu obrazu K_1' přímo měřitelný.

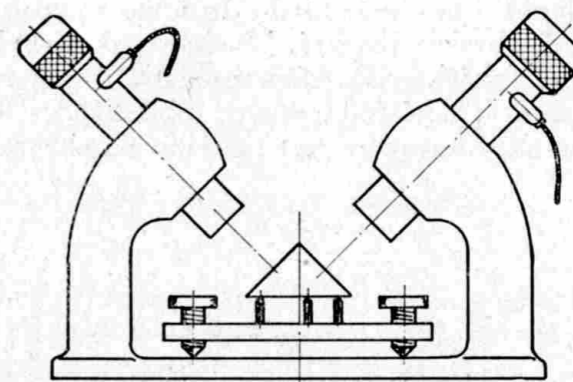


Obr. 243. Autokolimační dalekohled se zrcadlem.

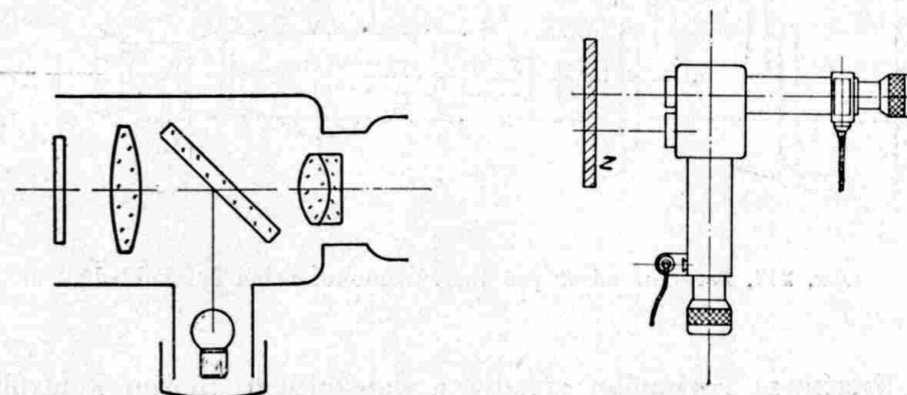
Přesnost, dosažitelná autokolimátorem, jest oproti normálnímu kolimátoru dvojnásobná, neboť úhel chyby se odrazem v zrcadle zdvojnásobí. Toto jest hlavní předností autokolimátoru.

Tímto zařízením změříme planparallelitu různých desek, případně jim předepsanou nepatrnou a těžko měřitelnou klínovitost, protože kolimační paprsky se odráží na obou plochách deštičky, takže obraz K_1' bude zdvojen. Zdvojení jest měřítkem klínovitosti. Můžeme také klín vložit do takového dispositivu mezi zrcadlo a

kolimátor. Několika pevně uloženými autokolimátory je možno velmi rychle kontrolovati složitý hranol (obr. 244.).



Obr. 244. Kolimátor pro kontrolu hranolů.

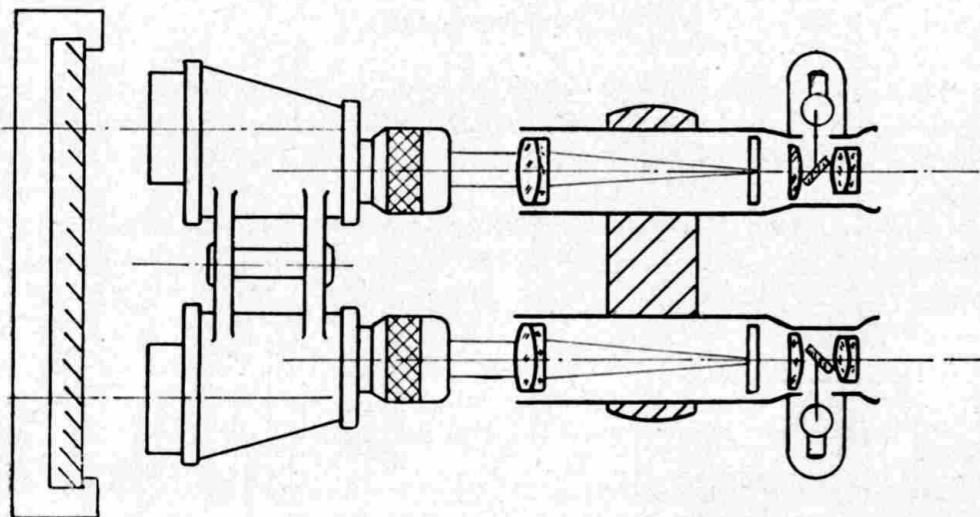


Obr. 245. Gaussův okulár.

Obr. 246. Kontrola paralelity opt. os dalekohledu autokolimací.

Právě popsaného autokolimátoru použijeme zvláště, když účel vyžaduje, aby tvar obrazce K_1 byl jiný než K_2 (ku př. K_1 jest ukazatelem a K_2 stupnicí). Jinak skýtá zařízení, opatřené Gaussovým autokolimačním okulárem, větších předností (obr. 245.). Výkon jest též, máme ovšem jako kritérium pouze zdvojení kříže. Mnohdy vystačíme s osvětleným záměrným obrazcem, jaký bývá užíván pro noční zaměřování. Značka je vyleptána nebo vyryta do skla s vyleštěným okrajem. Světlo malé žárovky, vpuštěné na jednom místě do deštičky, se difusně odráží na vyleptaných ryskách. Část těchto paprsků se dostane do oka a záměrný obrazec »svítí«. Pomocí nočního osvětlovače záměrného obrazce a rovinného zrcadla rektifiku-

jeme osy dalekohledů záměrných přístrojů, kde cíl je sledován dvěma mířiči, z nichž každý používá svého dalekohledu. Na oba dalekohledy nasadíme osvětlovače a uvedeme zrcadlo kolmo k ose jednoho dalekohledu, pohybující jím, až zdvojení záměrného obrazce zmizí. Není-li osa dalekohledu druhého s prvou rovnoběžna, jest jeho záměrný obrazec dvojitý. Musíme pak pohybovati rektifikačním ústrojím, (objektivem, záměrnou deštičkou, rektifikačním klínem), až obrazec je také jednoduchý (obr. 246.). Chod paprsků v dalekohledu nerektilifikovaném jest týž jako na obraze 243.



Obr. 247. Autokolimátor pro justáž binokulárních dalekohledů.

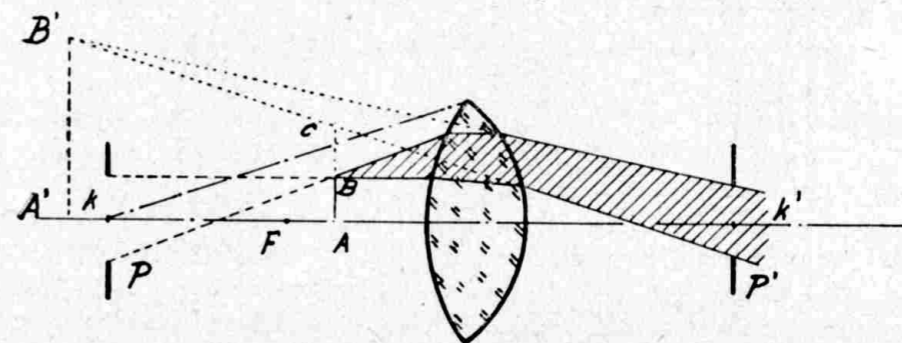
Systémem rovinného zrcadla a dalekohledu možno kontrolovati velmi malé pohyby zrcadla nebo dalekohledu. Tím způsobem měřil Poggendorf nepatrné ztočení zrcádka ku př. u zrcádkového galvanometru. Opačně opět můžeme rovinným zrcadlem zajišťovati polohu dalekohledu, jejíž změny lze se obáhati. Takové zrcadlo funguje pak třeba jako zajišťovací bod dělostřelce. Při tom může být velmi blízko děla a změny během střelby lze zjistiti s přesností dvojnásobnou.

Binokulární přístroje můžeme rektifikovati a kontrolovati dvěma autokolimátory a zrcadlem. Vložíme binokulár mezi zrcadlo a autokolimátory; srovnáme zrcadlo, aby v jednom okuláru byl kříž jednoduchý a rektifikujeme druhou část dalekohledu, až zmizí zdvojení kříže druhého. Přesnost této metody jest dvojnásobná oproti obdobnému způsobu s obyčejnými kolimátory (obr. 247.). Tímtož způsobem je možno rektifikovati dálkoměry.

MIKROSKOP A LUPA.

Lupy, zvětšení, světelnost.

Pozorujeme-li předměty pouhým okem, rozeznáme tím méně detailů, čím je předmět dále od oka. Vzdálenost od oka nemůžeme však libovolně zkracovati a jsme omezeni danou nejkratší vzdáleností předmětu, při níž oko ještě vidí předmět ostře. Normálním okem je možno ještě pohodlně pozorovati předměty (na př. čísti) na vzdálenost 250 až 300 m/m. Ve vzdálenosti 250 m/m rozezná oko detaily o velikosti asi $\frac{1}{20}$ mm. Pro pozorování jemnějších struktur je nutno použití buďto lupy neb (pro větší zvětšení) mikroskopu.



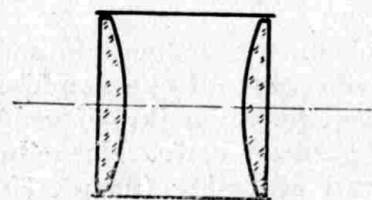
Obr. 248. Chod paprsků lupou (P' je vstupní pupila oka pozorovatele, P její obraz daný čočkou, AB je předmět, $A'B'$ je obraz).

Lupa podle své konstrukce dává zvětšení asi $2\times$ až $25\times$. Pozorovaný předmět je mezi ohniskem lupy a lupou; obraz je tedy vždy zvětšený a virtuální. Zvětšení lupy se udává normálně podle vzorce

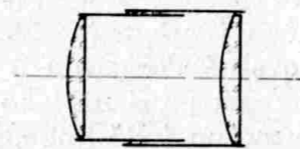
$$\text{Zvětšení} = \frac{250}{f} \quad (55),$$

kde f je ohnisková vzdálenost lupy v milimetrech. Je to zvětšení, jakého docílíme, pozorujeme-li lupou předměty, umístěné v jejím ohnisku. Obraz je pak v nekonečnu a jeví se pod zorným úhlem, zvětšeným v poměru $\frac{250}{f}$ (poměr tangente těchto úhlů) proti zorné-

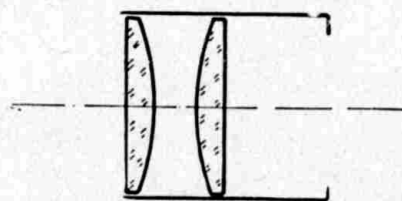
mu úhlu, pod kterým se předmět jeví při pozorování pouhým okem na vzdálenost 250 m/m. Obr. 248. znázorňuje chod paprsků z jednoho bodu pozorovaného předmětu AC . Vidíme, že vstupní pupilu u takové lupy tvoří zde pupila P' lidského oka (přesněji řečeno, její obraz P , daný čočkou do prostoru, kde se nalézá předmět). Obruba čočky hraje roli vstupního průhledu a tak zastupuje clonku zorného pole. Spojíme-li střed vstupní pupily k se clonou zorného pole (v našem případě s obrubou lupy), obdržíme střední zorné pole, jehož poloměr bude AC . Zorné pole se zvětší, přiblížíme-li oko k lupě.



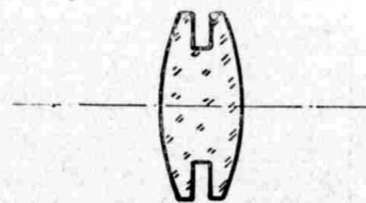
Obr. 249. Wilsonova lupa.



Obr. 250. Wollastonova lupa.



Obr. 251. Fraunhoferova lupa.



Obr. 252. Brewsterova lupa.

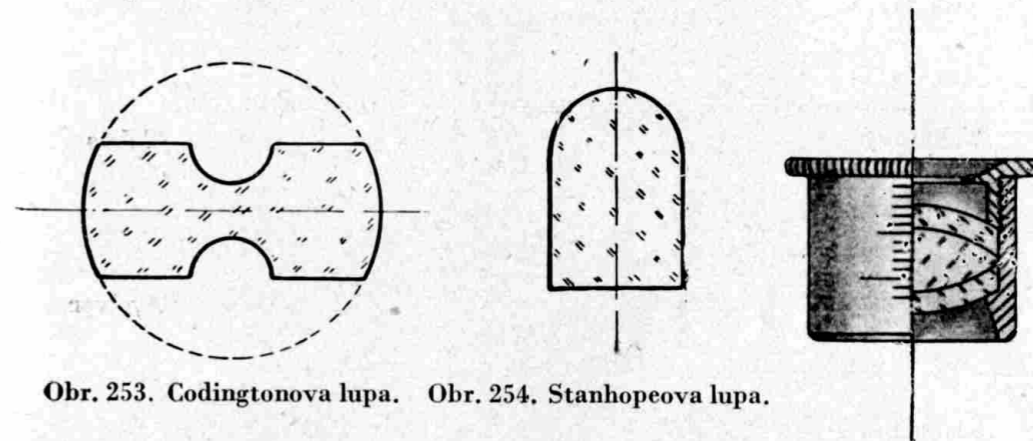
Světelnost takové lupy je určena průměrem oční pupily a nezávisí na čočce. U silně zvětšujících lup bývá však vstupní pupila vytvořena objímkou lupy a pupila oka má úlohu clony zorného pole. U takových lup závisí jejich světelnost na průměru lupy.

Vady obrazu, druhy lup.

Vady obrazu u jednočočkových lup, zvětšujících méně než $8\times$, nejsou příliš znatelné, alespoň pokud se nepožaduje velmi široké zorné pole. Jednoduchá čočka dá zřetelné zorné pole o průměru rovnajícím se asi jedné pětině ohniskové vzdálenosti. Vada sférická u plankonvexní čočky s rovnou plochou obrácenou k předmětu

začíná býti znatelná teprve u lup o ohnisku asi 10 m/m ($25\times$). Je-li lupa obrácena konvexní stranou k oku, je sférická aberace větší. Chromatická aberace se jeví znatelně již u lup o zvětšení $10\times$ i méně. Je-li oko blízko u čočky, vyžaduje korekce astigmatismu a zkreslení, aby k oku byla obrácena rovná plocha u plankonvexní čočky. Při větších vzdálenostech oka je to naopak konvexní plocha čočky, která má býti obrácena k oku (lupy Visolett). Při větších zvětšeních a pro dosažení ostrého zorného pole o větším rozsahu je nutno komplikovati konstrukce lup.

Nejjednodušší složené lupy jsou ze dvou plankonvexních čoček ze stejného skla (obr. 249., 250. a 251.).



Obr. 253. Codingtonova lupa. Obr. 254. Stanhopeova lupa.

Obr. 255. Steinheilova lupa.

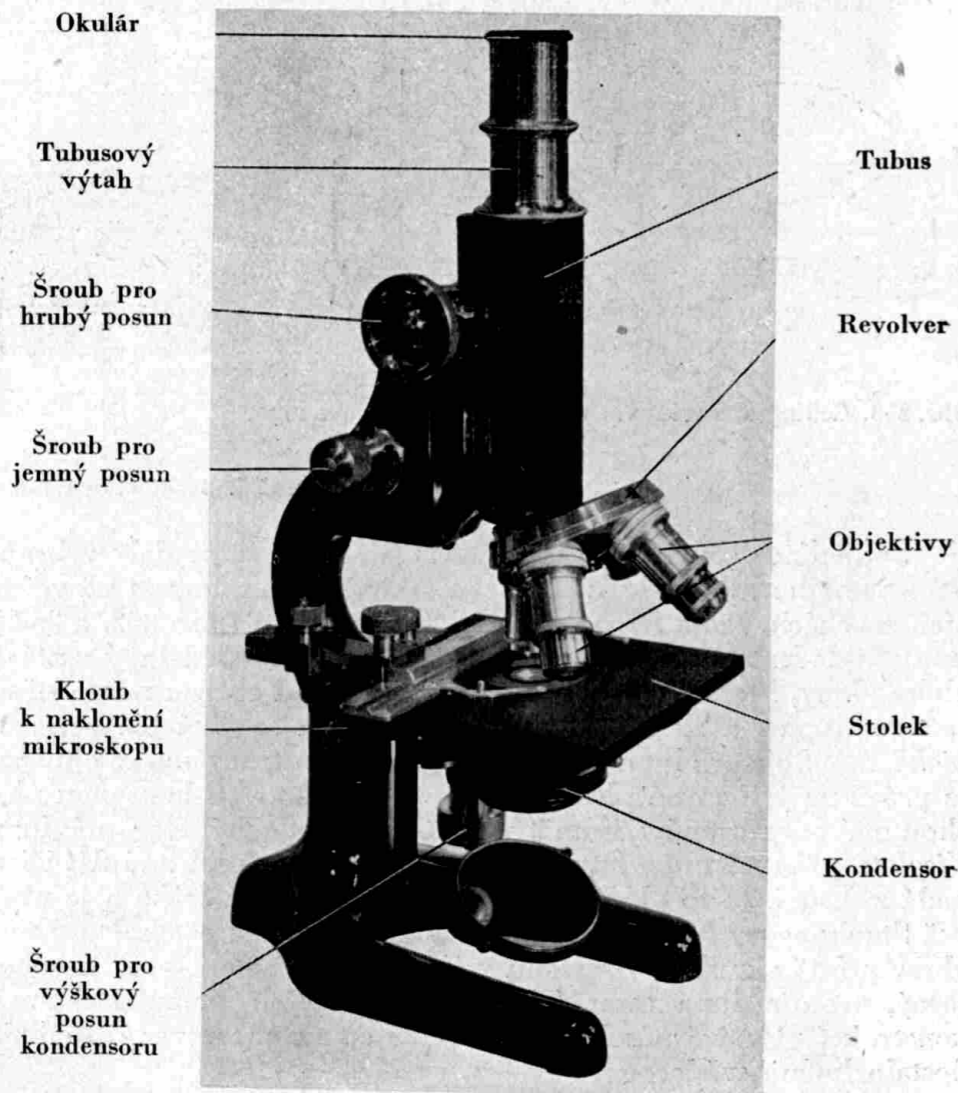
Spojením dvou čoček plankonvexních tak, aby se daly vybrousit z jednoho kusu skla, odstraní se ztráty světla odrazem na vnitřních plochách. Lupa *Brewsterova* a *Codingtonova* (obr. 252. a 253.) jsou příkladem takového provedení. Zúžení uprostřed lupy zastává úlohu clony, která má vliv na lepší korekci vad obrazu mimo střed (astigmatismus a zkreslení). Takovým lupám se říká též *periskopické*. *Stanhopeova* lupa (obr. 254.) je tak konstruována, že ohnisko je právě na její rovné ploše. Tato lupa se přímo klade rovnou plochou na pozorované předměty. Velmi jednoduchý tvar má lupa *Visolett*, před několika lety patentovaná v Německu, která dává jen malá zvětšení. Je to ploskovypuklá, poměrně tlustá čočka a je nižší než *Stanhopeovy* lupv. Plochá strana není v rovině předmětu. Dává obraz prostý zkreslení v rozsahu svého zorného pole. Obraz je velmi jasný, protože lupa sama (alespoň za určitých podmínek) svojí konstrukcí příznivě působí k tomu, aby se na pozorovaný předmět dostalo hodně světla.

Lepší chromatickou korekci dávají lupy, složené z různých skel. Příkladem je lepená tříčočková lupa *Steinheilova* (obr. 255.),

složená ze střední složky bikonvexní z korunového skla a z dvou vnějších stejných čoček meniskových z flintového skla.

Mikroskop, všeobecná část.

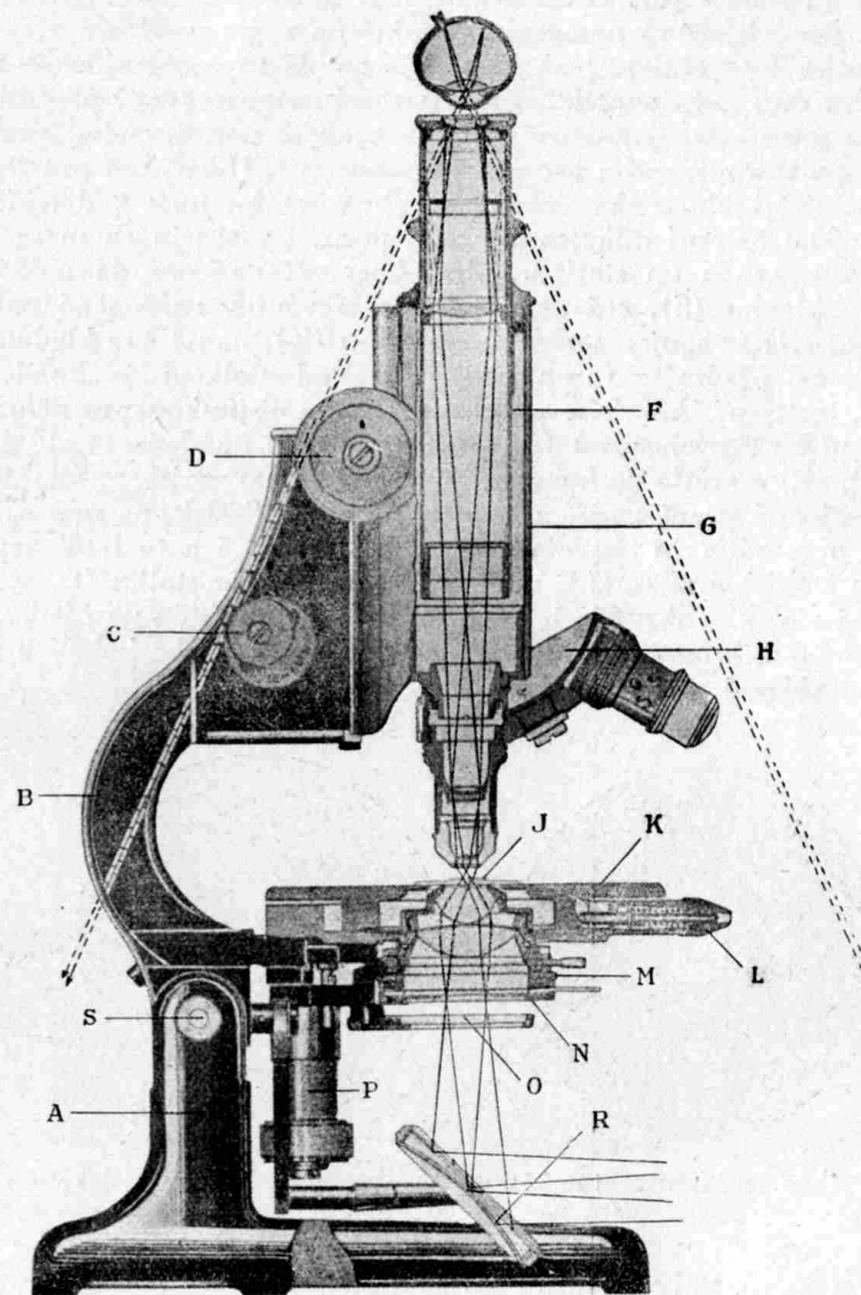
Pro větší zvětšení, nežli je možno dosáhnouti lupou, se používá mikroskopů (obr. 256.). Mikroskopy s malým zvětšením (10 \times , 20 \times a pod.) mnohdy výhodně nahrazují lupy, poněvadž umožňují snadnější pozorování předmětu. Též vzdálenost mezi první čočkou



Obr. 256. Mikroskop.

mikroskopu a předmětem při takových zvětšeních daleko převyšuje vzdálenost, kterou vyžaduje pozorování silnější lupou.

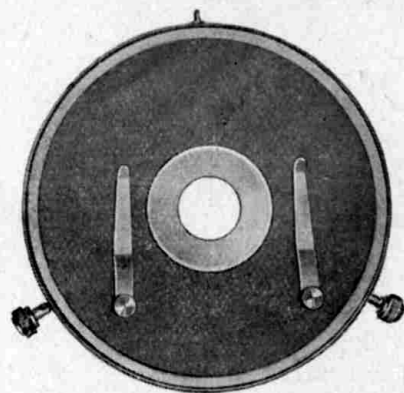
Hlavní součástí optiky mikroskopu je objektiv, jenž dává z pozorovaného předmětu reální obraz, na který se díváme okulárem.



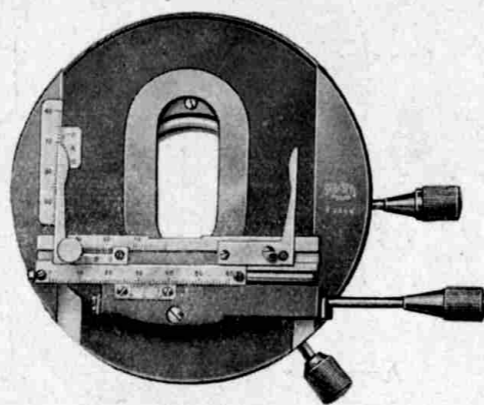
Obr. 257. Řez mikroskopem fy Srb a Štys, Praha.

K osvětlení průhledných předmětů dostatečně intenzivním světlem slouží kondenzor, umístěný pod stolcem mikroskopu.

Objektiv a okulár jsou nesený tubusem. Větší mikroskopy mají jednak širší vnější tubus (G na obr. 257.), jednak uvnitř vnějšího tubusu posuvný vnitřní tubus (F). Aby se snáze mohlo měnit zvětšení, jsou objektivy nasazeny obyčejně na t. zv. revolveru (H) pro 2,3 nebo 4 objektivy, jenž umožňuje rychlé zapojení žádaného objektivu do chodu paprsků. Pro zaostření na pozorovaný předmět je tubus posouvateľný výškově, jednak hrubým posunovacím šroubem (D), jednak zařízením pro jemný posun (C). U zařízení pro jemný posun (mikrometrický šroub) je obyčejně bubínek s dělením k přesnému měření mikrometrického posunu v tisícinách m/m. Tubus je upevněn na stativu, jehož horní část (B) se dá nakláněti okolo kloubu (S), což umožňuje pozorování v nakloněné poloze. S částí (B) je spojen stolek mikroskopu (K), na nějž se kladou pozorované předměty (preparáty) (J). Pod stolcem je kondenzor (M), opatřený dole irisovou clonou (N) a objímkou pro případné vložení barevných filtrů (O). Výškový posun kondenzoru obstarává šroub (P) a světlo do kondenzoru je přiváděno zrcátkem (R), které je na jedné straně rovné a na druhé vyduť. Stolek, na nějž se kladou preparáty, je obyčejně pohyblivý stranově a to buď pomocí dvou šroubů a péra (L), umístěných na obvodu stolku (t. zv. centrační stolek) [obr. 258.], nebo je preparát umístěn na části stolu, opatřené mikrometrickým posuvem ve dvou na sebe kolmých směrech (křížový stůl) [obr. 259.].



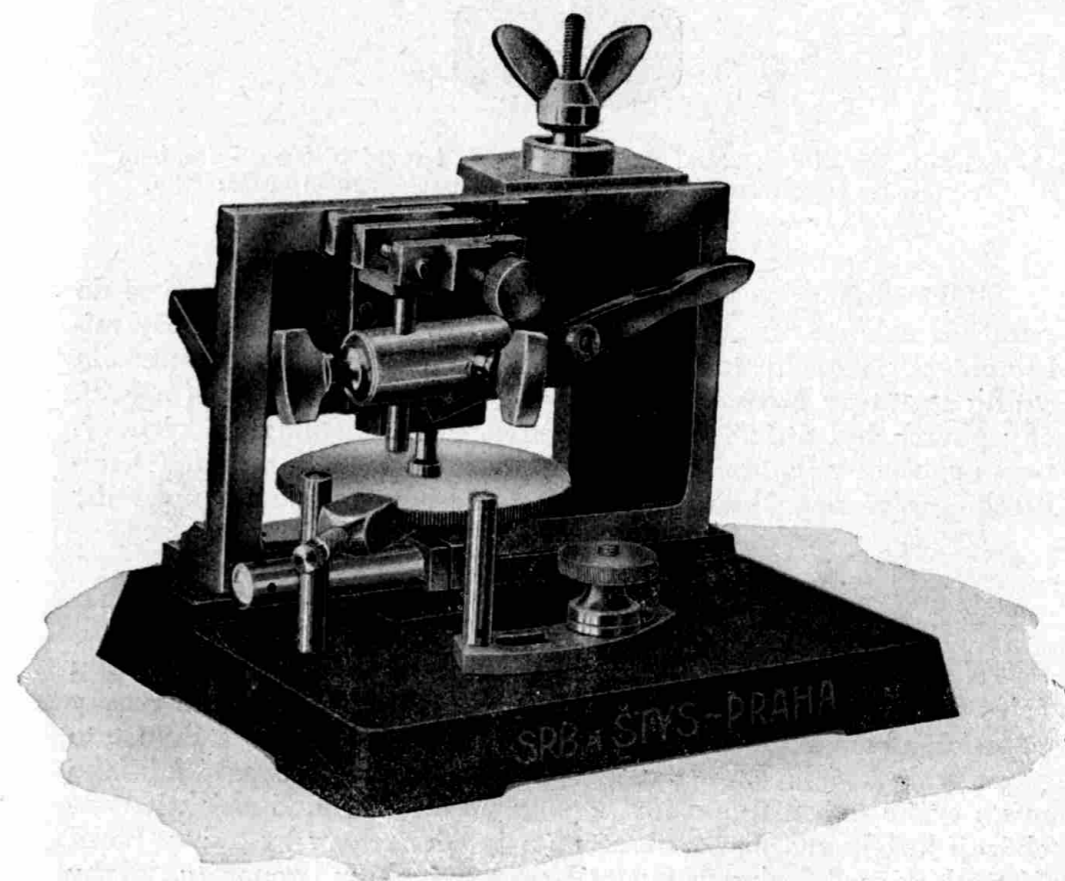
Obr. 258. Centrační stolek.



Obr. 259. Křížový stolek.

Křížové stoly bývají opatřeny měřítky pro odečtení posunů s přesností obyčejně $\frac{1}{10}$ m/m. Pro mikroskopické pozorování je zapotřebí vhodně upravit k pozorování určené předměty. Pro

mikroskopování průhledných předmětů musí býti zhotoveny jemné, na př. několik setin m/m silné řezy (řezy z živočišných a rostlinných tkání a pod.), nebo musí býti vybroušeny tenké průhledné lístky ze zkoumané horniny, nebo se na podložní sklíčko nanese jemná vrstva tekutiny, obsahující bakterie a pod. Vždy užíváme asi 1—2 m/m silného podložního skla, na které položíme řez nebo výbrus a přikryjeme tenkým (asi 0,1—0,2 m/m silným) sklem krycím. Preparát obyčejně je mezi podložním a krycím sklem uzavřen v tekutině nebo v nějakém průhledném prostředí. Nejjednodušší jsou preparáty, umístěné v kapce vody mezi oběma skly. Často se užívá též glycerinu a pro trvalé preparáty kanadského balsámu. Aby bylo možno rozlišit snáze strukturu objektu, jehož součástky se liší jen indexem lomu, barvíme obyčejně takové preparáty speciálními barvivy, která dají vyniknouti právě určitým částem preparátu, na kterých se případně barvivo více zachytí a tím umožní



Obr. 260. Malý sáňkový mikrotom.

přesnější pozorování. Způsoby barvení a preparování jsou velmi rozmanité a často komplikované. Řezy se zhotovují pomocí přístrojů, zvaných *mikrotomy* (obr. 260. a 261.).

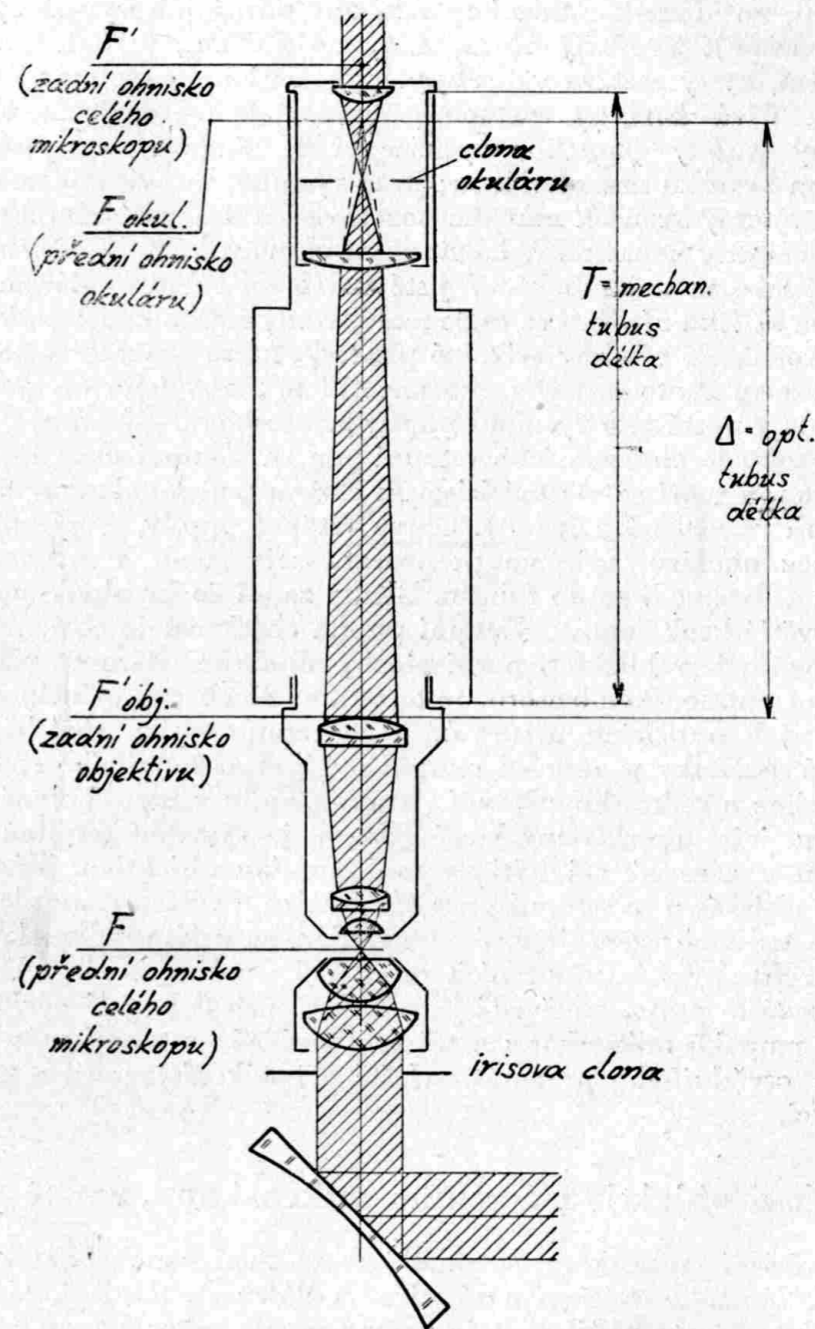


Obr. 261. Ruční mikrotom. Řezy se provádějí ruční břitvou a šroubem mikrotomu posouváme řezanou hmotou o potřebnou tloušťku řezu.

Měkké hmoty se preparují chemickými způsoby, zalévají se do parafinu nebo se zmrazují, aby bylo možno z nich dělati řezy mikrotomem. Neprůhledné předměty, jak je tomu při mikroskopickém studiu struktury kovů (metalografie), se na povrchu brousí a leští, aby povrch byl úplně rovný. Další preparace metalografických výbrusů spočívá v leptání různými chemickými činidly a pod. (O mikroskopování neprůhledných předmětů bude pojednáno později.)

Chod paprsků v mikroskopu.

Nyní si všimněme podrobněji chodu paprsků v mikroskopu (obr. 262.). Do kondensoru přicházejí přibližně rovnoběžné svazky paprsků, různě skloněné k ose mikroskopu; kondensor stáhne tyto paprsky do kuželů, které procházejí různými body preparátů blízko místa svého největšího zúžení a jdou do objektivu. Z objektivu vycházejí kužely značně prodloužené a jejich vrcholy by byly v horní části okuláru, kde by se vytvořil skutečný obraz preparátu, kdyby jim nestála v cestě první čočka okuláru, která způsobí, že reálný a zvětšený obraz se vytvoří o něco níže v rovině okulárové clony.



Obr. 262. Chod paprsků v mikroskopu.

Z poslední okulárové čočky vycházejí tyto kužely paprsků, náležející jednotlivým bodům na pozorovaném preparátu, ještě více prodloužené, takže jsou skoro navzájem rovnoběžné (a stávají se rovno-

běžnými, nařídíme-li mikroskop tak, aby obraz jím vytvořený byl v nekonečnu). Zvětšený obraz, daný objektivem, je dále zvětšen okulárem, který zastává v hrubých rysech úlohu podobnou funkci lupy a dává konečný virtuální obraz, jež pozorujeme okem. Všechny kužely paprsků, vycházející z okuláru, se protínají v malém kroužku nad okulárem; je to výstupní pupila mikroskopu. Tento světelný kroužek můžeme pozorovati u každého mikroskopu; stačí umístiti v nepatrné vzdálenosti od okuláru kousek průsvitného papíru nebo matné skličko. V jisté vzdálenosti nad okulárem uvidíme na skličku rýsovati se ostře malý, světlý kroužek. Tímto kroužkem procházejí všechny světelné paprsky, které se účastní na tvorbě obrazu. Proto je třeba oko umístiti tak, aby jeho vstupní pupila byla v místě této výstupní pupily mikroskopu. Výstupní pupila mikroskopu je obrazem jeho vstupní pupily. Vstupní pupila celého mikroskopu tvoří se vlastně irisovou clonou pod kondensorem (N) (alespoň ve většině případů). Obraz vstupní pupily, daný objektivem bez okuláru, můžeme pozorovati, sejmeme-li s mikroskopu okulár a díváme-li se do tubusu. Blízko zadní čočky objektivu uvidíme světlý kruh pupily. Vstupní pupila objektivu je obyčejně nepřístupná a je v blízkosti první plochy objektivu. Zároveň má být výstupní pupilou kondensoru. Je to ostatně všeobecný princip dobře sestavených optických přístrojů, že výstupní pupila předcházející optické součástky je zároveň vstupní pupilou následujícího systému. Tak máme u mikroskopu první vstupní pupilu v irisové cloně kondensoru, jejíž obraz daný kondensorem, je výstupní pupilou kondensoru a zároveň má být vstupní pupilou objektivu. Výstupní pupila objektivu je vstupní pupilou okuláru a výstupní pupila okuláru je tedy obrazem irisové clony, daným celým mikroskopem. Poloha vstupních a výstupních pupil má v mikroskopii velký význam zvláště proto, poněvadž je vodítkem pro dokonalé pochopení chodu paprsků mikroskopu a též pro správné nastavení světelného zdroje osvětlujícího preparát, zvláště při mikrofotografii a mikroprojekci.

Zvětšení objektivu a celého mikroskopu, zorné pole.

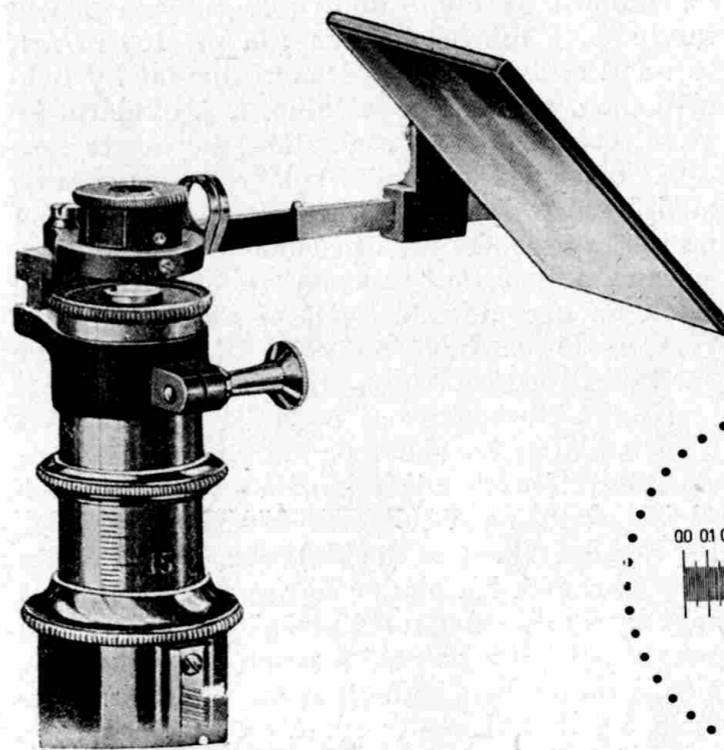
Zvětšení mikroskopu se skládá ze zvětšení daného objektivem a z okulárového zvětšení a závisí na vzdálenosti mezi okulárem a objektivem. Tato vzdálenost je určena u mikroskopů t. zv. *mechanickou délkou tubusu*, stanovenou nejčastěji na 160 m/m. Mechanická délka tubusu je vzdálenost od horního okraje tubusu (tam, kde dosedá okraj okuláru) až k ploše, v níž je závit k našroubování objektivu. Výška revolveru se počítá do tubusové délky. Mikroskopy, opatřené vnitřním posuvným tubusem, mají na tomto oby-

čejně milimetrové dělení k přesnému nastavení potřebné tubusové délky.

Mikroskopy Srb a Štys, Zeiss a jiné, mají tubusovou délku 160 m/m. Mikroskopy firmy Leitz mají mechanickou tubusovou délku 170 m/m. Zvětšení mikroskopu není však udáváno přímo v souvislosti s mechanickou délkou tubusu, nýbrž s *optickou tubusovou délkou*, značenou písmenem Δ (delta), což je vzdálenost mezi zadním ohniskem objektivu, nalézajícím se v blízkosti poslední jeho čočky, a předním ohniskem okuláru, která je u mikrookuláru typu Huygensova poněkud nad okulárovou clonou, asi tam, kde by se vytvořil obraz daný objektivem, kdyby nebylo přední čočky okuláru. Zvětšení je pak dáno vztahem

$$Z = \frac{\Delta}{f_{\text{obj.}}} \times \frac{250}{f_{\text{okul.}}} \quad (56).$$

Zvětšení mikroskopu je dáno zvětšením objektivu $\left(\frac{\Delta}{f_{\text{obj.}}}\right)$, násobeným zvětšením okulárovým $\left(\frac{250}{f_{\text{okul.}}}\right)$, kde $f_{\text{obj.}}$ a $f_{\text{okul.}}$ jsou ohniskové vzdálenosti objektivu a okuláru. Zvětšení okuláru je počítáno jako u lup.



Obr. 264. Světlá komora.

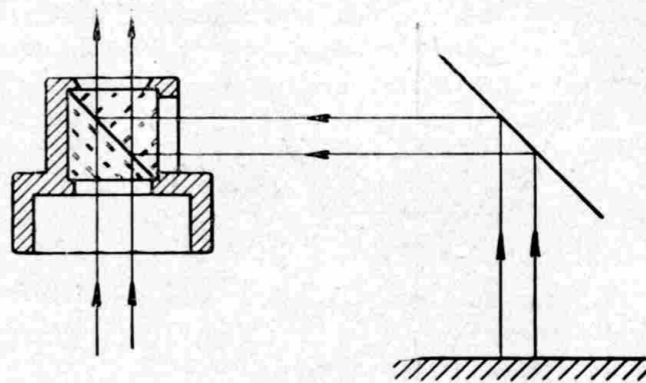
Obr. 263. Okulárový mikrometr.

Zvětšení, dané mikroobjektivem, se měří pomocí okuláru, opatřeného ve své cloně, tedy v místě, kde se tvoří skutečný obraz pozorovaného předmětu, deštičkou s dělením obyčejně po $\frac{1}{10}$ m/m (obr. 263.).

Před objektiv se vloží místo preparátu t. zv. objektivní mikrometr, což je na podloženém sklíčku nanesené jemné dělení, zpravidla na setiny milimetru v rozsahu 1 m/m. Zaostríme nejdříve okulár na jeho mikrometr a pak celý mikroskop na mikrometr objektivní. V zorném poli se nám objeví obrazy obou měřítek a můžeme snadno odhadnouti, kolik dílků mikrometru okulárového odpovídá jednomu dílku objektivního mikrometru. Rovná-li se na př. 8 dílků mikrometru okulárového (tedy 8 desetin m/m), pěti dílkům mikrometru objektivního (tedy $\frac{5}{100}$ m/m), máme zvětšení dané objektivem $\frac{0,80}{0,05} = 16\times$ a zároveň můžeme říci, že jeden

dílek z okuláru rovná se ve skutečnosti na předmětu $\frac{5}{8} = 0,63$ setin m/m čili 6,3 mikronů. Pozorujeme-li toutéž optikou jakýkoliv preparát, můžeme si nyní pomocí dělení v okuláru změřiti velikost různých částí preparátu. Objektivním mikrometrem jsme ocejovali náš mikrometr v okuláru. Je nutné dbáti toho, aby se během měření nezměnila mechanická tubusová délka (na př. 160 m/m), protože změnou této mění se i zvětšení. V tomto měření by bylo třeba, abychom použili t. zv. okuláru pozitivního, t. j. okuláru, jehož clona je před první čočkou a nikoliv okuláru, jakých se normálně v mikroskopii užívá (negativní okuláry Huygensovy). U Huygensových okulárů má totiž vliv na měřené zvětšení i první čočka okuláru, kterou světlo prochází před průchodem mikrometru. Není to ovšem na závadu ocejoování mikrometru okulárového a vlastnímu měření délek na preparátech. Zvětšení objektivu takto změřené Huygensovým okulárem bude vždy menší, nežli je ve skutečnosti.

Zvětšení, dané celým mikroskopem, se nedá již tak přesně a jednoduše změřiti. Je k tomu třeba zařízení, kterým můžeme porovnat velikost předmětů zvětšených mikroskopem s velikostí předmětů, viděných pouhým okem na vzdálenost 250 m/m od oka. K tomu slouží světlá komora (kamera lucida) obr. 264. Princip takového zařízení je na obr. 265. Na okulár se nasadí hranol, jenž částečně propouští paprsky z mikroskopu a částečně přivádí pomocí zrcadla do oka paprsky z nějakého předmětu mimo mikroskop, na př. z kreslicího papíru. Proto splyne obraz papíru a obraz preparátu v oku pozorovatele, a pohybujeme-li tužkou po papíře, zdá se, jako kdybychom sledovali tužkou obrysy preparátu. To umožňuje kreslení pozorovaného předmětu. Postavíme-li před zrcadlo do



Obr. 265. Schema kreslicího přístroje (světlé komory).

vzdálenosti 250 m/m od oka nějaké měřítko (třeba milimetrové), můžeme je porovnat se zvětšeným obrazem dělení objektivního mikrometru a tím dostaneme hledané zvětšení. Vzdáleností 250 m/m se rozumí délka celé lomené dráhy paprsků, procházejících hranolem a odražených na zrcadlo. Zjistíme-li třeba, že 1 setina milimetru na objektivním mikrometru se shoduje zdánlivě s 10 m/m na měřítku, je zvětšení mikroskopu $\frac{10}{0,01} = 1000\times$.

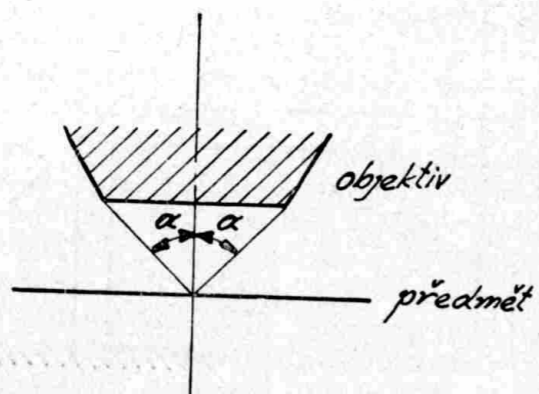
Zorné pole mikroskopu je dáno clonou v okuláru, která omezuje viditelnou část preparátu. Kdežto při slabých zvětšeních pod $50\times$ může zorné pole obsáhnouti i několik m/m v průměru, je při velkých zvětšeních průměr zorného pole několik setin m/m. Z okuláru vycházejí paprsky, náležející okrajům zorného pole pod úhlem okolo 30° ; to je úhel, pod kterým se nám jeví pozorovaný preparát.

Číselná apertura, rozlišovací schopnost, hloubka zorného pole.

Byla již zmínka o tom, jak se v mikroskopu mění otevření kuželů paprsků, tvořících obrazy jednotlivých bodů předmětu. Kužel, který tvoří paprsky vycházející ze středu mikroskopovaného objektu, je charakterisován sinem poloviny svého úhlu otevření. Násobíme-li sinus tohoto úhlu indexem lomu prostředí mezi objektivem a preparátem, pak obdržíme *číselnou aperturu objektivu* nebo krátce *aperturu*, jejíž vzorec je

$$A = n \cdot \sin a \quad (57).$$

Apertura objektivů počítaných pro $n = 1$ (vzduch), se pohybuje asi od hodnot kol 0,1 až 0,90. Teoreticky lze pro $n = 1$ do



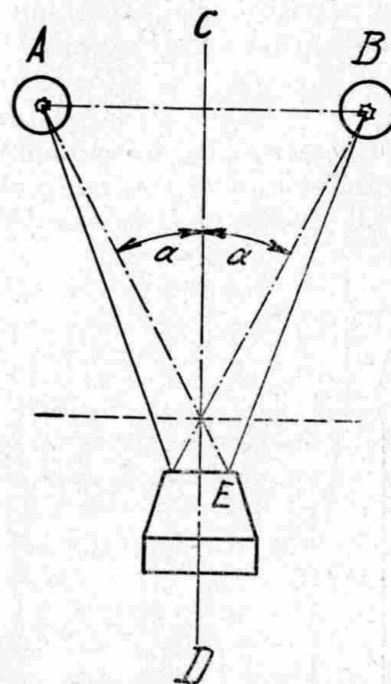
Obr. 266. Numerická apertura.

sáhnouti maximální apertury 1,0. Je-li mezi objektivem a preparátem kapalina (imersní objektivy) o indexu blízkém indexu skla, dosahuje se apertury okolo 1,4. Význam numerické apertury je dán jejím vlivem na rozlišovací schopnost mikroskopu. Čím je apertura větší, tím je možno rozlišiti jemnější detaily. Proto mají objektivy o silnějším zvětšení též větší aperturu. Rozlišovací schopnost mikroskopu je určena výrazem

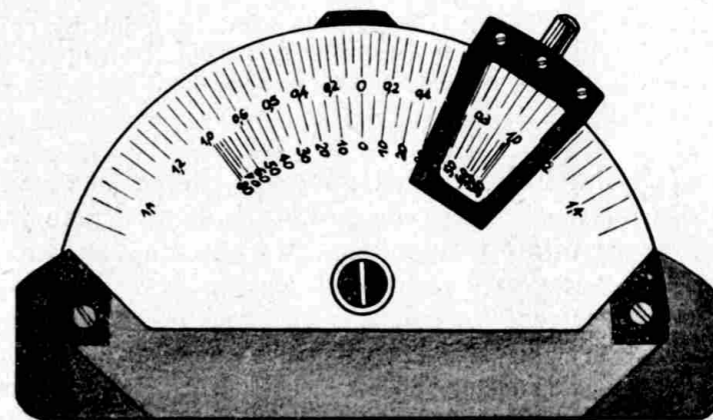
$$R = \frac{\lambda}{2n \sin a} = \frac{\lambda}{2A} \quad (58),$$

kde R je nejmenší rozlišitelná vzdálenost dvou bodů a kde λ je délka vlny použitého světla. Vidíme, že čím je A větší, tím je R menší a tedy mikroskop má »větší« rozlišovací schopnost. Počítáme-li s maximální aperturou 1,4 a s délkou vlny 0,5 mikronů, pak vychází: $R = \frac{0,5}{2 \times 1,4} = 1/6$ mikronu. Obvykle se počítá s rozlišovací schopností okolo 0,3 mikronu pro kvalitní objektivy. Toto omezení rozlišovací schopnosti je dáno vlnovou povahou světla. Jedinou cestou ke zmenšení hodnoty R je použití krátkých vlnových délek. Proto při mikrofotografických výzkumech se používá někdy ultrafialového záření, které fotodeska dobře zachytí. Je též možno pozorovati pouhým okem při mikroskopování v ultrafialovém světle, když použijeme fluorescenčních okulárů, opatřených v místě clonky deštičkou, která světélkuje tam, kde na ni dopadly ultrafialové paprsky. Abychom plně využili rozlišovací schopnosti dané aperturou objektivu, má býti zvětšení mikroskopu rovno alespoň číselné apertuře násobené 500, ale nesmí přesáhnouti aperturu násobenou tisícem; pak by se ukázaly již značně rušivé různé zjevy, způsobené ohybem světla.

Měření numerické apertury se provádí *apertometrem*. Aperturu suchých objektivů (na rozdíl od imersních objektivů nazýváme tak objektivy, kde mezi preparátem a objektivem je vzduch) můžeme snadno změřiti jednoduchým přístrojem (obraz 267.).



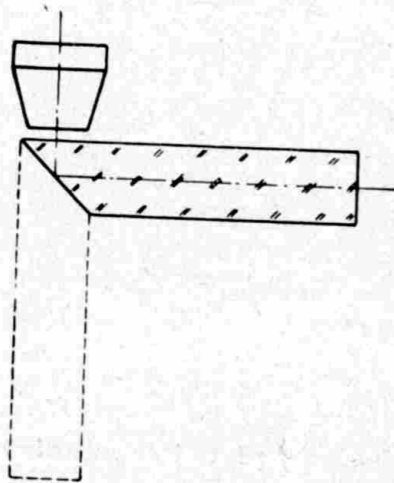
Obr. 267. Jednoduchý přístroj na měření číselné apertury.



Obr. 268: Apertometr.

V jisté vzdálenosti od sebe umístíme dvě malé žárovky A a B a na ose CD posunujeme objektivem, až obrazy žárovek A a B se dostanou na kraje pozorovaného zorného pole. Při tom pozorujeme

objektiv pouhým okem neb si pomáháme lupou. Tak vyšetříme maximální sklon paprsků, vnikajících do objektivu, které by procházely preparátem. Předpokládáme ovšem, že vzdálenost žárovek od objektivu je daleko větší, nežli vzdálenost, ve které by se nalézal preparát. Pak můžeme přibližně říci, že sinus úhlu apertury je roven poměru vzdálenosti CA ke vzdálenosti AE od jedné žárovky k první čočce objektivu, čili číselná opertura $\frac{CA}{AE}$. Přesně se apertura měří Abbeovým apertometrem (obr. 268.), jehož princip je tentýž, jako na obr. 267. Místo lamp se zde pohybuje na plochém kruhovém válci ze skla index, jež pozorujeme skrze objektiv.



Obr. 269. Řez apertometrem. Tečkovaně je naznačeno, jak by apertometr byl postaven, kdyby neměl odrazové plochy na 45° . Nad apertometrem je schematicky naznačen objektiv.

Maximální výchylka indexu dává aperturu, která se odečte přímo na horní ploše apertometru podle polohy indexu. Válec je pro pohodlné pozorování opatřen odraznou plochou na 45° , která umožňuje položení apertometru vodorovně na stolek mikroskopu (obr. 269.). Index pozorujeme pomocným mikroskopem, skládajícím se ze slabého objektivu, zasazeného do vnitřního tubusu mikroskopu a okuláru normálně umístěného. Při měření apertury imersních objektivů musí býti v prostoru mezi objektivem a apertometrem příslušná kapalina.

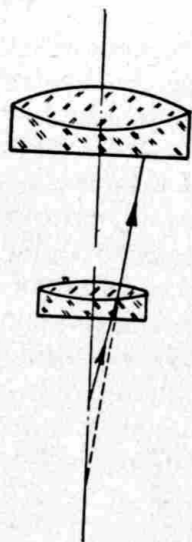
Je zřejmé, že čím je větší apertura, tím se zmenší hloubka zorného pole, t. j. mikroskop zobrazuje ostře jen to, co je v určité rovině nebo blízko této roviny a tato tolerance je tím menší, čím více roste apertura. Tak na př. při apertuře 0,25 je hloubka zorného

pole asi 0,0080 m/m a při apertuře 1,25 (olejová imerse) je hloubka jen 0,0004 m/m. Tak malá hloubka zaostření umožňuje v průhledném preparátu činit »optické řezy«. Nastavíme-li mikroskop na různé roviny, vzdálené od sebe něco více než je hloubka zorného pole, pak obdržíme obrazy, náležející jakoby dvěma rozdílným řežům skrz preparát. To umožňuje průzkum preparátů ve směru vertikálním. Proto, díváme-li se do mikroskopu, zároveň posunujeme nepatrně mikrometrickým šroubem nahoru a dolů, abychom získali obraz v různých optických řezech. Mimochodem poznamenáváme, že při zaostřování hrubým šroubem nastavíme nejdříve tubus do nejnižší polohy; přesvědčíme se pozorováním objektivu, že objektiv je těsně nad preparátem a pak jdeme vždy nahoru od preparátu, abychom nevtlačili objektiv při nepatrném posunu dolů do preparátu a nepoškodili tento nebo frontální čočku objektivu.

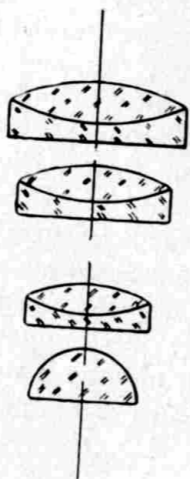
Korekce objektivů, druhy objektivů.

Ze schemat chodu paprsků (obr. 257. a 262.) je vidět, že do objektivu přicházejí svazky paprsků velmi otevřené z poměrně malého zorného pole. Proto je objektiv korigován hlavně na vadu sférickou, na komu a ovšem na vadu barevnou. Astigmatická vada, zklenutí pole a zkreslení, které mají větší vliv teprve při velkém zorném poli, jsou zase korigovány hlavně okulárem, který opravuje nejen svoji vadu, ale má někdy též vyrovnati úmyslně ponechaným zbytkem svých vad v opačném směru jdoucí vady v zorném poli, způsobené objektivem; mimo uvedené je to též rozdíl ve zvětšení pro různé barvy (kompensační okuláry).

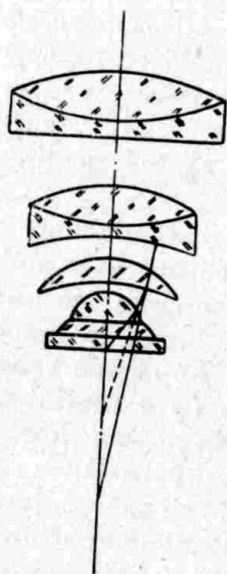
Mikroskopické objektivy mají celkem jednoduchou stavbu při malých zvětšeních (zvětšení až $5\times$), kde se objektiv podobá obrácenému achromatickému objektivu z dalekohledu (je obrácen plochou stranou k předmětu, kdežto u dalekohledů je tomu opačně). Pro větší zvětšení se stává však konstrukce objektivů velmi komplikovanou. Uvádíme schema dvou objektivů (pro střední a pro větší zvětšení) [obr. 270. a 271.]. Tyto objektivy jsou korigovány na sférickou vadu pro jednu barvu (pro žlutou čáru D) a chromaticky obyčejně pro Fraunhoferovy čáry C a F . Mají malý zbytek barevné aberace (sekundární spektrum). Pro odstranění komy musí objektivy vyhovovati t. zv. *sinusové* podmínce, které je u těchto objektivů dosaženo pro čáru D . Takto korigované objektivy se nazývají *achromaty* (achromatické objektivy). Objektivy, které mají zmenšené sekundární spektrum, jsou korigovány sféricky pro tři barvy a sinusovou podmínku splní též pro tři barvy, nazývají se *apochromaty* (obr. 273.). Zbývá u nich rozdíl zvětšení pro různé barvy, který by



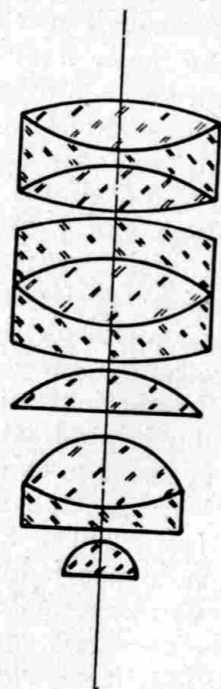
Obr. 270. Objektiv pro střední zvětšení - ca 10 x. (Zvětšeno.)



Obr. 271. Achromat pro větší zvětšení s frontální polokulovou čočkou. (Zvětšeno.)



Obr. 272. Objektiv imersní, homogenní imerse, ohnisková vzdálenost je 2 m/m, čís. apertura = 1,3. Na schématu je naznačeno i krycí sklo preparátu a vrstvička oleje mezi ním a frontální čočkou. (Zvětšeno.)



Obr. 273. Apochromat $f = 2$ m/m, čís. apertura je 1,4. (Zvětšeno.)

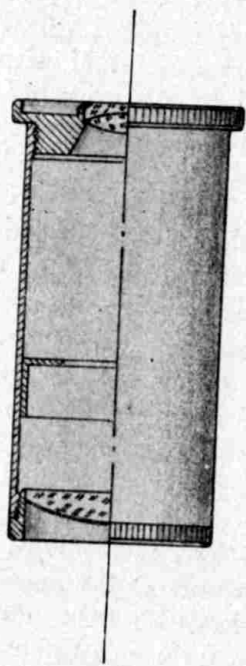
dělal barevné okraje u obrazů mimo střed pole. Tento rozdíl se však vykoriguje k tomu přizpůsobenými *kompensačními okuláry*. Korekce, jaké se dosáhlo u apochromatů, byla umožněna jednak speciálními skly, jednak použitím některých čoček, vyrobených z krystalického nerostu fluoritu (kazivec), jenž má malý index lomu ($n = 1,43$) a velmi malou barevnou dispersi. Objektivy *semi-apochromatické* neboli *fluoritové systémy* jsou méně dokonale korigovány. Sinusová podmínka je dodržena pro dvě barvy a taktéž sférická aberace je korigována pro dvě barvy. Tyto objektivy mají též některé čočky z fluoritů, jsou ale lacinější oproti velmi nákladným apochromatům. Pro běžnou mikroskopii stačí skoro vždy achromaty. Vyrábějí se též objektivy korigované úmyslně jen pro jednu barvu (*monochromaty*), kterých lze použití jen při osvětlení preparátu pouze světlem vlnové délky, pro kterou je objektiv korigován. Všechny mikroobjektivy vykazují jisté zakřivení zorného pole. Proto právě byly vytvořeny monochromaty (dosud jen pro speciální účely), u nichž pak místo chromatické korekce se věnuje zvýšená pozornost právě tomuto zakřivení pole.

Na korekci obrazu daného objektivem má vliv i tenké krycí sklo, které kryje preparát. Obvykle jsou objektivy korigovány pro střední tloušťku těchto skel (na př. 0,17 m/m) a pro větší nebo menší tloušťku krycího skla se korekce zhorší. Částečně lze napravit změněním tubusové délky oproti té, pro kterou je optika korigována. Při příliš tenkém sklu se prodlouží o něco tubus a při silném krycím sklu se zkrátí. Někdy mají objektivy korekční objímku, která umožňuje změnění poněkud vzájemnou vzdálenost čoček objektivu pro přizpůsobení vlivu tloušťky krycího skla. Potřebné nastavení korekční objímky nebo tubusu se děje zkusmo na zkušební preparát, až se dostane nejlepší obraz. Ovšem tento vliv krycího skla se jeví značněji teprve u objektivů s velkou aperturou.

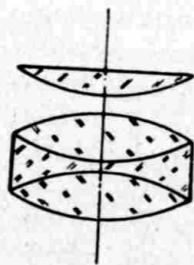
Imersní objektivy (obr. 272.), které mají mezi preparátem a objektivem buďto cedrový olej ($n = 1,515$) nebo vodu ($n = 1,33$) nebo jinou kapalinu (bromnaftalin), nemají korekci závislou na tloušťce krycího skla, poněvadž mezi preparátem a objektivem neprocházejí paprsky nikde plochou, na které by se značněji lámaly a indexy lomu jednotlivých prostředí jsou si pak celkem blízké. Imersní objektivy mají různou korekci, tak jako je tomu u suchých objektivů (achromaty, apochromaty). Odpadají u nich ztráty světla odrazem na přechodu z preparátu do objektivu. Dále mají imersní objektivy poměrně větší vzdálenost mezi objektivem a preparátem (pracovní vzdálenost), nežli suché objektivy. Imersním objektivům pro cedrový olej říkáme olejové nebo homogenní (stejnorodé), poněvadž index cedrového oleje je skoro stejný, jako index skla.

Okuláry.

Okuláry, používané v mikroskopii, jsou obvykle typu *Huygensova*, tedy negativní, což znamená, že u nich je přední ohnisková rovina uvnitř mezi čočkami. Okulárů pozitivních (s ohniskovou rovinou před první čočkou) se užívá méně. Huygensův okulár je složen ze dvou ploskovypuklých čoček ze stejného korunového skla, obrácených plochou stranou k oku. Takový okulár je na obr. 262.



Obr. 274. Kompensační okulár.



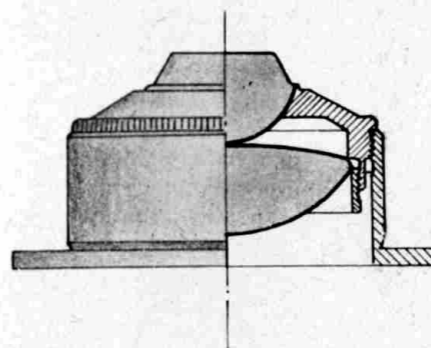
Obr. 275. Kompensační okulár většího zvětšení.

Ohniskové vzdálenosti těchto okulárů, pokud se používají v mikroskopii, jsou asi od 60 do 15 m/m. *Kompensační okuláry* jsou někdy negativní a pocházejí z Huygensova typu, ale oční čočka je složena ze dvou čoček podobně, jako achromatická čočka (obr. 274.). Silnější *kompenzační okuláry* jsou obvykle pozitivní a mají tvar dle obr. 275. Poněvadž apochromaty dávají obrazy v červené barvě větší než v modré, mají *kompenzační okuláry* zvětšení pro barvy v opačném směru. *Kompensační okulár* má vnitřní okraj své clonky proto narůžovělý, kdežto díváme-li se proti světlu okulárem Huygensovým, je vnitřní okraj clonky namodralý. Podobně jako *kompenzační okuláry* vypadají též *okuláry periplanatické*, které působí podobně jako *kompenzační okuláry*, ale vyrovnávají částečně zklenutí zorného pole. Zřídka se u mikroskopů používá okulárů *Ramsdenova*

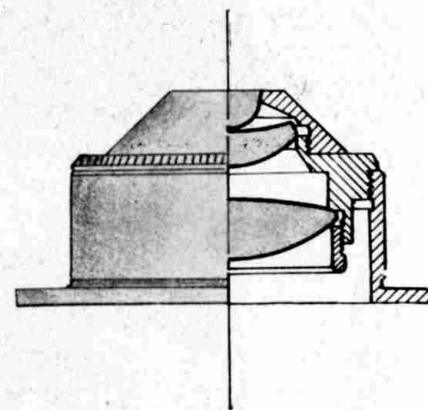
typu (složených ze dvou plankonvexních čoček s vypuklými plochami, obrácenými dovnitř okuláru a s ohniskem blízko nebo úplně na první ploše okuláru).

Kondensory, osvětlovací zařízení.

Úloha kondensoru v mikroskopii je velmi důležitá. Stačí, představíme-li si, že světlo se v obraze rozprostírá na ploše, jejíž velikost roste se čtvercem zvětšení a že 1 čtverečný m/m již při zvětšení $100\times$ je zvětšen plošně na 10.000 m/m². Všeobecně však paprsky procházející preparátem nezůstanou nezměněny a následkem ohybu světla, zvláště je-li struktura preparátu pravidelná, vznikají různé úkazy, jež mohou způsobiti rozličné parasitní a skutečnosti neodpovídající změny struktury na obraze. Též ohyb světla při vstupu do objektivu není zde zanedbatelný. Je důležité, chceme-li míti věrný



Obr. 276. Dvoučočkový kondenzor, čís. apertura = 1,2.



Obr. 277. Tříčočkový kondenzor, čís. apertura = 1,4.

obraz předmětu, abychom dostali do objektivu co nejvíce ohybem ovlivněných svazků paprsků. Jinak klesá též rozlišovací schopnost objektivu. Vidíme opět, že je to apertura, která hraje zde významnou roli. Ohyb světla se při větších zvětšeních projevuje vždy více nebo méně změnou charakteru obrazu a jeho struktury, což je na škodu věrnosti obrazu. Silně zvětšující objektiv dá věrný obraz do velikosti asi $1/100$ m/m. Ale v každém případě bude zkreslen obraz jemného bičíku (flagelum) u infusorií, jehož skutečná síla je zlomkem vlnové délky světla. Šířka takového předmětu bude značně zdánlivě zvětšena na obraze proti jeho délce. Pro zmenšení ohybových zjevů na nejmenší míru je třeba promítnouti do preparátu obraz světelného zdroje (pokud je tento dostatečně stejnorodý, aby

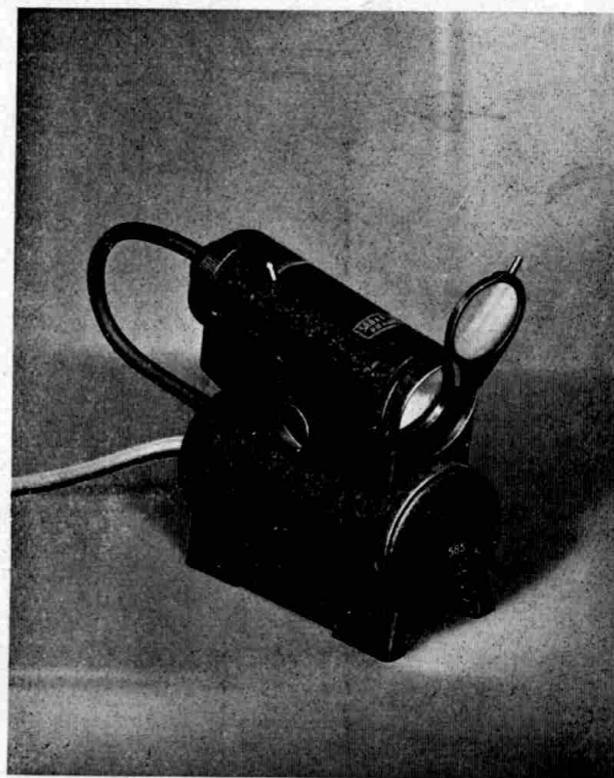
pozorování nebylo rušeno nestejným osvětlením, způsobeným na př. obrazem spirály žárovky). Je-li zdroj světla nestejnorodý, pomůžeme si buďto matným sklem, vloženým pod kondenzor, nebo promítneme obraz zdroje do blízkosti vstupní pupily objektivu. Kondensory mívají ohniskovou vzdálenost mezi 8 až 14 m/m. Ohnisko je asi dva nebo tři m/m nad rovnou plochou kondenzoru. Aby se využilo apertury objektivu, musí mít kondenzor číselnou aperturu alespoň stejnou jako objektiv. Je-li jeho apertura menší, nepřicházejí do objektivu paprsky v plném úhlu, odpovídajícím



Obr. 278. Mikrolampa dle profesora Šikla s bodovou žárovkou.

jeho apertury. Při imersních objektivěch musíme dáti imersní kapalinu též mezi kondenzor a podložné sklo. Kondenzorová apertura se měří podobně, jako apertura objektivů. Obyčejné kondensory sestávají ze dvou nebo tří čoček. Pro speciální účely se zhotovují *achromatické* kondensory, které mají význam jen v opravdu zvláštních pracích. Achromatismus takového kondenzoru není stejně do-
držen při suchých objektivěch a při imersních a při suchých objektivěch závisí jeho výkonnost též na síle podložného skla. Pro malé zvětšení můžeme použítí prostě vydutého zrcátka bez kondenzoru. Světlo se přivádí rovným zrcátkem pod kondenzorem. Světelný zdroj musí býti dostatečně stejnorodý (speciální žárovky bodové) [obr. 278.], případně oblouková lampa, má-li býti promítnut přímo

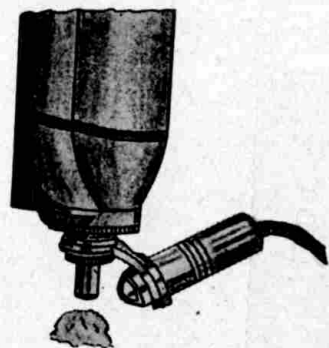
do preparátu jeho obraz). Jinak používá se též žárovek nízkovoltových (obr. 279.) s velmi staženým vláknem a pod.). Infračervené paprsky, které svým teplem by mohly poškoditi preparát, se vyloučí vodními květami, jimiž světlo prochází. Někdy se užívá též filtrů barevných, které se kladou pod kondenzor. Světelný zdroj je obyčejně opatřen pomocnou kondenzorovou čočkou, jež usměrňuje chod paprsků.



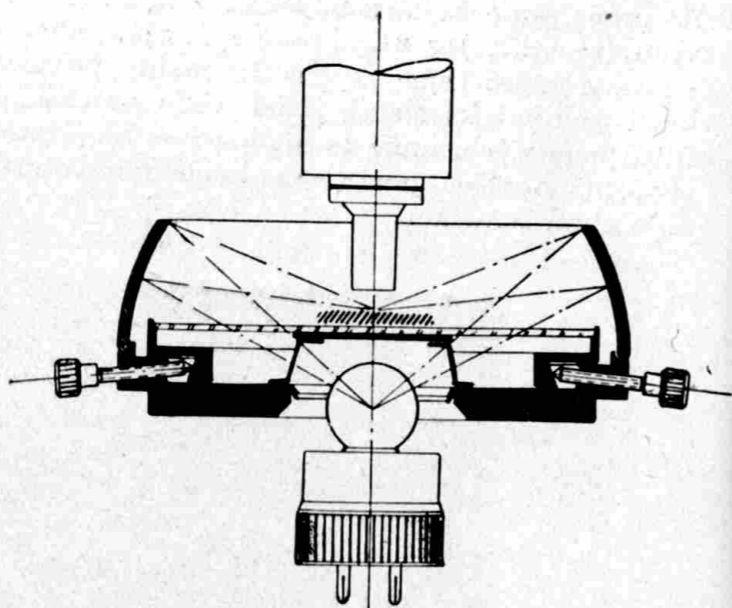
Obr. 279. Mikrolampa s nízkovoltovou žárovkou, kobaltovým filtrem, kondenzorem a s transformátorem ukrytým v podstavci.

Osvětlení neprůhledných předmětů, vertikální iluminátory.

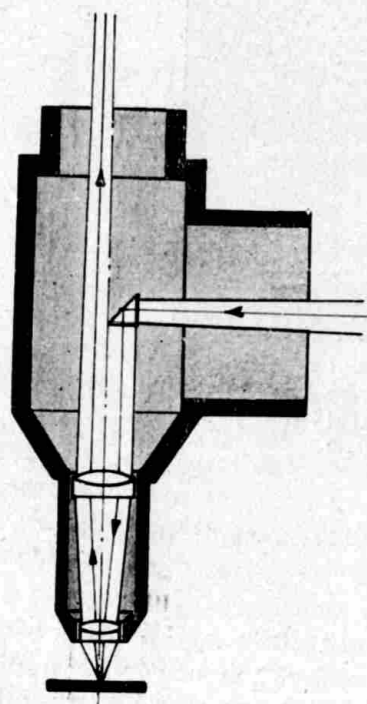
Pro osvětlení neprůhledných předmětů při malých zvětšeních se používá osvětlovače, sestávajícího ze žárovky a obyčejně pouze jednočočkového kondenzoru (obr. 280.). Někdy se užívá t. zv. epizrcátka, na které dopadá světlo ze žárovky, umístěné pod stolcem, jež prochází podložnou skleněnou deskou. Zrcátko odráží paprsky



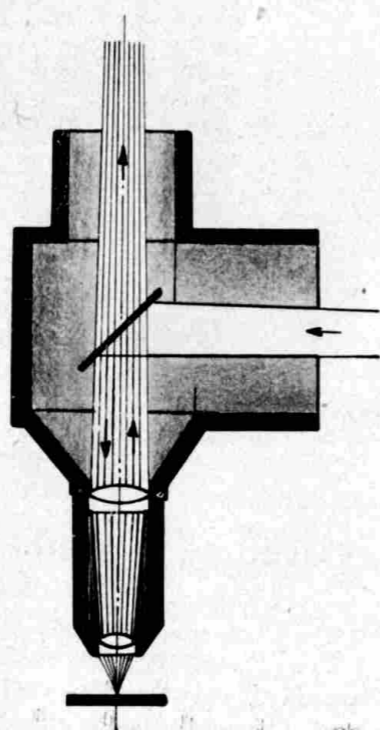
Obr. 280. Iluminátor pro malá zvětšení.



Obr. 281. Epizrcátko.

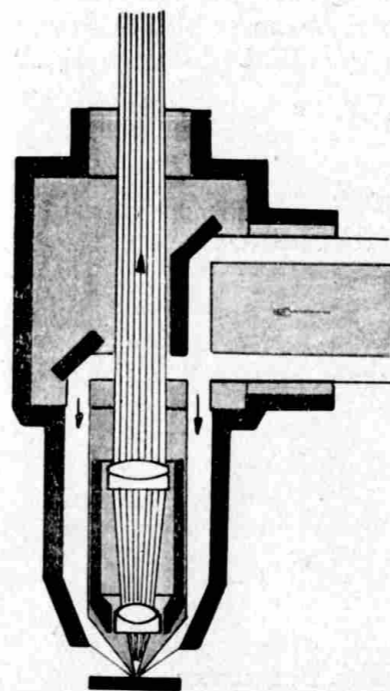


Obr. 282. Vertikaliluminátor dle Nacheta.

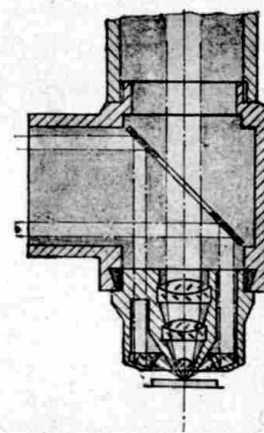


Obr. 283. Vertikaliluminátor dle Becka.

na pozorovaný předmět položený na podložní desce (obr. 281.). Pro větší zvětšení je nutno použití t. zv. *vertikaliluminátorů* různých typů. Nejběžnější je *vertikaliluminátor dle Nacheta* (obr. 282.), kde se za objektiv vloží pravoúhlý hranůlek, který odráží se strany přivedené světlo do objektivu. Tím se přivede světlo na pozorovaný předmět, kde se odrazí, a poněvadž hranol zakrývá pouze polovinu průměru objektivu, prochází odražené světlo zbývající volnou polovinou průměru do okuláru. Používáme tak poloviny objektivu jako



Obr. 284. Vertikaliluminátor pro temné pole. Schema znázorňující princip těchto iluminátorů.



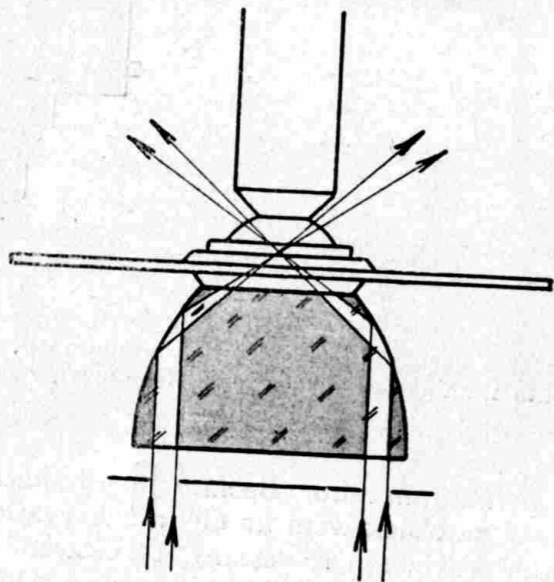
Obr. 285. Vertikaliluminátor pro temné pole s frontálním prstencovým kondensorem, který přivádí světlo na preparát.

kondensoru. *Vertikaliluminátor Beckův* je planparalelní skleněná deštička umístěná za objektivem na 45° a zakrývající celou plochu objektivu. Světlo, přivedené se strany, se částečně odrazí, projde objektivem na předmět a částečně projde sklem. Odražené paprsky po průchodu objektivem dopadnou na předmět a jdou od předmětu zpět do objektivu; část jich prochází deštičkou do okuláru a část se ztrácí odrazem. Oba tyto vertikální iluminátory mají tu nevýhodu, že světlo jimi přivedené způsobuje uvnitř mikroobjektivu reflexy, které zamlžují poněkud obraz. Nachetův iluminátor mimo to zmenšuje aperturu objektivu a tím i rozlišovací schopnost, což je

znatelné při silnějších zvětšeníh. Konečně máme *vertikaliluminátory pro temné pole* (obr. 284. a 285.). Světlo je přiváděno zrcátkem na 45° , opatřeným otvorem pro průchod paprsků z objektivu a přichází na prstencovou čočku v dolní části, kde se lomí tak, že dopadá velmi šikmo na předmět. Odráží se proto ven, ne zpět do mikroskopu. Do objektivu vnikají paprsky rozptýlené na předmětu. Paprsky pravidelně odražené nepříjdou do objektivu. Proto by se nám zrcadlo pozorované takovým zařízením zdálo tmavé, kdežto poněkud drsná plocha by byla světlá. U dřívějších vertikalluminátorů tomu bylo naopak. Tam se tvořil obraz světlem odraženým a ne světlem rozptýleným (difusním); zrcadlicí plochy byly světlé a difusní tmavé.

Kondensory pro temné pole pro průhledné preparáty, ultramikroskop.

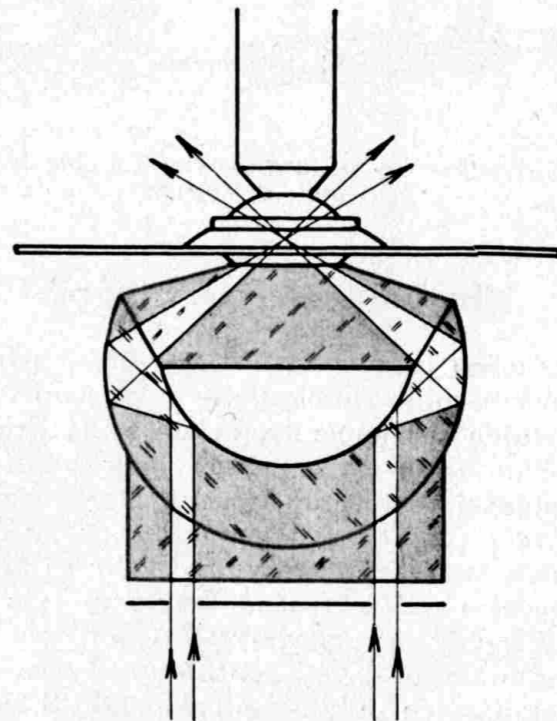
Při pozorování průhledných předmětů můžeme taktéž použítí pouze paprsků rozptýlených a vyloučiti paprsky přímé. Docílíme toho kondensory pro temné pole různé konstrukce (obr. 286. a



Obr. 286. Paraboloidový kondenzor pro temné pole.

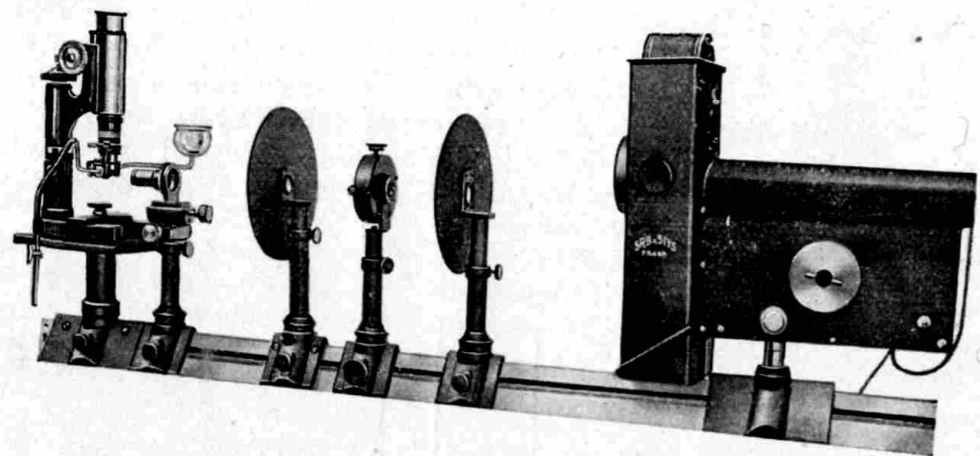
287.). Není-li v zorném poli nic, jeví se pole úplně tmavé, teprve když je v zorném poli nějaký preparát, jenž rozptyluje světlo, pak uvidíme jeho obraz. Do objektivu přicházejí v tomto případě paprsky vzniklé ohybem (difrakcí) a nikoli paprsky přímé. Ovšem, že

objektiv musí mít menší aperturu, než mají paprsky přímé, aby tyto nevnikly do mikroskopu. Proto se do objektivů velké apertury dávají clonky, omezující aperturu pro pozorování v temném poli. Pořád je při tomto způsobu pozorování velká ztráta světla, je nutno používatí zvláště silného osvětlovacího zdroje. Pozorování v temném poli nahradí mnohdy barvení preparátu (pozorování živých mikrobů).



Obr. 287. Kardiový kondenzor pro temné pole.

Tímto způsobem, pouze ohybem vzniklým světlem, můžeme dokázati přítomnost *ultramikroskopických* částic hmoty (velikosti okolo $0,005 \mu$). Nemůžeme sice pozorovati jejich tvar, ale vidíme je světélkovati v zorném poli mikroskopu. Tak se pozorují na příklad různé koloidální suspence. Mikroskopy zařízené na taková pozorování se nazývají *ultramikroskopy* (obr. 288.). Světlo se vede obyčejně jen s jedné strany. Pomocným mikroobjektivem se vytvoří v preparátu úzký, vodorovně jdoucí svazek paprsků. Celé zařízení je zpravidla postaveno na optické lavici.



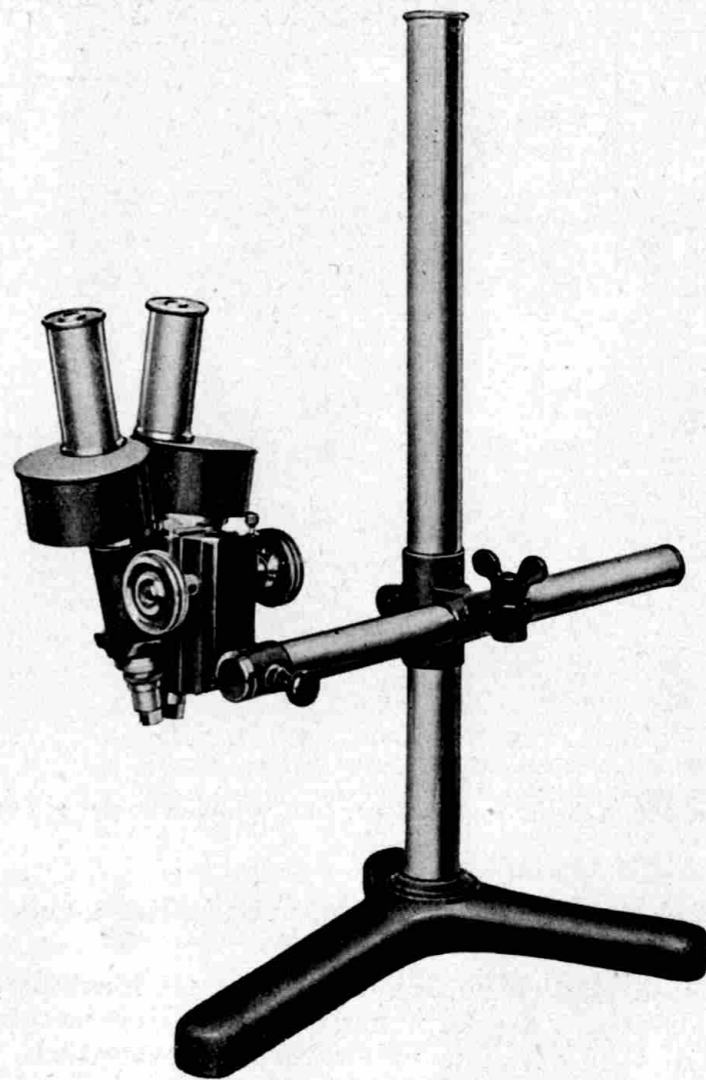
Obr. 288. Ultramikroskop s příslušenstvím a s obloukovou lampou na optické lavici.

Binokulární mikroskopy.

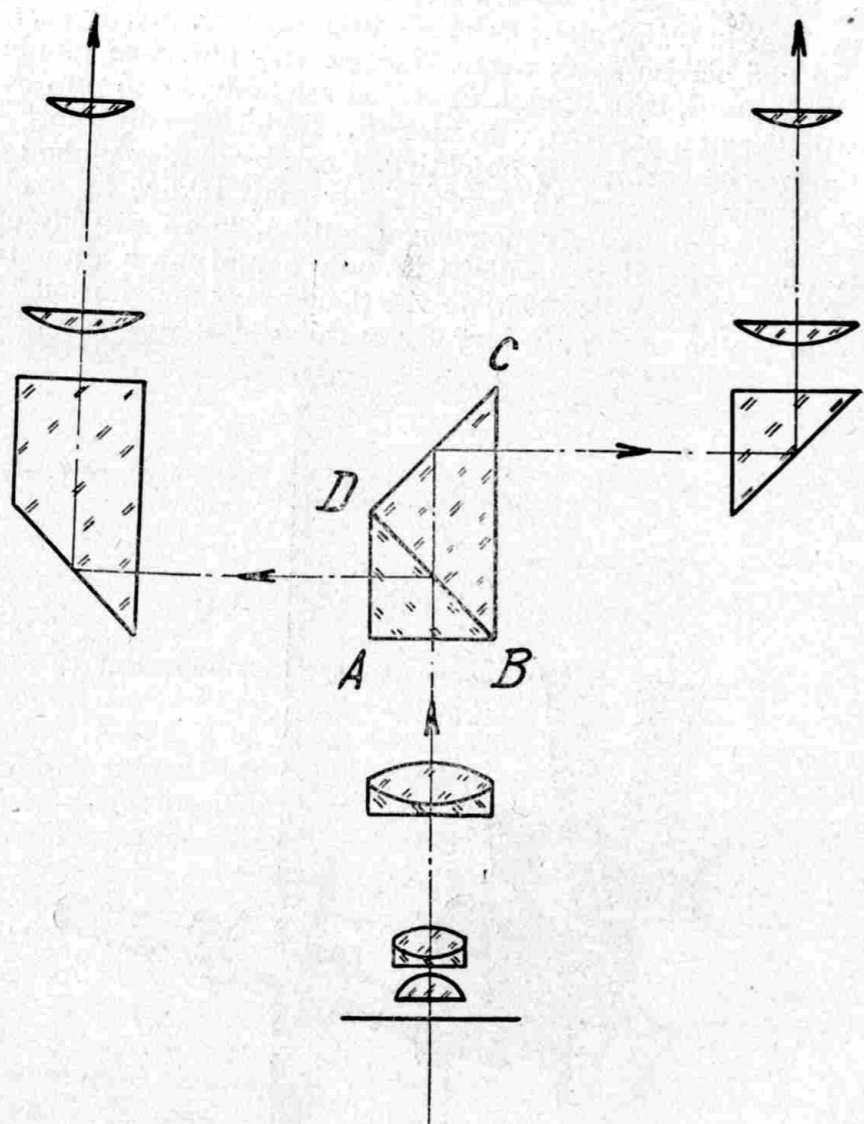
Aby bylo možno pozorovati oběma očima, byly konstruovány binokulární mikroskopy. Binokulární mikroskop typu Greenough (obr. 289.) je složen vlastně ze dvou slabě zvětšujících mikroskopů, navzájem poněkud skloněných. Obraz je v každém mikroskopu vzpřímen kombinací hranolů (Porrova kombinace). Pozorované předměty je vidět plasticky. Kdyby mikroskopy dávaly, jako je tomu normálně, převrácené obrazy, jevily by se pozorované předměty v převráceném reliéfu (pseudoskopicky) [viz kapitolu o stereoskopii], vyvýšeniny by vypadaly jako dolíky a naopak. Proto musí takové mikroskopy dávatí vzpřímený obraz. Vzdálenost okulárů se u binokulárních mikroskopů dá naříditi podle očního rozestupu.

Binokulární mikroskopy Greenough nemohou dáti velké zvětšení, poněvadž musí míti z konstrukčních důvodů dosti velkou vzdálenost objektivů od předmětu. Často se užívá binokulárních mikroskopů vytvořených tak, že z jediného objektivu přicházející paprsky jsou rozděleny, aby část šla do jednoho a část do druhého okuláru. Obr. 290. znázorňuje systém hranolů, který obstarává rozdělení paprsků. Plocha *DB* je polostříbřená, část paprsků odráží a část propouští. Mikroskop opatřený binokulárním tubusem je na obr. 291., kde dráha paprsků je ještě jedním hranolem lomena, takže okulár je nakloněný. Takový mikroskop však nedává již plastický dojem, poněvadž do obou očí přichází tentýž obraz. Je ale velmi pohodlné pozorovati oběma očima a zmenší se tím únava oka. Někdy mají binokulární mikroskopy rozdělení paprsků upravené

podle obr. 292. Taková úprava dovoluje již stereoskopické vidění, poněvadž do každého oka přicházejí jiné paprsky. Středky perspektivy pro obě oči jsou pak různé. Nad okuláry nejeví se již obrazy kruhových pupil, nýbrž polokruhové od sebe odvrácené pupily, jež vznikají dělením paprsků v hranolech. Dělicí hranoly musí však býti blízko výstupní pupily objektivu. Jinak by obrazy v obou okulárech nebyly stejnoměrně jasné. Někdy mají takové binokulární mikroskopy před hranoly pomocnou optiku, která přivádí obraz pupily objektivu přímo na dělicí hranoly a vzpřimuje obraz předmětu. Na schématu (obr. 192.) je viděti, že pravý dělicí hranol vede světlo do levého okuláru a levý do pravého okuláru. Toto uspořá-



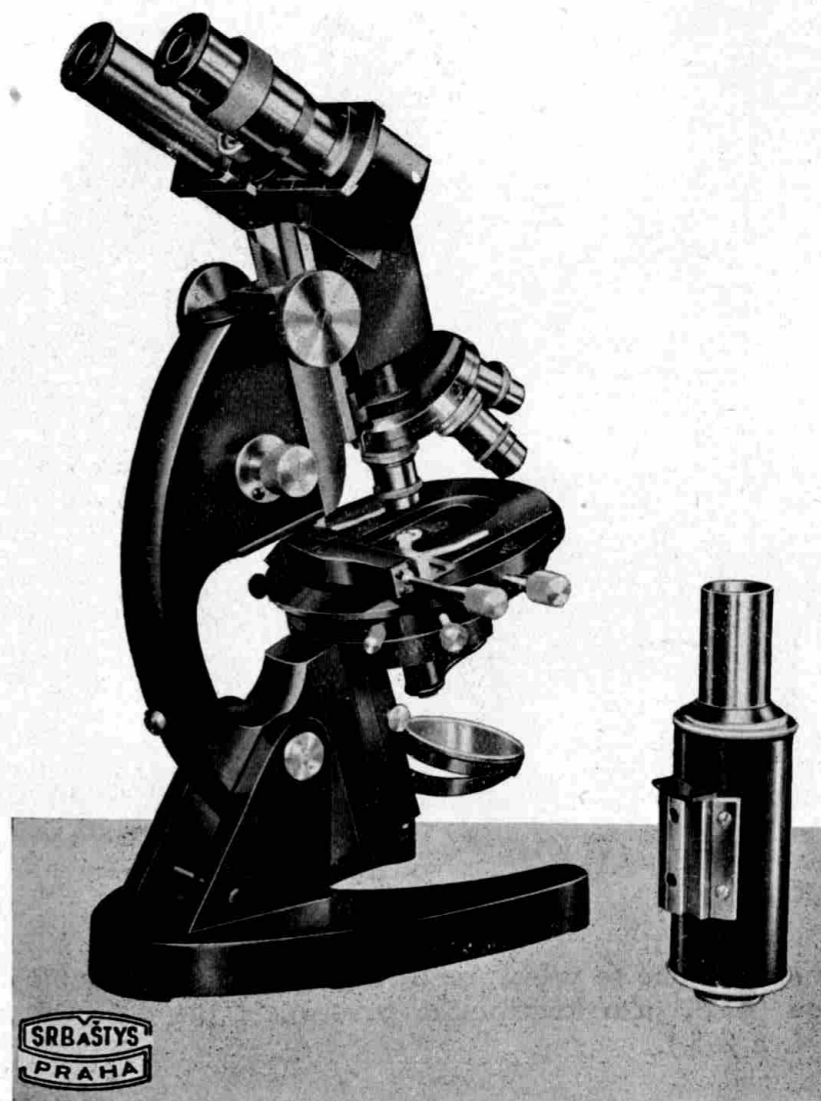
Obr. 289. Greenoughův mikroskop binokulární.



Obr. 290. Schema rozdělení paprsků v binokulárním mikroskopu.

dání způsobuje, že se obraz jeví ve správné plastice (nikoliv pseudoskopicky).

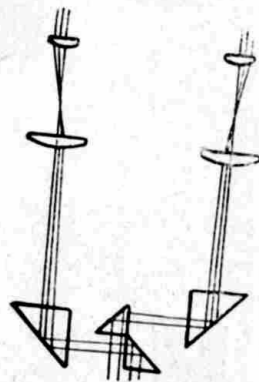
Částečně plastického dojmu docílíme též binokulárním mikroskopem dle obr. 290., když nastavíme okuláry na oční rozestup větší, nežli toho vyžaduje vzdálenost očí pozorovatele. Následkem exentrického postavení výstupních pupil vzhledem k očním pupilám dosáhneme stereoskopického efektu. Též půlkruhovými clon-



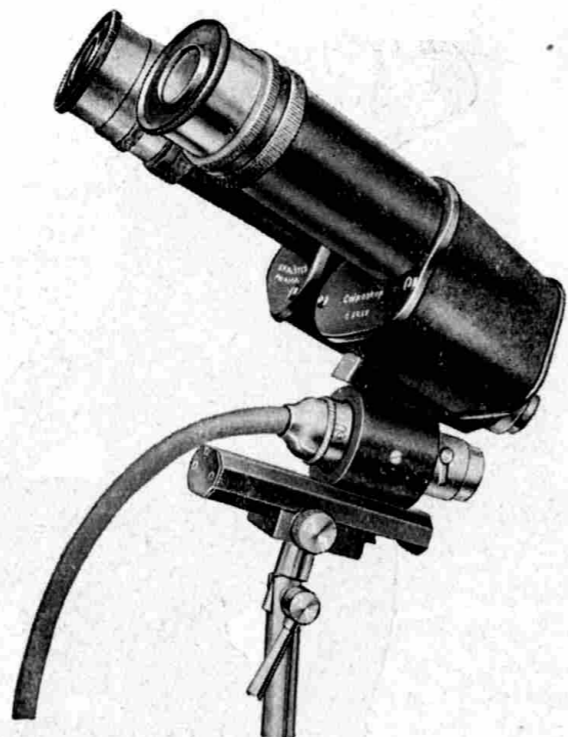
Obr. 291. Binokulární mikroskop s lomeným binokulárním systémem, který umožňuje pohodlnější pozorování. Vedle je tubus pro monokulární pozorování.

kami položenými na okuláru a zakrývajících vnější poloviny pupil lze docílití podobného výsledku. Když dáme clony opačně, objeví se obraz pseudoskopický. Tyto diapositivы mají ovšem nevýhodu značné ztráty světla, omezují ve skutečnosti aperturu mikroobjektivu a snižují tím rozlišovací schopnost.

Pro slabá zvětšení a velká zorná pole se užívá binokulárních lup, jimiž je plasticky viděti pozorované předměty (obr. 293.), poněvadž každé oko vidí odlišný obraz předmětu.



Obr. 292.
Schema rozdělení paprsků
v stereoskopickém binokulárním mikroskopu.



Obr. 293. Binokulární lupa s iluminátorem
umístěným v podstavci. (Zvětšení 20 x.)

Dílenské mikroskopy.

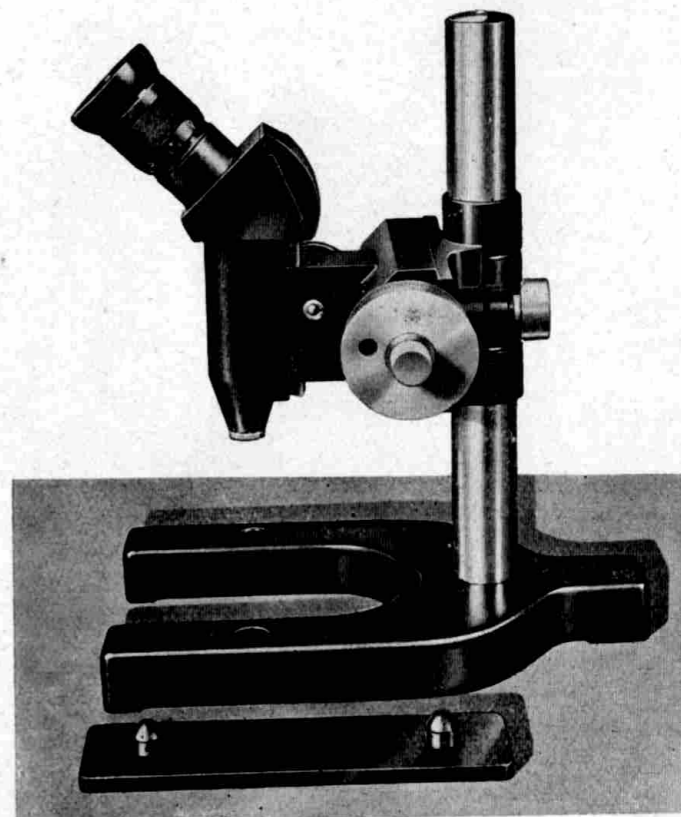
V novější době se velmi rozšířilo používání mikroskopů i pro dílenskou praxi, jako kontrolního přístroje a pro měřické účely (obr. 294. a 295.).

Mikrofotografie.

Zachycení obrazu, daného mikroskopem, na fotografii, je možno provésti několika způsoby. Pro malá zvětšení (až do $100\times$) lze fotografovati samotným objektivem, na nějž se nasadí fotografická komora. Zvětšení závisí pak na výtahu komory. Častěji se fotografuje skrze okulár. Používá se k tomu i speciálních okulárů dávajících vyrovnané zorné pole. Celá fotokomora se nasadí na tubus mikroskopu a je nesena obyčejně zvláštním stojanem (obr. 296.). Pro menší fotografické formáty se užívá často lehkých komor, které se nasadí přímo na tubus a které mají případně po straně okulár



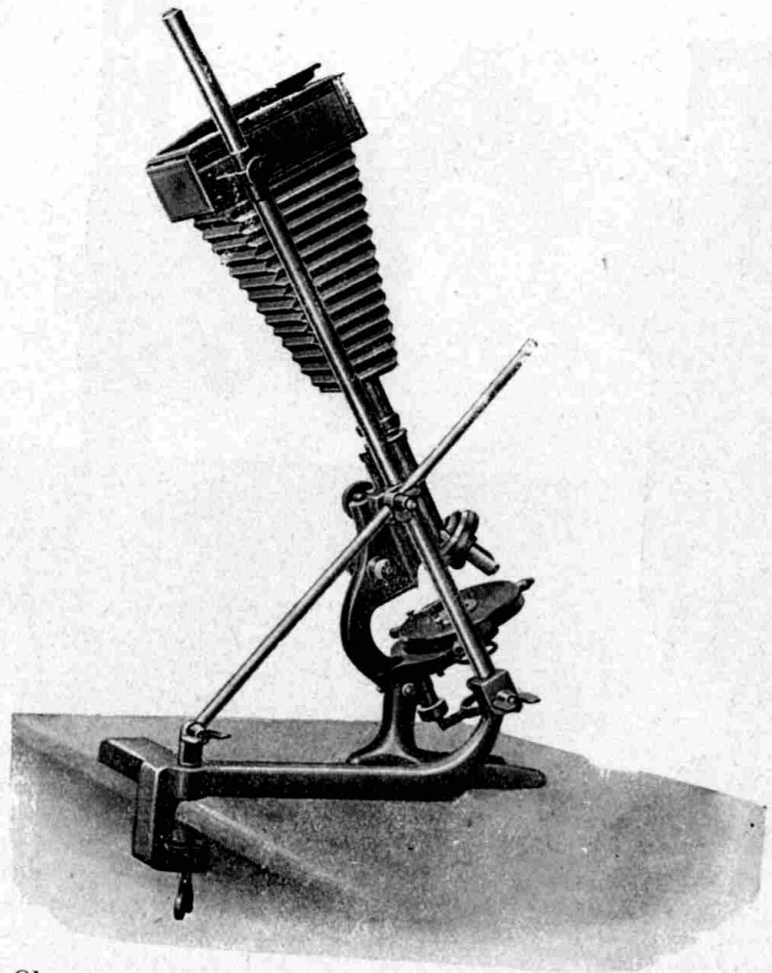
Obr. 294. Dílenský kontrolní mikroskop se suchou baterií v držáku, ve kterém je osvětlovací zařízení, zvětšení 40 x. Mikrometr v mikroskopu umožňuje měření na $\frac{1}{100}$ m/m.



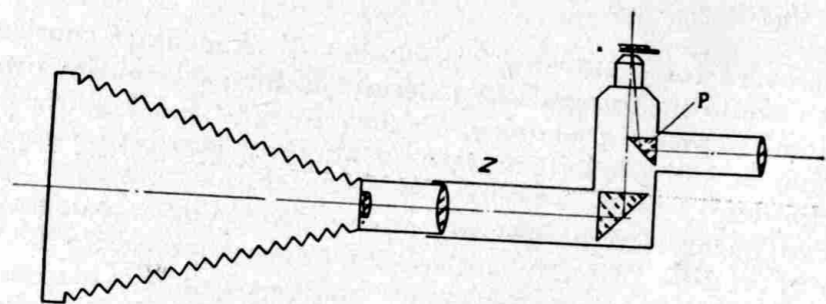
Obr. 295. Dílenský měřicí mikroskop. Dává vzpřímený obraz, zvětšení 30 x. Celý mikroskop je posouván mikrometrickým šroubem v rozsahu 10 m/m. Měří na $\frac{2}{1000}$ m/m.

k pozorování fotografovaného předmětu. V okamžiku expozice převede se světlo na fotografickou desku pouhým odsunutím hranolu, jenž lomí paprsky k okuláru. Taková fotografická komora je tak zařízena, že je-li předmět zaostřen v okuláru, je zaostřen i na fotografické desce.

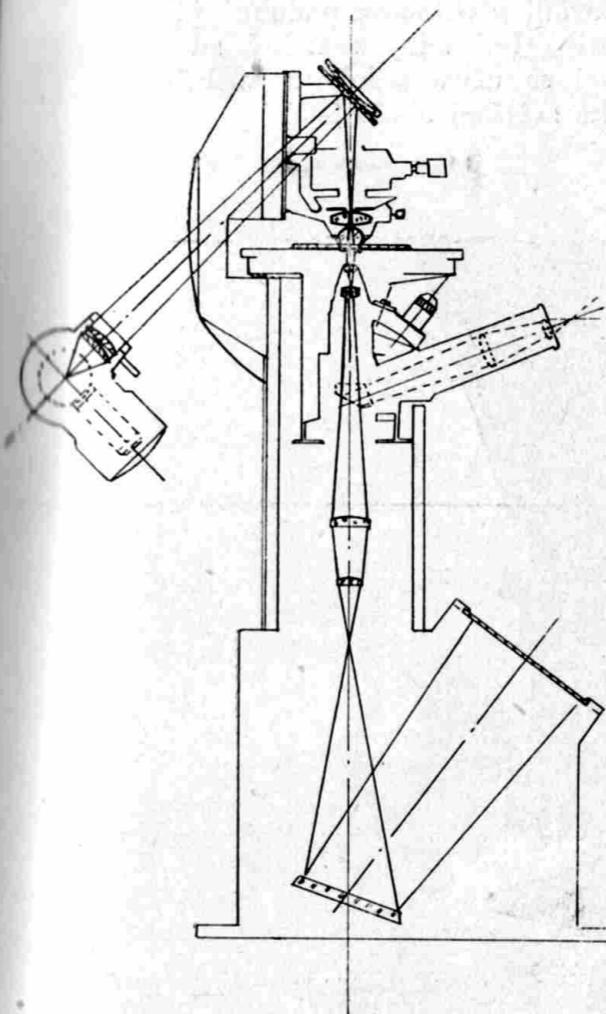
Pro pozorování a pro mikrofotografii kovů (metalografii) se užívá ve většině případů *obráceného mikroskopu podle Le-Chatelliera* (obr. 297.), kde se předměty kladou na stolek a pozorují se zdola. Zaostřuje se posouváním stolku. Kompletní mikroskopický moderní přístroj, sloužící jak pro pozorování, tak i pro mikrofotografii, na němž je použito principu převráceného mikroskopu, je znázorněn na obr. 298. a 299.



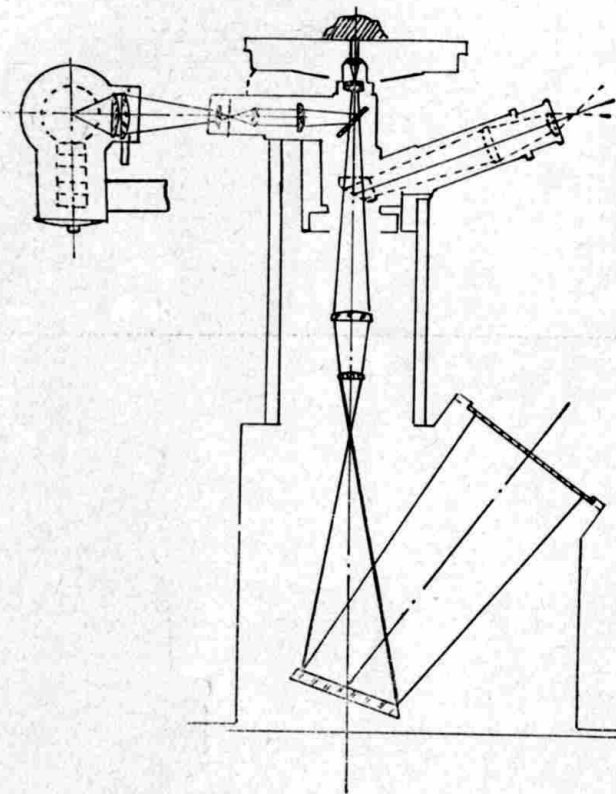
Obr. 296. Mikrofotografická komora dle prof. Studničky.



Obr. 297. Princip metalografického mikroskopu Le-Chatelierova. (P je hranol odvádějící část paprsků do pomocného okuláru, jímž je možno pozpovati fotografovaný předmět.)



Obr. 298. Schematický řez mikroskopem upraveným pro mikrofotografii. Pozorování průhledných preparátů.

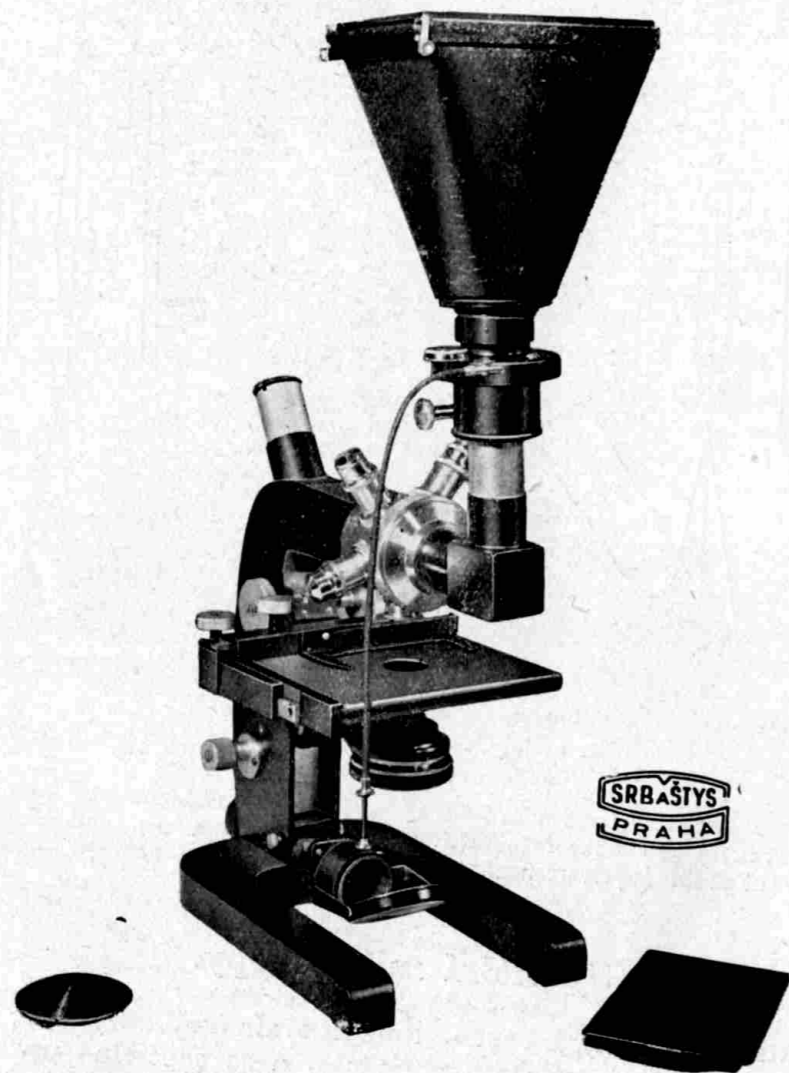


Obr. 299. Schematický řez velkým mikroskopem pro mikrofotografii. Pozorování neprůhled. předmětů.

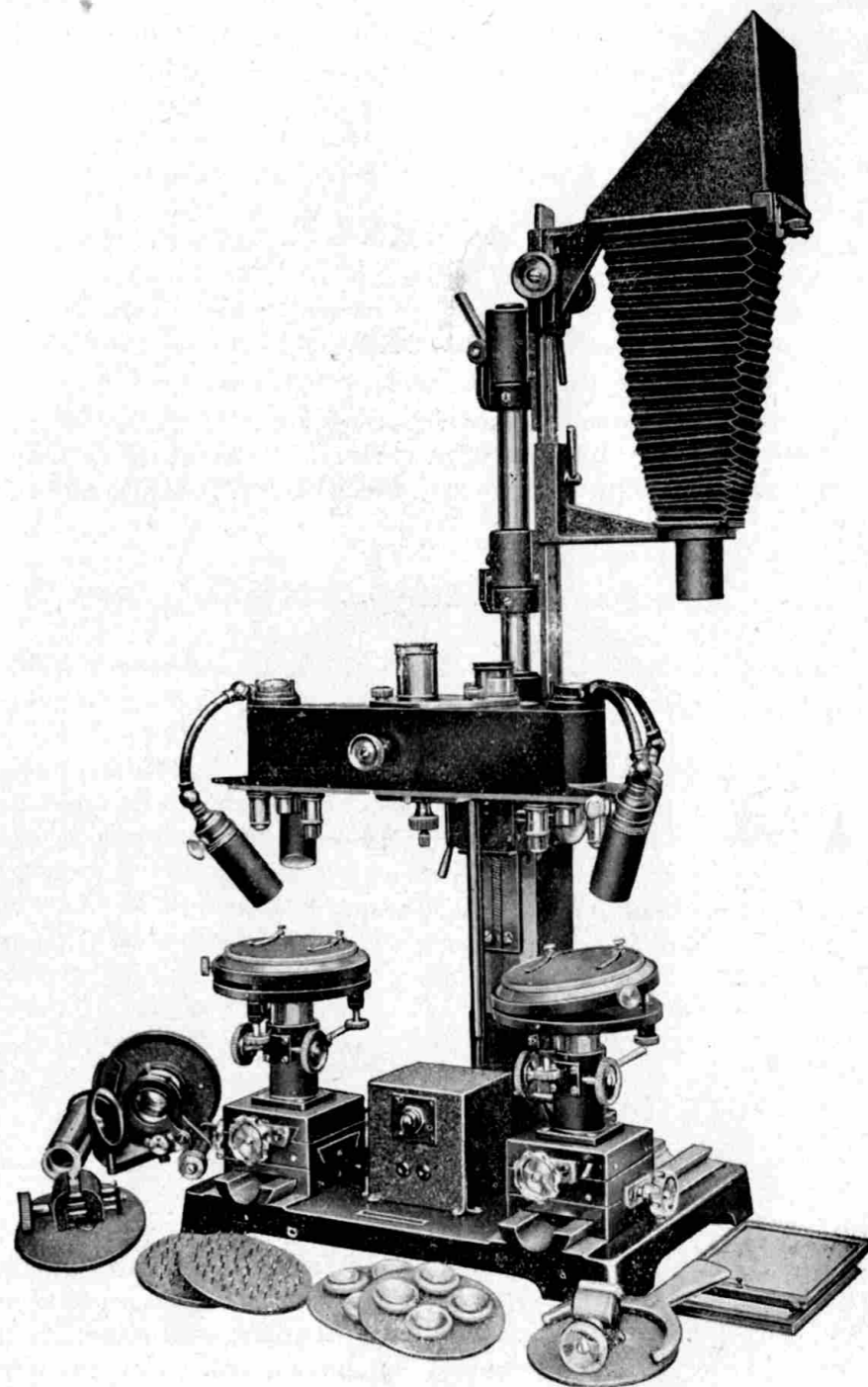
Speciální mikroskopy.

Firma Srb a Štys, Praha, konstruovala zajímavý typ mikroskopu s mikrofotografickým zařízením a se speciálně upraveným revolverem pro rychlou výměnu objektivů (obr. 300.). Velký přístroj pro speciální mikroskopii a mikrofotografii srovnávací, potřebnou na př. pro kriminologické badání, představuje obr. 301. Je určen k tomu, aby se v jednom okuláru nebo na jedné desce mohly zachytiti ve dvou polovinách zorného pole obrazy dvou předmětů a urychlilo se tak jejich porovnání.

Mikroskopická projekce se provádí v principu podobně jako mikrofotografie. Je však nutno voliti velmi silný světelný zdroj, zvláště pro větší zvětšení. K projekci se užívá někdy speciálních mikroprojekčních okulárů (pro velká zvětšení okolo $800\times$).



Obr. 300. Nový typ mikroskopu zařízený k současnému fotografování pozorovaných objektů.

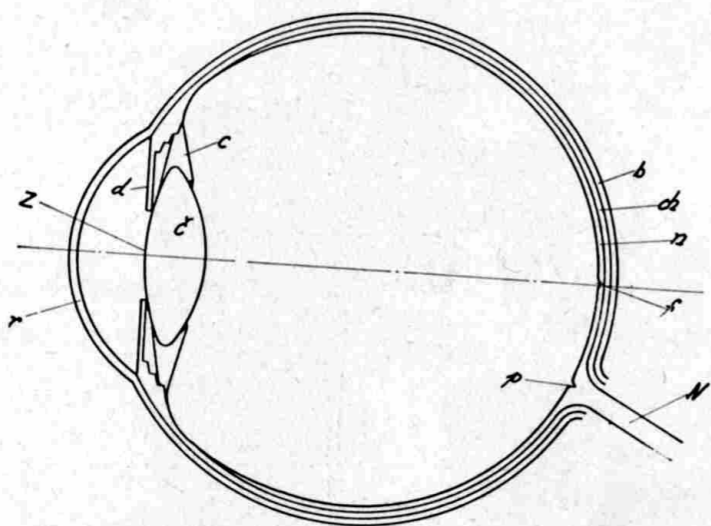


Obr. 301. Mikrofotokomparátor.

OKO A BRÝLE.

Stavba oka.

Aby bylo porozuměno optické funkci oka, je nutno nejprve se informovati o jeho anatomickém složení. V literatuře se zhusta užívá pro jednotlivé jeho části výrazů latinských a proto je zde také uvedeme.



Obr. 302. Řez okem.

Oko jest přibližně tvaru koule (obr. 302.), jejíž vnější tuhý, bílý obal nazývá se *bělíma b (sklera)*. Vpředu bělíma přechází ve více vyklenutou *rohovku r (cornea)*, styčnou čarou zvanou *limbus*. Rohovka jest zcela čirá, hladká a pouze půl milimetru silná. Za ní jest *duhovka (iris) d*, jejíž pigment je barvou oka. Za otvorem v duhovce — *zornici z (pupila)* — leží *čočka č (lens cristallina)*, složená z tužších, taktéž čirých vrstev. Prostor mezi rohovkou a čočkou (přední komora) je vyplněn *očním mokem (humor aqueus)*. Čočka je ovládána kruhovým svalem *c* tak, že může se více nebo

méně vyklenouti. Druhá plocha čočky hraničí na *sklivec s (corpus vitreum)*. Vyplňuje celý prostor za čočkou. Zadní stěna oka je tvořena jemnou nervovou sítí, zvanou *sítnice n (retina)*. Sítnice obsahuje vlastní zrkové elementy — *tyčinky a čípky*, — zasahující do vrstvy očního purpuru, jehož barva se mění působením světla a ve tmě opět regeneruje. Nervová vlákna se spojují v *oční nerv N (nervus opticus)*. Místo na sítnici, kde tento nerv opouští oko, neobsahuje žádných tyčinek ani čípků a proto jest na světelná dráždění necitlivé — *slepá skvrna p (papilla)*. Kol optické osy oka obsahuje sítnice jen čípky. Ve středu této kruhové plošky o průměru necelého milimetru (*žlutá skvrna — macula lutea*) je nejcitlivější místo oka. Je to malá jamka, zvaná *fovea centralis f*. Celý tento jemný systém je nutno řádně vyživovati, což obstarává tmavá *cévnatka ch (chorioidea)*, prostoupená hojnými cévami.

Optická konstrukce oka.

Všechna prostředí, jimiž světlo v oku prochází, působí jako spojný systém, který ve svém ohnisku vytvoří zmenšený a převrácený obraz vzdálených předmětů. Rohovka jest tvaru konkavního menisku; jelikož však se index lomu moku vodnatého od rohovky velmi nepatrně liší, dává rohovka s mokem vodnatým, zaujímavým prostor konvexního menisku, jeden optický celek. Duhovka jest clonou světelnosti, jakou nalezneme u každého optického přístroje. Čočka, na vnější straně méně a na vnitřní více zakřivená, jest opticky značně zajímavá, skládajíc se z mnoha vrstev, jejichž index lomu ku středu stále stoupá (obr. 303.). Ohnisková vzdálenost takové



Obr. 303. Průřez čočkou.

čočky jest pak kratší, než kdybychom ji zhotovili z materiálu o indexu lomu rovném středu čočky. Sklivec se na dioptrické mohutnosti velkou měrou nezúčastní. Podle mnoha měření jest ohnisková vzdálenost normálního oka 17.06 mm. Předmětové ohnisko leží před vrcholem rohovky 15.71 mm. Obrazové ohnisko jest od příslušné hlavní roviny vzdálenější, neboť paprsky probíhají sklivcem, jehož index lomu jest vyšší vzduchu. Celá délka oka od vrcholu rohovky až ke žluté skvrně jest 24.4 mm.

Korekce vad zobrazovacích není u oka nikterak zvlášť provedena. Obraz jest stížen sférickou i chromatickou aberací, nehledě k nadobýčejným chybám mimo osu. Nejsou však nikterak na závadu, neboť rozptylové kruhy jsou menší než zrakový element. Na chromatické vadě je založen způsob zkoušení očí, t. zv. *chromoptometrie*.

Funkce oka.

Světelné podráždění sítnice způsobí chemické změny. Vrstva červeného barviva, do kterého tyčinky a čípky zasahují, mění se v barvivo žluté. Uvolněná energie ve formě elektriny dráždí příslušné nervové dráhy vedoucí do mozku, který pak světelné dojmy registruje. V okolí žluté skvrny jsou samé čípky, které čím dále jsou propustovány více tyčinkami, až v částech odlehlejších od osy optické nalézají se výhradně tyčinky. Bylo zjištěno, že schopnosti viděti barvy ubývá směrem od optické osy a z toho soudíme, že barvy možno vnímati pouze čípky. Osoby, které mají cit pro barvy porušený, nazýváme daltonisty. Jasnost barvy se mění podle okamžitého osvětlení; v šeru jsou modré předměty jasnější než červené, jakkoliv za plného světla byly stejně světlé. (Purkyňův efekt.)

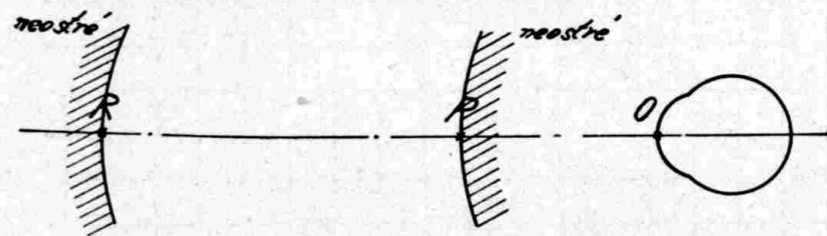
Na různé barvy jest oko různě citlivé. Kdybychom si neutrálním fyzikálním měřením ověřili tutéž intenzitu různě zbarvených světelných svazků, pak odhad, učiněný okem, se s měřením shodovati nebude. Nejintenzivnější mu připadne barva žlutozelená, kdežto modrý a červený konec spektra vidí daleko slaběji, při čemž tyto hranice barevné citlivosti jsou u různých osob a zvláště u různých zvířat různé.

Duhovka automaticky ochraňuje oko před vniknutím velikého množství světla, které by případně jeho jemnou stavbu na určitý čas porušilo (oslnění). Za šera se roztáhne až na průměr 8–9 mm, kdežto za jasného osvětlení stahuje se až na 1 mm. Možnost zvětšení průměru duhovky jest však funkcí stáří, takže starší lidé mají první obtíže zrakové za soumraku. Tento efekt jest směrodatný pro volbu nočního dalekohledu. Přeorientování očního systému na tmou trvá dosti dlouho. Když oko plně na tmou adaptovalo, jsou v činnosti pouze tyčinky, takže tam, kde jsou hustější, reaguje oko na jemnější rozdíly intenzity osvětlení mnohem více. To znají astronomové a při pozorování málo jasných hvězd hledí vždy jiným směrem, než jest svítící bod.

Zorné pole není nikterak omezeno, avšak ostrosti obrazu směrem od žluté skvrny rychle ubývá, takže konečně oko vnímá jen rozdíly světelných intenzit. Že nevidíme následkem toho jen nepatrný výsek prostoru, je způsobeno velikou pohyblivostí oka, pro-

tože, jsouc ovládáno šesti svazky svalů, téká neustále s místa na místo, čímž celý prostor jaksi ohledává. Určitým způsobem (pokus Mariotte-ův) lze v zorném poli nalézt tmavou skvrnu, když obraz předmětu padne právě na místo, kde nerv vstupuje do oka (slepá skvrna). Temporálně (směrem ku spánkům) není zorné pole oka ničím omezené, nasálně překáží nosní kost. Zorné pole měříme přístrojem zvaným perimetr.

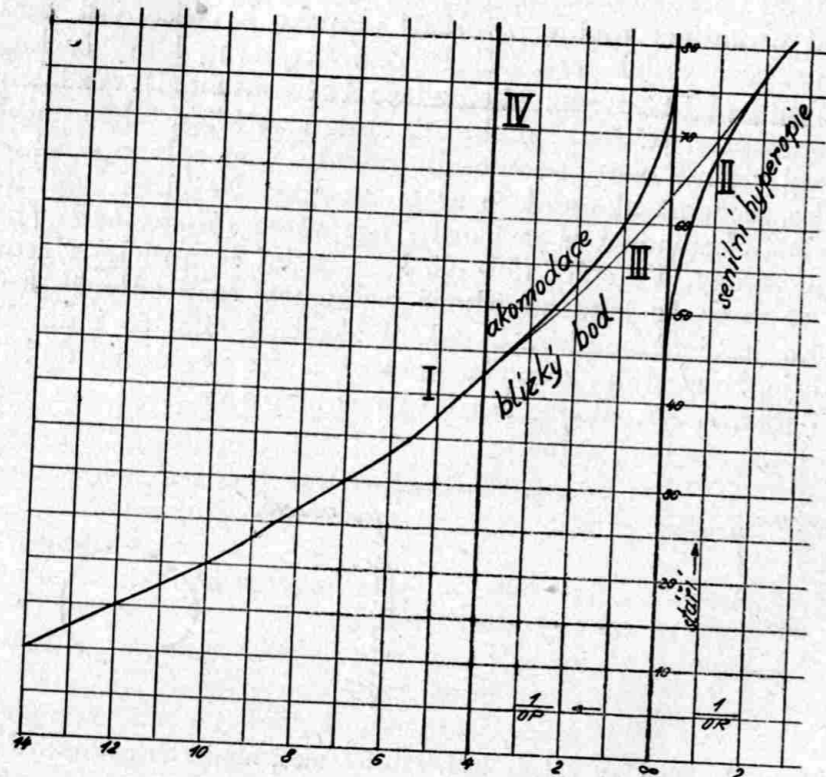
V kapitole o čočkách jest odvozeno, že pohybuje-li se předmět směrem k čočce, vykoná jeho obraz pohyb ve směru od čočky. Tedy pohyb předmětu a jeho obrazu jest stejnosměrný. Při pohledu do blízka nevznikne proto obraz na sítnici, nýbrž za ní. Abychom viděli blízký předmět ostře, musíme při nezměněné vzdálenosti čočky od promítací roviny přiblížiti ohnisko k čočce, čili zkrátiti její ohniskovou vzdálenost. Učiní to závěsný sval, který čočku vyklene. Tento efekt zoveme akomodace (přizpůsobení). Vzdálenost, na kterou možno ještě akomodovati, roste se stářím, takže nejbližší bod, který vidíme ostře, se neustále oddaluje, až splyne s nekonečnem; oko možnost akomodace zcela ztratilo. Nejbližší bod, který při největší akomodaci se jeví ostře, nazýváme »blízký bod« (*punctum proximum*). Ve stáří (50–60 let) změní se optické vlastnosti oka do té míry, že jeho ohnisková vzdálenost se prodlouží. Pokud může oko ještě akomodovati, pak ji zkracuje tím, že i do dálky akomoduje. Brzy však akomodace nestačí a oko nevidí ani do blízka ani do dálky. Zjevu říkáme *senilní hypermetropie*.



Obr. 304. Blízký a daleký bod. Prostor mezi nimi vidí oko ostře.

Poloha nejvzdálenějšího bodu, který oko vidí ještě ostře, aniž by akomodovalo, jest, jak poznáme, důležitou pro posouzení stavu oka. Říkáme mu »daleký bod« (*punctum remotum*) a označujeme jej *R*. Normální oko má svůj daleký bod v nekonečnu, oko krátkozraké před a dalekozraké za okem. Převratná hodnota vzdálenosti *O R* (viz obr. 304.) jest nazývána oční refrakcí. Rozdíl převratných hodnot délek *OP* a *OR* představuje prostor, ve kterém může oko akomodovati. Tato hodnota se proto nazývá *akomodační šíře*.

Grafikon 305. vyjadřuje závislost vzdálenosti blízkého a dalekého bodu na stáří. Na svislé ose jest naneseno stáří oka, na vodorovné jest do leva v dioptriích akomodace a převratné hodnoty vzdálenosti blízkého bodu. Do prava pak převratné hodnoty vzdálenosti bodu *R*. Křivka *I* znázorňuje průběh úbytku akomodace. Vidíme, že v deseti letech možno akomodovati 14 dioptrií; jest tedy blízký bod *P* vzdálen asi 70 mm. Vidíme dále, že mezi 40. a 45. rokem akomodační šíře jest právě 4 dptr., t. j. blízký bod bude 25 cm daleko. Po tomto okamžiku osoba vidí na čtení pouze pomocí brýlí. Tato hranice zřetelného vidění do blízka jest vyznačena přímkou *IV*. Kol 50. roku vyvíjí se senilní hypermetropie, vyznačená



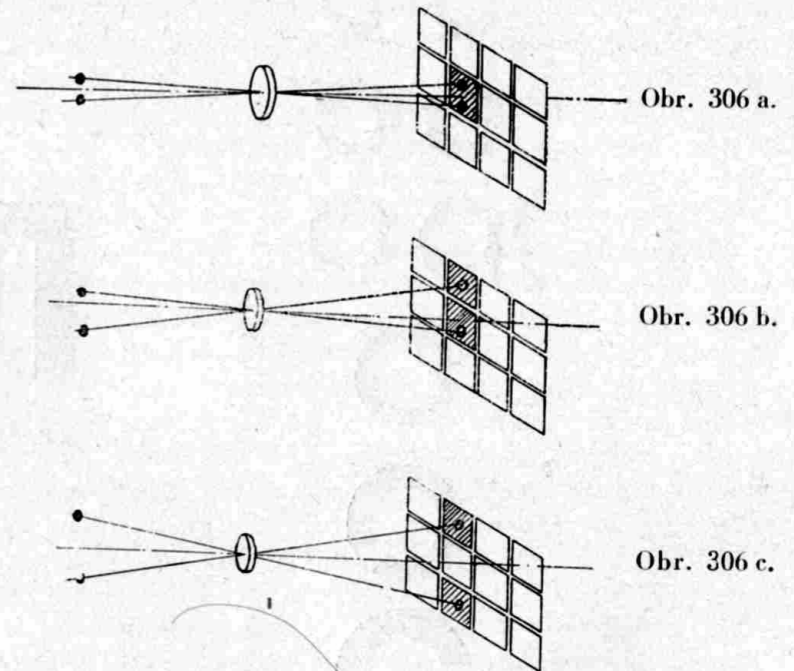
Obr. 305. Změna polohy bodu *R* a *P* se stářím.

křivkou *II*. Senilní hypermetropie, jevíci se jako normální dalekozrakost (viz kapitolu o hypermetropii), způsobí, že vzdálený bod *R* nalézá se v konečnu za okem. Senilní hypermetropie jest kompenzována akomodací, pokud ovšem akomodační šíře jest větší než velikost hypermetropie. Senilní oko musí tedy akomodovati již při pohledu do nekonečna. Následkem toho oddálí se blízký bod o hodnotu odpovídající senilní hypermetropii ještě více od oka,

jak vyznačeno křivkou *III*. Kol 65. roku, ačkoliv oko může ještě 0,5 dptr. akomodovati, leží již blízký bod v nekonečnu: oko vidí bez brýlí právě jen velmi vzdálené předměty, a to s vypětím veškeré své akomodace. Pak přechází křivka *III* za nekonečno; oko nevidí ostře vůbec. K tomuto grafu se ještě vrátíme.

Rozlišovací schopnost.

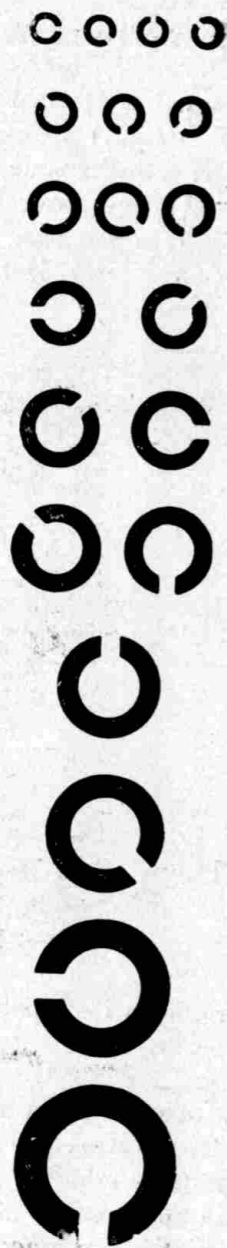
Rozlišovací schopnost je vlastnost rozeznání od sebe dva velmi blízké body. Kdyby oko mohlo rozlišiti ty nejjemnější podrobnosti tak, jako je vidíme jen silným mikroskopem, nebylo by lze předměty pro změt tvarů a čar na jejich povrchu snad vůbec vnímati. Na štěstí jest rozlišovací schopnost oka jako každého přístroje omezena. Představme si rastr, jaký jest používán v tisku.



Obr. 306. Vysvětlení rozlišovací schopnosti oka.

Když tímto rastrem rozdělíme fotografickou desku na samé čtverečky a na ni fotografujeme dva velmi blízké body předmětu, pak tyto úplně splynou, když padnou oba na jedno políčko rastru (obr. 306a); ale i když budou na sousedních čtvercích, uvidíme jen jednu skvrnu (obr. 306b). Rozlišíme je teprve tehdy, když mezi nimi bude jedno pole volné, jak na obr. 306c dovozeno. Zrakové

elementy tvoří podobný rastr samých šestiúhelníků a platí o nich totéž. Obrazy dvou bodů, máme-li je rozlišiti, musí býti od sebe vzdáleny nejméně na šíři jednoho elementu, která je asi 0,005 mm. Praxe tuto úvahu potvrzuje: dva body vnímáme jako dva, jeví-li se oku v úhlu nejméně jedné minuty. V trojúhelníku tvořeném ohniskovou vzdáleností oka a tímto úhlem vychází protilehlá

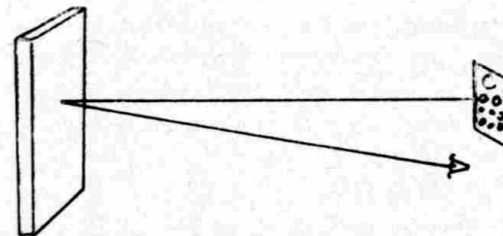


Obr. 307. Prstenec Landoltův.



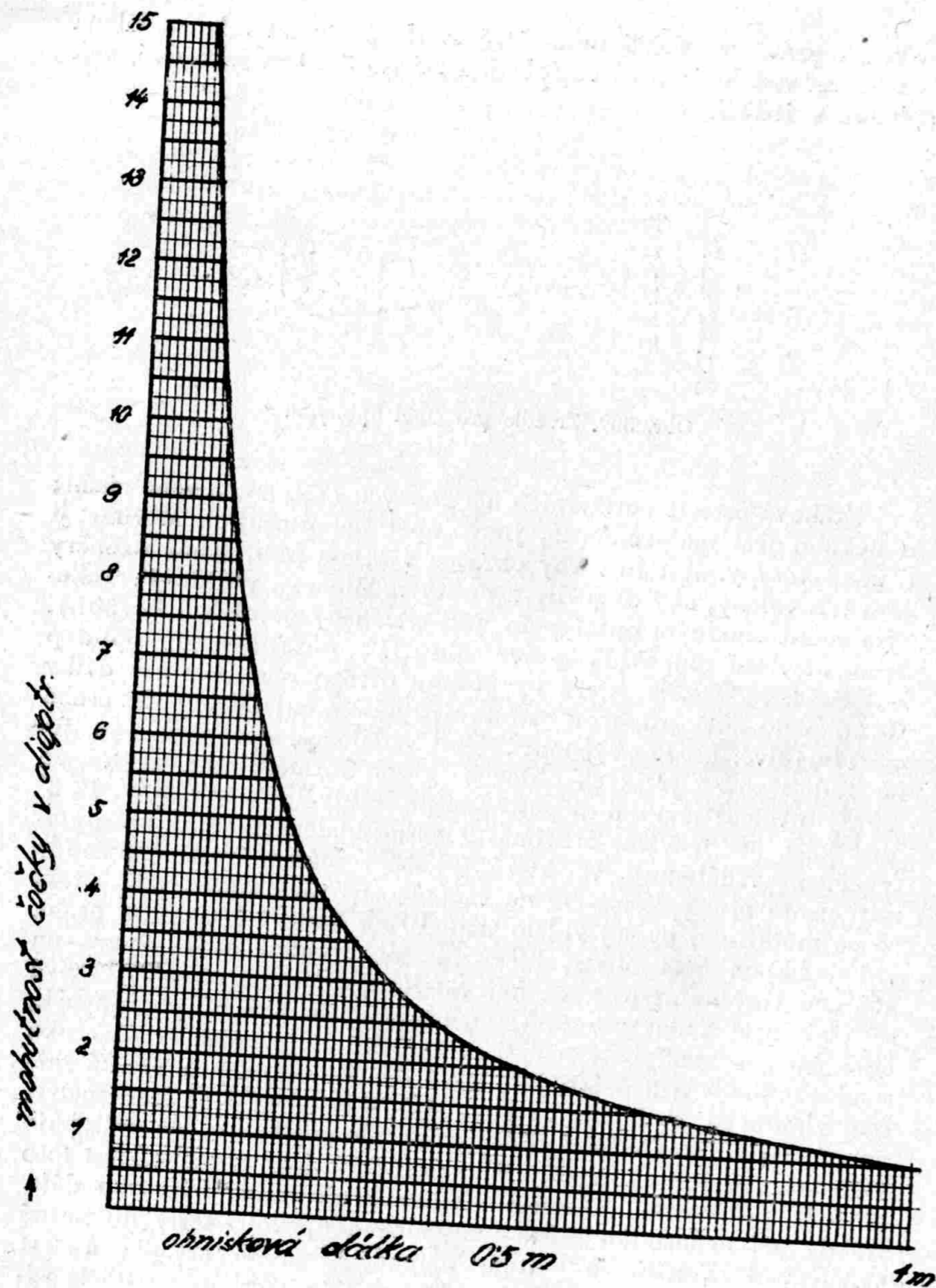
Obr. 308. Háček Snellenův.

odvěsna právě asi 0,005 mm. Dvě světla metr od sebe vzdálená vidíme na vzdalujícím se vozidle jen asi do 3400 m jako dvě, pak splynou v jediné.



Obr. 309. Zrcadlo pro čtení optotypu.

Zraková ostrost normálních očí různých osob se od sebe různí; u někoho jest nadprůměrná, jindy opět nedostačující. Měříme ji t. zv. *optotypy*. Jest to černý obrazec v bílém poli, jehož rozměry jsou tak voleny, aby se jevíly z určité vzdálenosti v úhlu 1'. Takovým velmi vhodným optotypem jest *prstěnek Landoltův* (obr. 307.). Jeho otevření odpovídá právě úhlu 1', pozorujeme-li optotyp z dálky 5 m. Osoba, která by polohu otvoru rozeznala i z dálky 10 m, bude míti zrakovou ostrost dvojnásobnou; říkáme, že osoba má *visus* dvě. Místo abychom měnili vzdálenost optotypu, použijeme raději různě velikých obrazců. Jejich rozměry jsou takové, že měrný otvor se jeví z 5 m postupně pod úhly 1/4', 1/2', 3/4', 1', 2' atd. (obr. 307.). *Visus* zjistíme dělením vzdálenosti, ve které optotyp čteme vzdáleností, ve které jej čísti máme. *Visus* 0,5 bude míti proto osoba, která čte na vzdálenost 5 m obrazec veliký tak, že normální oko by jej vidělo již z 10 m. *Visus* 3 bude míti osoba vidící již na 5 m obraz, který by měla viděti ostře teprve na 165 cm. Jiný optotyp, t. zv. *háček Snellenův*, jest na obr. 308. Užívá se však celá řada optotypů pozůstávajících hlavně z písmenek, čísel, ba pro analfabety a děti z obrázků. Tvar písmen však oko snadno odhaduje a proto jsou prvé dva optotypy pro přesná měření vhodnější. Vzdálenost testu má býti mezi pěti až šesti metry, neboť je-li optotyp blíže, počne oko akomodovati, což ovlivňuje výsledky. Na 4 m akomoduje oko totiž 0,25 dptr. a jelikož jest toto obvykle požadovaná přesnost oftalmometrie, musí býti oko dále. Někdy při nedostatku místa není možno upevniti testy do nutné vzdálenosti. Použijeme v tom případě dobrého zrcadla a test v zrcadlovém písmu umístíme nad pacientem. Získáme ještě té výhody, že můžeme obsluhovati optotyp i pacienta současně, bez přecházení nebo převodů (obr. 309.).



Obr. 310. Vztah optické mohutnosti a ohniskové vzdálenosti.

Pojem dioptrie avergence vůbec.

V kapitole o čočkách byl pro vztah mezi polohou předmětu a obrazu odvozen vzorec $1/p' = 1/p + 1/f$ anebo podle německého způsobu $1/b = 1/a + 1/f$. Dále platil vzorec $1/f = 1/f_1 + 1/f_2$. Vidíme z obou, že směrodatnou hodnotou pro výkon optické soustavy jest převrácená hodnota ohniskové vzdálenosti, neboť převratná hodnota výsledné ohniskové vzdálenosti dvou systémů jest rovna součtu převrácených hodnot ohniskové vzdálenosti každého a konečně, že vztah zobrazovací jest dán převratnými hodnotami vzdáleností obrazu a předmětu. Jistě je nejvýše důmyslné zavedení převrácených či invertních hodnot délkových t. zv. *vergencí* do optiky. Jednotkouvergence jest *1 dioptrie*. Jest to převratná hodnota jednoho metru. Vzdálenost půl metru odpovídá dvěma dioptriím. Počet dioptrií určuje optickou mohutnost čočky. Čočka o optické mohutnosti 4 dptr ($f = 25$ cm) bude výkonnější, než čočka o mohutnosti 2 dptr ($f = 50$ cm). Musíme si však uvědomovati, že vergencí neoznačujeme pouze ohniskovou vzdálenost, nýbrž kteroukoliv jinou délkovou míru.

Základní dioptrické zákony budou pak míti tvar trochu jednodušší, označíme-li:

$1/a = A$, $1/b = B$, $1/f = D$, $1/f_1 = D_1$, $1/f_2 = D_2$, vzdálenost čoček δ :

$$D = D_1 + D_2 \quad (59)$$

$$B = A + D \quad (60)$$

$$D = D_1 + D_2 - \delta D_1 D_2 \quad (61)$$

Podle první rovnice součet optických mohutností dvou tenkých a blízkých čoček jest roven výsledné optické mohutnosti celého systému. Podle rovnice druhé rovná se součet vergencí vzdálenosti obrazu a předmětu optické mohutnosti zobrazující čočky. Směr světla přicházejícího do optického systému předpokládáme a kreslíme vždy z leva do prava a počátek měření délek klademe u těchto rovnic do čočky, t. j. do jejich hlavních rovin. Vzdálenosti od čočky na levo, proti světlu budou záporné, od čočky na pravo, t. j. ve směru přicházejícího světla, kladné. Vzdálenost δ měříme mezi obrazovou hlavní rovinou jednoho systému a předmětovou hlavní rovinou druhého systému.

Vztah třetí jest rovnicí prvou pro případ, že mezi oběma systémy jest nějaká vzdálenost δ . Do rovnice jest ji dosazovati v metrech. Použití vzorců budiž objasněno:

1. Ve zkušebních brýlích bylo zjištěno, že zkoušenou ametropii plně koriguje sklo + 6 dptr spolu se sklem - 0,75 dptr. Vyhovovati tedy bude sklo + 5,25 dptr.

2. Konvexní sklo presbyopa má zobrazit předmět vzdálený 250 mm do »blízkého bodu«, ležícího 700 mm od oka. (Viz odstavec o presbyopii).

$$B = 1/0,7,$$

$$A = 1/0,25.$$

$$B = A + D,$$

$$D = 4 - 1,43.$$

Mohutnost skla bude asi + 2,5 dptr.

Obraz 310. znázorňuje graficky vztah mezi vergencí a délkovou hodnotou. Na vodorovné ose jsou naneseny délkové míry, na ose svislé odpovídající vergence v dioptriích. Hledáme-li vergenci nějaké délky, na př. optickou mohutnost čočky o ohniskové vzdálenosti 0,3 m; najdeme 0,3 m na vodorovné ose, jdeme vzhůru, až k průsečíku s křivkou a odsud vodorovně na svislé ose nalezneme 3,33 dptr. Podobných křivek užíváme jako vedení pro čočky pankratických dalekohledů nebo zvětšovacích přístrojů s konstantním zaostřením.

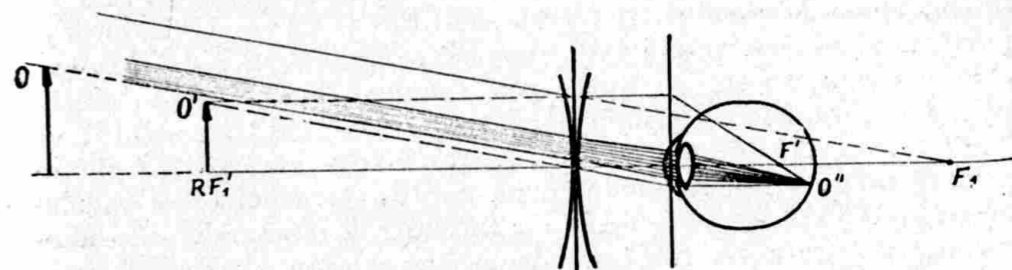
Krátkozraké oko.

Normálnímu oku, v němž obraz vzdáleného předmětu padá na sítnici, říkáme oko emetropické. Oko, kde tomu tak není, nazývá se okem ametropickým.

Krátkozrakost či myopie je způsobena tím, že obraz nachází se uvnitř sklivce a nikoliv na sítnici. Jen zřídka kdy jest to způsobeno změnami zakřivení nebo indexů lomu. Obvyklou příčinou bývá příliš dlouhá stavba oka.

Myop nemůže vzdálený předmět vidět ostře; předmět musíme přiblížit k oku, aby i jeho obraz pohyboval se směrem souhlasným až padne na sítnici. Tento bod jest nejvzdálenějším, který oko uvidí ještě ostře, jest to tedy »daleký bod« oka. Převratná hodnota vzdálenosti RO t. zv. *oční refrakce* vyjadřuje stupeň krátkozrakosti. Daleký bod myopa leží před okem. Čím blíže je bod R , tím je myopie silnější. Krátkozraká osoba, chce-li vidět ostře, musí přivést předmět nejméně do dalekého bodu. Myopii vyrovnáme vhodnou korekční čočkou, jejímž účelem bude zobrazit vzdálené předměty do dalekého bodu R . Z obr. 311. jest patrný chod paprsků. V kapitole o čočkách jest odvozeno, že konkavní čočka zobrazí virtuálně daleký předmět do svého ohniska. Ohniskovou vzdálenost korekčního skla jest voliti rovnou vzdálenosti tohoto skla od bodu R , neboť pak bude v nekonečnu ležící předmět zobrazen do R . Korigující sklo bude vždy silnější, než je stupeň krátkozrakosti, neboť jest blíže k punctu remotu. Čím dále od oka sklo

umístíme, tím musí být silnější, má-li být splněna podmínka splynutí ohniska skla s dalekým bodem. Zřejmě bude výhodné voliti pro krátkozraké oko vzdálenost skla od oka co nejmenší, neboť sklo pak bude slabší. Sklo zobrazí nekonečně vzdálený předmět O do svého ohniska F' jako O' . Paprsky z tohoto zdánlivého obrazu přicházející mají takovou divergenci, že systém oka je právě shromáždí na sítnici jako O'' .



Obr. 311. Korekce krátkozrakého oka.

Obrazy v krátkozrakém oku budou větší než v oku emetropickém. Vysvětlíme si to tímto příkladem: zvětšíme výťah fotografického aparátu; obraz předmětu v nekonečnu ležícího bude sice neostřejší, ale větší. Opatříme-li oko patřičným sklem, pak systém oka tvoří spolu se sklem teleobjektivový systém, ve kterém jsou hlavní roviny blíže u pozitivu, tedy u oka. Ohnisková vzdálenost celého systému bude pak jen o málo větší, než samotného oka, neboť hlavní roviny se posunuly, jak řečeno, vzad, směrem k sítnici. Jejich pohyb není však takový, aby ohnisková vzdálenost celého systému byla normálních 17,06 mm. Vzniklý obraz bude vždy větší, než v oku emetropickém. Avšak menší, než neostřejší obraz nekorigovaného myopa. Krátkozrací si často stěžují, že jejich brýle jim zmenšují. Nemusí to být vždy způsobeno příliš silným korekčním sklem, neboť, jak dovozeno, i sklo správné, plně korigující, obraz jim zdánlivě zmenší. Podobně bude konkavní sklo působiti i na perspektivu. Prostor se objeví značně hlubší, s přehnanou perspektivou, předměty zdají se být dále, než jsou skutečně (obr. 78.). Tento pocit má oko jistě pouze v prvním čase nošení brýlí, pak automaticky vyrovnává nesouhlas zrakového vjemu se skutečností.

Protože předměty jsou krátkozrakému oku brýlemi zdánlivě zmenšovány, nebude oko nuceno vykonávat tak veliký pohyb, jako oko normální, aby přehlédló týž úsek prostoru. Také skla v brýlích nemusí být příliš veliká, neboť oko za nimi se tolik nepohybuje. T. zv. skla »lentikulár« nalézají tedy i svého teoretického opodstatnění.

Řekli jsme, že sklo má zobrazit předmět z nekonečna do roviny proložené dalekým bodem R . Kam zobrazí toto sklo bod, který jest v konečné vzdálenosti dvacetipěti centimetrů, takže emetropické oko by naň musilo 4 dptr. akomodovati. Brýlové sklo, silné na př. -6 dptr. a vzdálené od oka 12 mm, bude od předmětu $0,25 - 0,012 = 0,238$ m daleko. Tedy $A = 4,22$ dptr., z čehož $B = -4,22 - 6 = -10,22$ dptr. a tedy $b = -0,098$ m. Sklo -6 dptr. zobrazí předmět 98 mm před sebe, takže oko, které je 12 mm za sklem, musí akomodovati na vzdálenost $98 + 12 = 110$ mm. Vypočteme nyní, jak veliká tato akomodace musí být. Když brýlové sklo má mohutnost -6 dptr., pak vzdálený bod R tímto sklem plně korigovaného oka bude daleko $-1/6 - 0,012 = -0,167 - 0,012 = -0,179$ m. Akomodace, kterou oko vyvine při přechodu z $0,179$ m do $0,110$ m, bude rovna rozdílu vergencí obou vzdáleností: $-1/0,179 - (-1/0,11) = 2,7$ dptr. Krátkozraké oko akomoduje 2,7 dptr. na tutéž vzdálenost, na kterou akomoduje normální oko 4 dptr. Vidíme, že oko krátkozraké akomoduje vždy méně než emetropické.

Oko hypermetropické.

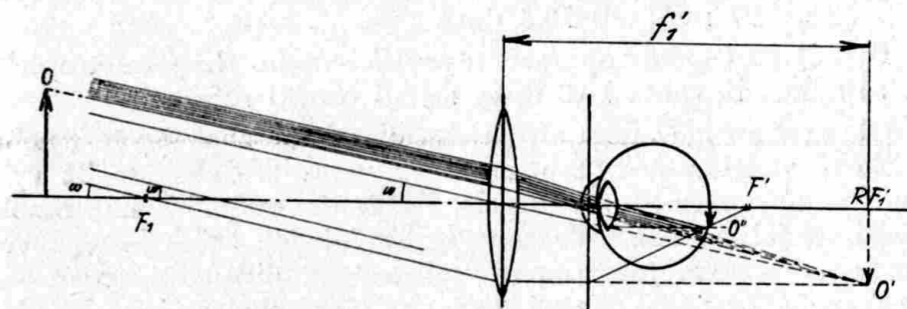
Na rozdíl od oka myopického jest hypermetropické příliš krátké, při čemž ohnisková vzdálenost optického systému jest táž, jako u oka emetropického. Obraz vzdáleného předmětu byl by ostrý až za rovinou sítnice. Oko však počne akomodovati, takže vzdor hypermetropii, předmět se objeví ostře. Oko hypermetropické nebude tedy nikdy bez akomodace, neboť musí akomodovati i na dálku. Bod viděný hypermetropickým okem ostře, aniž by akomodovalo, byl by jaksi za nekonečnem, tedy vlastně za okem. Je to opět »daleký bod« R .

Čím jest bod R blíže oku, tím více musí oko akomodovati, aby dobře vidělo vzdálený předmět, až se stane u člověka staršího, že do tak značné míry akomodovati vůbec nemůže. Mnohdy se dozví o své ametropii, až teprve v tomto okamžiku.

Úkolem brýlového skla jest dáti rovnoběžným paprskům takovou konvergenci, aby směřovaly do bodu R , kam vzdálený předmět bude sklem zobrazen. Ohnisková vzdálenost skla bude se rovnati jeho vzdálenosti od bodu R (obr. 312.). Velmi vzdálený předmět O jest zobrazen tedy do R jako O' . Paprsky do O' směřující, jsou systémem oka shromážděny na sítnici, kde vytvoří ostrý obraz O'' . Co se týče blízkého bodu P musíme si uvědomiti, že akomodační šíře hypermetropického oka jest táž jako emetropic-

kého. Jelikož akomoduje dívaje se do nekonečna, posune se bod P o určitý úsek dále od oka.

Obraz v nevykorigovaném hypermetropickém oku bude menší než v normálním, neboť sítnice jest blíže u čočky, která, akomodujíc bez ustání, dá celému systému kratší okniskovou vzdálenost. I když opatříme oko korigujícím sklem, bude vždy podle vzorce $D = D_1 + D_2 - \delta D_1 D_2$ výsledná ohnisková vzdálenost celého systému rozhodně menší než oka normálního. Při tom však bude hypermetrop tvrditi, že jeho brýle zvětšují, neboť obraz v oku bez brýlí jest u hypermetropa vždy menší než s brýlemi.



Obr. 312. Korekce hypermetropického oka.

Oproti oku krátkozrakému vidí tedy dalekozraké brýlemi vše větší. Jeho pohyb při přehlédnutí určitého úseku prostoru bude větší než u emetropického a mnohem větší než u krátkozrakého oka. Použijeme tedy skel raději větších a správně korigovaných proti astigmatismu. Následkem zdánlivého zvětšení vidí oko předměty tak jako slabým dalekohledem: vše jest blíže a perspektiva jest plochá.

Právě tak, jako jsme zjistili, že myopické oko akomoduje méně než emetropické, můžeme vypočítati, že hypermetrop potřebuje na tutéž vzdálenost akomodovati více než emetrop.

Následky této úvahy jsou na snadě: Ve stáří, kdy emetrop svojí akomodační šíří na práce v blízkou ještě stačí, hypermetrop již nevidí s brýlemi na dálku ničeho (bez brýlí ovšem mnohem dříve), neboť musí na 25 cm mnohem více akomodovati. Hypermetropové budou nositi brýle na blízko dříve než emetrop a mnohem dříve než myop.

Oko afakické.

Při šedém zákalu, kde se čočka stává neprůhlednou, jest nutno čočku z oka zcela odstraniti. Oko může pak aspoň přibližně poze-

znati obrysy předmětů a vyzbrojeno jsou příslušným sklem, vidí zcela ostře; obrazy jsou však příliš velké — čímž jest omezeno zorné pole — a jest mu pochopitelně vzata možnost akomodace. Jediným dioptrickým systémem oka jest pak pouze rohovka s mokem vodnatým, který vytvoří ostrý obraz asi 6,6 mm za sítnicí. (Předpokládáme normální oko před operací.) Oku s odstraněnou čočkou říkáme *afakické*. Afakické oko jest silně hypermetropické a budeme jej jako takové také korigovati. Jeho »daleký bod«, jak bychom se vzorečkem $B = A + D$ přesvědčili, leží 85 mm za vrcholem rohovky, takže refrakce oka jest 11,75 dptr. Korekční sklo, vzdálené od oka 12 mm, musí míti ohniskovou vzdálenost $85 + 12 = 97$ mm, čili 10,3 dptr.

Bylo-li oko před operací myopické nebo hypermetropické, pak se ovšem hodnota 10,3 dptr. změní o oční refrakci.

Obraz v korigovaném afakickém oku bude značně větší, neboť ohnisková vzdálenost vyjmutím čočky vzrostla. Jak jest již vylouženo, jest tím omezeno zorné pole. Zvětšením průměru skla mnoho nezískáme, jelikož zobrazovací vady obyčejných čoček binokonvexních nebo meniskových jsou při tak krátké ohniskové vzdálenosti na okraji čočky příliš značné. Proto se užívá skel asférických. Jest možno ovšem velikost obrazu zmenšiti oddálením skla od oka, při čemž současně se trochu sníží optická mohutnost skla, avšak jsme omezeni jak důvody estetickými, tak i značnou vahou skla, které, jsouc oddáleno od očí, nositele více obtěžuje.

Pro pozorování na menší vzdálenost musíme nahraditi scházející akomodaci. Pro čtení zvolíme sklo o 4 dptr. silnější, tedy 14,3 dptr. Katrální skla, která jsou určena pro čtení, mají jiná zakřivení, než katrální skla na dálku, neboť při tak značné mohutnosti dlužno již uvažovati při výpočtu skla vzdálenost předmětu. Protože cena asférických skel je příliš značná, jsou na trhu skla s plochami kulovými, ploše asférické co nejpodobnější, t. zv. skla nejprůzračnějšího tvaru.

Okno starozraké či presbyopické.

V kapitole o akomodaci jest uveden obraz, znázorňující úbytek akomodační šíře se vzrůstajícím stářím. Kol 45. roku nemůže oko akomodovati do té míry, aby vidělo předměty v normální dálce čtení ostře.

Použijeme brýlového skla, jehož úkolem bude zobraziti 250 mm vzdálené předměty do blízkého bodu P , abychom scházející akomodaci nahradili. Budiž uveden příklad: Padesátiletá osoba má akomodační šíři 2,5 dptr. a její blízký bod je vzdálen 40 cm od

oka. Jaké bude korekční sklo za předpokladu emetropického oka a vzdálenosti čtení 25 cm? Úkolem skla bude zobraziti předmět vzdálený 0,25 m do blízkého bodu P , který jest 0,40 m daleko.

Dosadíme do vzorce $B = A + D$ za $B \frac{1}{0,4}$, za $A \frac{1}{0,25}$:

$$-\frac{1}{0,4} = -\frac{1}{0,25} + D.$$

$$D = 4 - 2,5 = +1,5 \text{ dptr.}$$

Sklo bude míti mohutnost $D = 1,5$ dptr. Přesně měla býti ve výpočtu uvažována hodnota 0,388 místo 0,4 m, protože sklo jest o vzdálenost od oka blíže k předmětu i k obrazu, což však můžeme v tomto případě zanedbat. Oko se sklem 1,5 dptr. uvidí čtení zcela ostře, musí však vynaložiti veškerou svoji akomodaci. Uvolňováním akomodace může zaostřiti oko na dálky jiné. Nejvzdálenější bod, který oním sklem 1,5 dptr. bude ještě ostře viděti, leží v jeho ohniskové vzdálenosti — v tomto případě 666 mm daleko. Počínaje touto vzdáleností, až do nekonečna bude vše neostře. Ostře viděný prostor 666 mm — 250 mm = 416 mm se se zmenšující akomodační šíří stále zmenšuje, až kol sedmdesátého roku není teoreticky žádný. Oko vidí pak vždy ostře jen do jedné určité dálky, již se ohnisková vzdálenost korekčního skla právě rovná. V sedmdesáti letech měly by býti brýle presbyopa 4 dptr. silné, budou však o 1 dptr. silnější, neboť nutno korigovati vyvinuvší se senilní hypermetropii. Zjistíme to na obraze 305., kde od čáry IV, značící vzdálenost 250 mm jest v sedmdesáti letech (na svislé ose obrazu) pět dílků až k čáře III, znázorňujících polohu blízkého bodu.

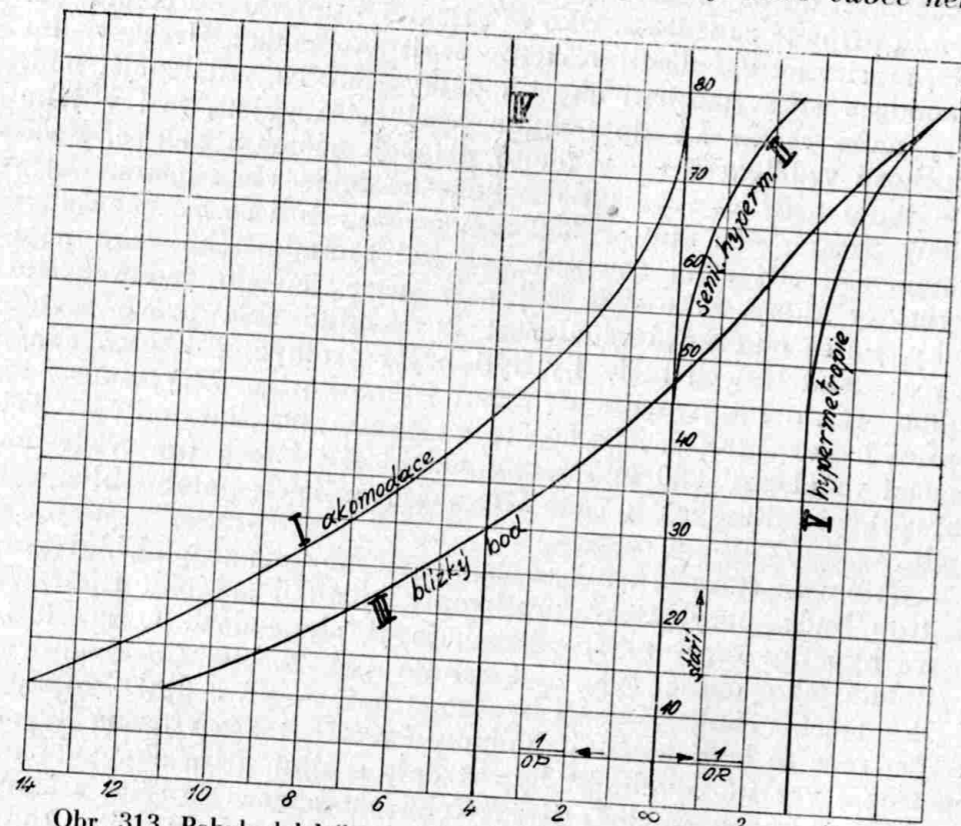
Ovšem že starozrakými se stanou i osoby ametropické. Hypermetrop bude prvý, který presbyopii zjistí. Předpokládejme, že o své hypermetropii neví, přemáhaje ji akomodací. Obraz 313., podobně jako obraz 305., znázorňuje pohyb blízkého bodu ve funkci stáří. Příímka V značí hypermetropii na př. 3 dptr. Po padesátém roce se k ní přičítají hodnoty čáry II, takže vrozená hypermetropie vzrůstá o velikost hypertropie senilní. Čára akomodace I probíhá ovšem normálně; jí vytyčená akomodace se sčítá s čarou hypermetropie ve výslednici III, vyznačující pohyb blízkého bodu. Vzdálenosti bodů čáry III od svislé osy znázorňují akomodační šíři. Příímka IV ve vzdálenosti 4 dptr. od počátku jest opět maximální hranicí vzdálenosti blízkého bodu od oka.

Z obrazu jest patrné, že kol třicátého roku jest akomodační šíře právě 4 dptr, neboť bod P jest vzdálen 25 cm. Hypermetrop přestává viděti na blízko a když dosud nebyl na svou hypermetropii upozorněn různými obtížemi, pak dá si vyzkoušeti oči a dostane brýle na dálku, se kterými bude čísti. Kol padesátého roku pře-

kročí křivka III svislou osu a hypermetrop přestává bez brýlí vidět i na dálku.

V kapitole o hypermetropii jsme pravili, že hypermetrop akomoduje brýlemi více, než emetrop. V našem případě jest potřebná akomodace na 25 cm asi 4,3 dptr., místo 4 dptr. To tedy znamená, že obtíže při čtení objeví se ještě dříve než ve 30 letech. Musíme totiž přímkou IV posunouti v levo, v našem případě o 0,3 dptr. Hypermetrop, i když nosí brýle na dálku, bude brýlí na čtení potřebovat dříve než myop.

Myop má obtíže při čtení mnohem později nebo vůbec nemá.



Obr. 313. Pohyb dalekého a blízkého bodu hypermetropického oka v závislosti na stáří.

Myopické oko nepostřehne tak brzy úbytek akomodace a většinou se v nouzi obejde bez brýlí na čtení. Na př. oko 4 dptr. myopické vidí bez brýlí i při úplné ztrátě akomodační schopnosti, protože jeho punctum remotum nalézá se právě ve vzdálenosti 25 cm od oka. Takový člověk uvidí na blízko ještě ve vysokém stáří, ovšem bez brýlí. Myop silnější než 4 dptr. uvidí vždy právě tak dobře na blízko, přiveda předmět do svého puncta remota.

Těchto zdánlivých výhod není však radno využívat, neboť umístěním předmětu v okolí dalekého bodu nastane nepřirozený stav, protože zbývající akomodační šíře leží zcela nevyužita, čímž jí rychleji ubývá, nehledě k značným obtížím, způsobeným pozorováním na blízko bez akomodace.

V kapitole o myopickém oku jsme zjistili, že toto oko potřebuje mnohem méně akomodovati, než na tutéž vzdálenost oko emetropické. Vypočítali jsme, že oko -6 dptr. krátkozraké akomoduje pouze 2,7 dptr. místo čtyř. Toto oko uvidí s brýlemi na dálku stále správně i do blízka, pokud jeho akomodace není menší než 2,7 dptr. Takový stav nastane až kolem padesátého roku, kdežto emetropické oko potřebuje brýle na blízko již po čtyřicátém roce. Myop musí být proto výzbrojen brýlemi na blízko, jakmile s brýlemi na dálku nevidí na 25 cm dobře.

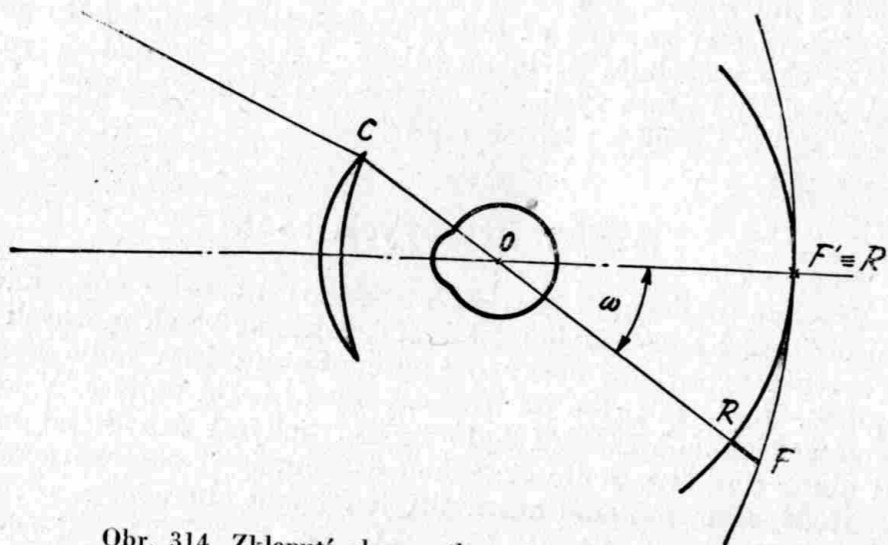
Druhy brýlových skel.

Výrobně nejlevnější jest sklo bikonvexní nebo bikonkávní. Jeho obě plochy jsou stejně zakřivené, takže ze všech možných zakřivení při prohýbání čočky o téže ohnisku jsou radia bi-skla nejplošší. Vejde se proto na brusnou mísu bi-skla nejvíce. V kapitole o vadách zobrazování bylo řečeno jakými úchyly může být obraz postižen. Jedinou tenkou čočkou, jejíž ohnisková délka jest předepsána, můžeme odstraniti jen jednu aberaci.

Jest nyní rozhodnouti, která aberace bude oku nejvíce na obtíž. Vada sférická a chromatismy nebudou většinou vůbec vnímány, protože s výjimkou silných konkavních skel a skel pro oči afakické jest užitý relativní otvor tak malý, že rozptylové kruhy, způsobené zmíněnými aberacemi, jsou vždy menší než zrakový element; případně zhoršení obrazu, způsobené jinými vadami zobrazovacími, jest dominující.

Zklenutí obrazového pole musíme posuzovati jinak než u fotoobjektivu. Jest podmínkou, aby ohnisko skla stále splývalo s punctem remotem. Při pohybu oka pohybuje se tento bod na kouli, jejímž středem jest střed otáčení oka. Plocha, na níž jest sklem tvořen obraz, by měla mít totéž zakřivení. Bude-li toto plošší, pak ať jest oko myopické nebo hypermetropické, bude sklo působiti vždy při šikmém průhledu jako sklo slabší. Obr. 314. nás o tom přesvědčí. Čočka C plně koriguje hypermetropické oko, neboť její ohnisko F' splývá s dalekým bodem R . Obraz tvořený spojkou, leží na rotační ploše méně zakřivené, kdežto bod R opisuje při pohybu oka plochu, jejímž středem je střed oka, takže při pohybu oka o nějaký úhel ω leží bod F dále než R . Sklo je tedy v šikmém

průhledu slabší o délku RF , protože ohnisková vzdálenost bude o délku, na obr. 314. silněji značenou, delší. Zklenutí pole jest však u jednoduché čočky neřiditelné jejím prohýbáním, jsouc závislé jen na jejím indexu lomu a ohniskové vzdálenosti (Petzval). Není tedy, nechceme-li užiti asférických ploch, zklenutí obrazu v naší moci. Na štěstí nepřestoupí oslabení dioptrického účinku skla při zcela šikmém průhledu přes 0,5 dptr., takže můžeme předpokládati, že nejsou tímto úkazem způsobeny nějaké značné poruchy.

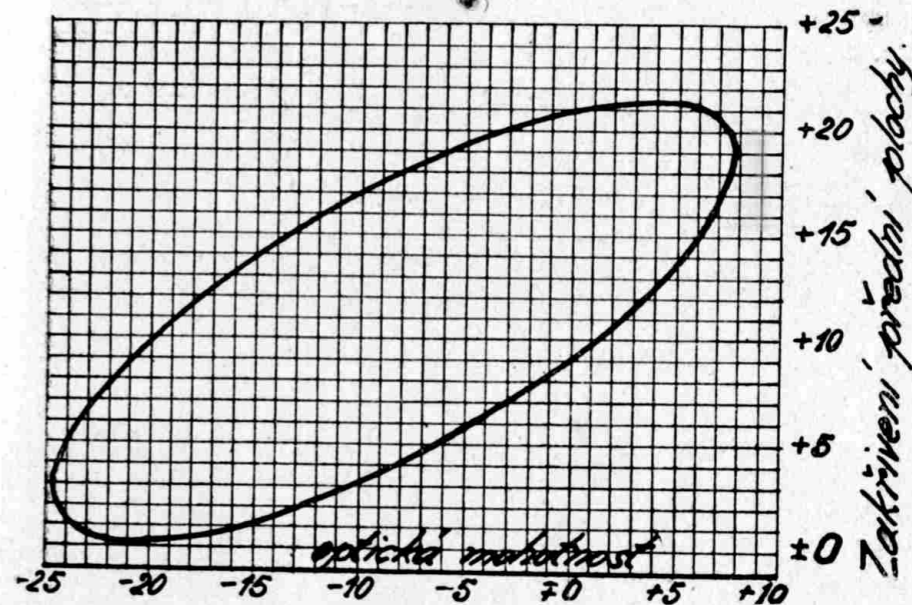


Obr. 314. Zklenutí obrazového pole brýlového skla.

I zkreslení (distorse) často překvapí pacienta, který po prvé si opatří brýle. Snadno se přesvědčíme, podržíme-li před svým emetropickým nebo vykorigovaným okem nějaké konkavní sklo, že rovné čáry jsou zprohýbány směrem ku středu, takže čtverec se bude jevit jako soudkovitý tvar. Jak jsme již dokázali, zdají se při přímém průhledu sklem krátkozrakému oku předměty vždy menší. Můžeme tento fakt nyní doplniti. Čím šikměji se sklem podívá, tím se mu ještě dále zmenší a budou se zdáti blíže u optické osy. Naopak hypermetrop, čím šikměji se podívá, tím větší se mu předmět zdá a linie rovné jsou zprohýbány od optické osy. Tyto zjevy ruší však jen u silnějších skel a po čase si většina na ně zvykne a automaticky vyrovnává. Skla, která by distorsi mohla korigovati, byla by tak prohnutá, že by zisk na kvalitě obrazu tím dosažený nebyl vyvážen.

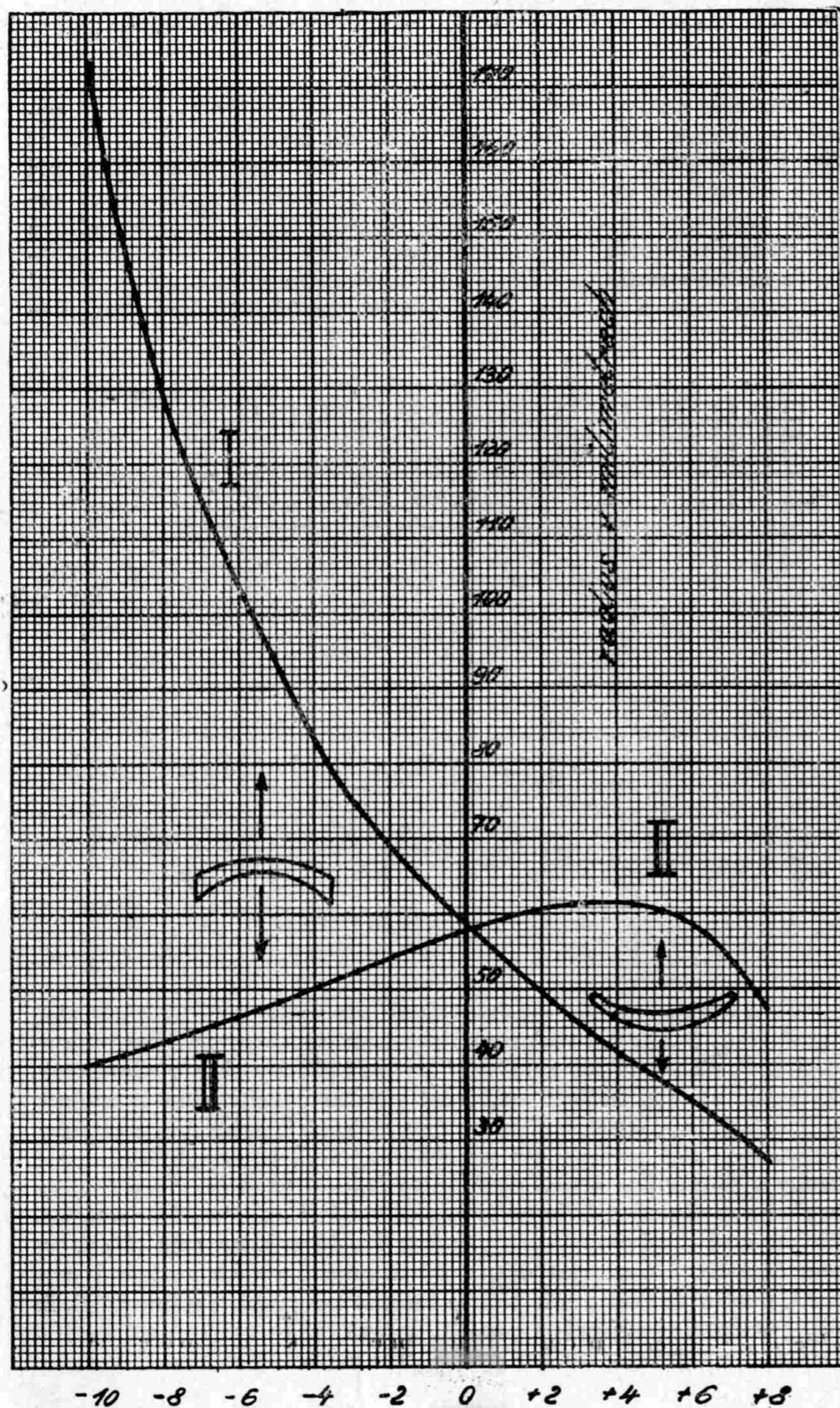
Nejrušivěji působí u brýlových skel astigmatismus: jeho příčiny a efekt jsou dostatečně vylíčeny v kapitole o vadách zobrazovacích

a v odstavci o astigmatických sklech. Úhel, ve kterém by sklo nemělo vykazovat astigmatické difference, jest dosti značný, asi 30° až 35°. Prohýbáním skla můžeme učiniti sklo anastigmatickým, při čemž sekundární zbylý astigmatismus jest zanedbatelný, neboť nezbyvá astigmatická difference větší jak 0,25 dptr. Taková brýlová skla nenazýváme však po způsobu fotooptiky anastigmaty, již proto ne, že přísně anastigmatickými nejsou. Protože zobrazí pro náš účel bod jako bod a nikoliv jako dvojici úseček, říkáme jim *skla punktuální*.



Obr. 315. Tscherningova elipsa.

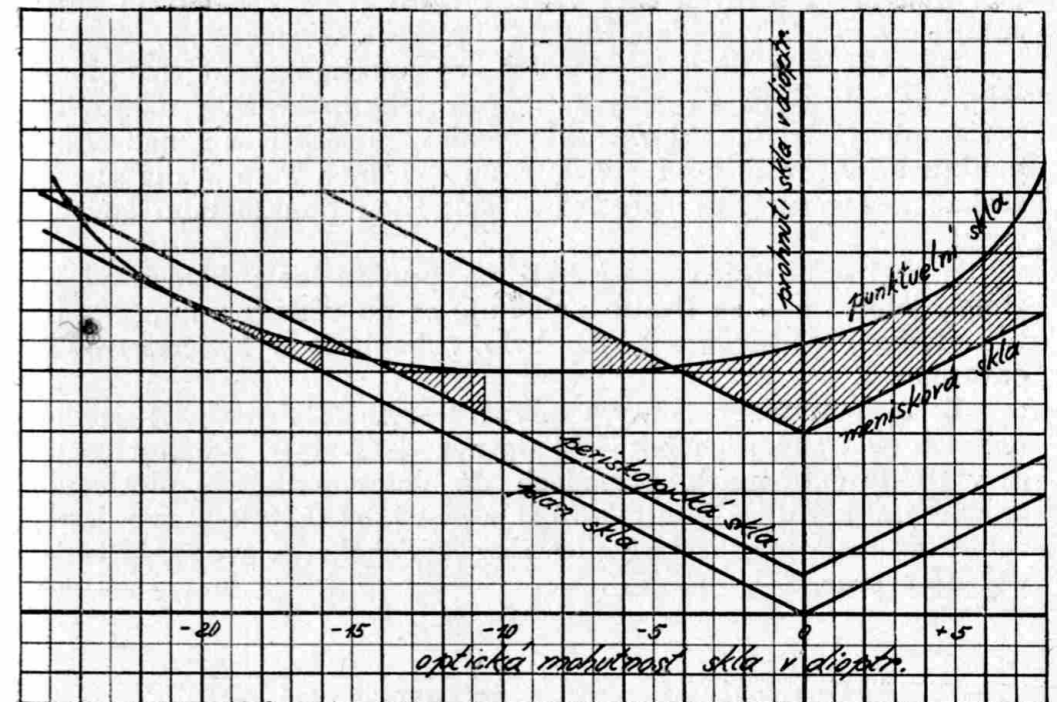
Tscherning sestavil možná řešení prohnutí punktuálních skel v graf (obr. 315.). Na vodorovné ose jsou naneseny optické mohutnosti skel, na svislé ose zakřivení vstupní plochy skla v dioptriích. Chceme-li na př. nalézt zakřivení přední plochy skla o mohutnosti +5 dptr., jdeme vzhůru po čáře +5, až k průsečíku s elipsou. Vodorovná čára průsečíkem procházející udá nám zakřivení první plochy v dioptriích. Pro 5 dptr. je to asi +13,5 dptr. Z Tscherningovy elipsy ihned zjistíme, že úloha nalézt zakřivení anastigmatických skel dává dva kořeny, neboť každá svislice seče elipsu ve dvou bodech. Horní část elipsy dává značně veliká výsledná prohnutí, pročež se skel podle těchto hodnot nevyrábí. Vidíme také, že nad +8 dptr. není možno pomocí jedině čočky tvořené sférickými plochami astigmatismus brýlového skla odstraniti.



Obr. 316. Poloměry křivosti punktuálních skel.

Pro praktickou potřebu lépe vyhoví graf na obr. 316., kde jest optická mohutnost opět zanešena na vodorovné ose, kdežto na ose svislé přímo vyčteme zakřivení v milimetrech pro prvou i druhou plochu skla, platná pro brýlový kron $n_D = 1,52$. Čára *I* vztahuje se na plochu přední, čára *II* na plochu přivrácenou oku. Chceme-li na př. naléztí radiá skla punktuálního -10 dptr., najdeme na vodorovné ose -10 a jdeme svisle vzhůru až průsečíku s čarou *II*. Tento promítáme pak vodorovně na svislou osu, kde nalezneme radius druhé plochy 40 mm. Na průsečíku svislice příslušné deseti dioptriím s čarou *I* zjistíme zakřivení plochy prvé 173 mm.

Výrobky jednotlivých továren však většinou těmto výpočtům neodpovídají, neboť by skla byla příliš drahá. Obvyčejně zjistíme, že jeden radius skla jest vždy pro několik blízkých stupňů týž a sklo spíše plošší. Malé zploštění skla jeho punktuálnost mnoho neporuší, avšak výrobu značně zlevní.



Obr. 317. Prohnutí různých druhů brýlových skel a možnosti nahrazení punktuálních skel jinými.

Levnější komerční skla jsou t. zv. *skla menisková*. Jsou usančně vyráběna tak, že u konkavních jest přední radius $+6$ diptr., u konvexních měří 6 dptr. radius přivrácený k oku. Řidšeji nalezneme *skla periskopická*, prohnutá podobně, avšak standartně na 1,25

dptr. Zcela levná brýlová skla jsou pak stejnostranná, málokdy plankonkavní nebo plankonvexní, ačkoliv tato jsou pro oko příznivější. Nazvemež prohnutí skla aritmetický střed součtu dioptrických hodnot obou poloměrů křivosti. Na př. sklo meniskové +5 dptr. má prohnutí $\frac{6+11}{2} = 8,5$ dptr. Prohnutí všech skel bi bude

nula, prohnutí skel plan bude rovno jejich optické mohutnosti dělené dvěma. Obr. 317. jest grafem znázorňujícím prohnutí pro různá skla a optické mohutnosti. Každá čára jest označena druhem skla, kterému přináleží. Vidíme, že některá skla levná mají totéž prohnutí jako drahá skla punktuální. Plankonkavní sklo -21 dptr. a punktuální sklo -21 dptr. jsou vlastně shodná. Právě tak periskopické sklo -14 dptr. a meniskové sklo -4,5 dptr. jsou punktuální. Prakticky bude ovšem každé sklo punktuální, když paprsek jím v úhlu 30-35° procházející nebude stížen větším astigmatismem (astigmatickou diferencí) než 0,2 dptr. Tolerujeme-li toto, pak můžeme z levných skel vybrati taková, která přibližně jsou anastigmatická, jak jest na obr. 317. čárkovaně naznačeno.

Od -21 dptr. do -16 dptr. blíží se punktuálním nejvíce plankla. Od -16 dptr. do 10,5 dptr. lze punktuální skla nahraditi periskopickými. Menisková skla mohou s úspěchem nahraditi punktuální v prostoru od -7 dptr. do +7 dptr. Tato úvaha samozřejmě neznamena, že náhražková skla jsou punktuálním rovnocenná.

U skel konvexních musí býti na punktuálnost kladen větší zřetel, jelikož oko za těmito pohybuje se do větších úhlů, chce-li též předmět přehlédnouti, jak bylo v kapitole o hypermetropii odvozeno.

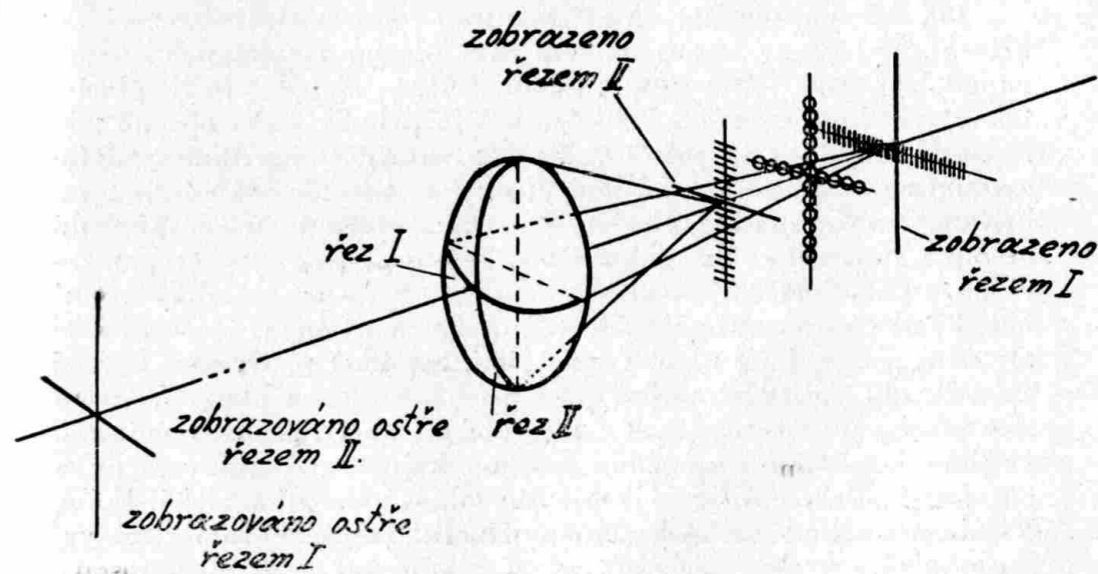
Z Tscheringovy elipsy vyplývá teoretická nemožnost punktuálních skel silnějších jak -25 dptr. a +7,5 dptr. Punktuálnosti se v těchto extrémních případech dá dosáhnouti jen plochami asferickými a jelikož jsou taková skla příliš drahá, tolerujeme dosti veliký astigmatismus, používajíce skla sférického, t. zv. »nejpříznivějšího tvaru«.

Astigmatické oko a astigmatické sklo.

Právě tak jako optický systém oka jeví úchyly ve stavbě co do délky, zakřivení nebo indexu lomu, může se odchýlovati od ideálního stavu co do symetrie vzhledem ke své optické ose. To značí, že buď plochy jej tvořící nejsou plochami rotačními anebo, že optická osa některé plochy nespývá s optickou osou ploch ostatních. Nejčastější příčinou astigmatismu jest deformace rohovky,

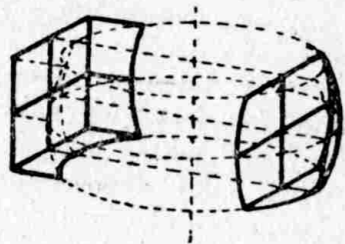
mnohdy odůvoditelná tlakem očních víček. Můžeme pak naléztí dvě k sobě kolmá zakřivení, jedno největší a jedno nejmenší, jímž přísluší určité maximální a minimální ohniskové vzdálenosti. Téhož stavu dosáhneme ovšem excentricitou některé plochy. Roviny obsahující tato extrémní zakřivení, nazýváme *hlavními řezy*. Mezi oběma hlavními řezy můžeme položití množství jiných rovin, t. zv. *meridianů*, kterým přísluší určité zakřivení závislé na úhlu, který meridian svírá s hlavními řezy.

Předpokládejme nejprve, že oko jest jinak zcela normální a že neakomoduje a nalezneme, co lze takovým asymetrickým systémem zobraziti. Vodorovně položíme hlavní řez nejmenšího zakřivení, takže největší zakřivení (druhý hlavní řez) leží pak svisle. Touto plochou zobrazme velmi vzdálený bod. Proložme rovnoběžně s vodorovným hlavním řezem několik rovin. Protnou nám optickou plochu v zakřiveních, která se od zakřivení hlavního řezu málo liší. Paprsky obsažené v každé rovině vytvoří vždy jeden obraz vzdáleného bodu, takže všechny roviny rovnoběžné s vodorovným meridianem zobrazí vzdálený bod jako úsečku. Tutéž úvahu můžeme provéstí pro druhý hlavní řez. Vzdálenost od optické plochy bude ovšem menší, jelikož tento řez jest více zakřiven. Svislý hlavní řez zobrazí tedy též vzdálený bod taktéž jako úsečku. Bod nebude jako takový zobrazen, nýbrž jako dvojice úseček. Zobrazení takové slove astigmatické, plocha optická jest astigmatická a celý úkaz astigmatismus, jak byl již v kapitole o čočkách cylindrických a o vadách zobrazovacích probrán. Velikost astigmatismu, t. j. rozdíl zakřivení obou hlavních řezů, jest representována

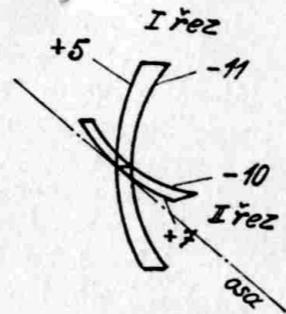


Obr. 318. Zobrazení kříže nesymetrickou plochou.

rozdílem optických mohutností příslušných oběma úsečkám. Říkáme jí *astigmatická diference*. Místo bodu můžeme zobraziti kříž s rameny rovnoběžnými s hlavními řezy. Vodorovný hlavní řez zobrazí každý bod kříže jako svislou úsečku. Tyto úsečky budou se u svislého ramene překrývat, takže zdánlivě toto bude zobrazeno v ohniskové vzdálenosti vodorovného řezu ostře. Vodorovné rameno kříže bude vodorovným řezem zobrazeno neostře. Svislý hlavní řez se zachová ovšem opačně. Jím bude zobrazitelné pouze vodorovné rameno. Kdybychom zaostřili někde mezi oběma ostrými obrazy, dostali bychom obě ramena stejně neostrá, protože body obou ramen kříže by byly promítnuty jako stejně veliké rozptylové kruhy (obr. 318.). Je důležité si pamatovati: Hlavní řez astigmatické plochy zobrazí ostře vždy čáru k němu kolmou.



Obr. 319. Torická plocha.



Obr. 320. Hlavní řezy bitorického skla.

Jak řečeno, zjistíme na astigmatické rohovce dvě extrémní zakřivení. Bylo-li by naším úkolem tuto plochu matematicky nějak napodobiti, pak jistě jest mnoho řešení. Nejjednodušší plocha taková vznikne otáčením kružnice kolem přímky ležící obecně tak, že neobsahuje střed kružnice. Radius kružnice jest pak jedním extrémním zakřivením výsledné plochy a poloměr otáčení jest zakřivením druhé. Vzniklá plocha má tvar prsténce nebo spíše do oblouku stočeného válce (obr. 319.). Z této plochy můžeme pak rovinou s osou otáčení rovnoběžnou utnouti útvar, podobný svými optickými vlastnostmi rohovce stížené astigmatismem. Ploše říkáme *toroid* a čočku, jejíž plocha jest částí toroidu, nazýváme *torické sklo*. Rozdíl optických mohutností příslušný oběma hlavním řezům této plochy represntuje opět astigmatickou diferenci torického skla. Druhou jeho stranu opatříme plochou kulovou, již můžeme položit astigmatickou diferenci do libovolné výše dioptrické škály. Všeobecně nebudeme však zakřivení voliti zcela libovolně, což vysvitne z této úvahy:

Jest zjistiti, za jakých okolností astigmatické sklo bude punk-

tuelním, to značí, že pro každý sklon procházejících paprsků bude míti stejnou astigmatickou diferenci i stejné optické mohutnosti. Z Tscheringovy elipsy vyplývá, že pro určitou optickou mohutnost má sklo vždy určité prohnutí. Uvedme příklad číselný: punktuální astigmatické sklo má míti hodnoty hlavních řezů -6 dptr. a -3 dptr. Sklo -6 dptr. má první plochu zakřivenou podle Tscheringa na $+5$ dptr. a tedy zadní na 11 dptr. (viz obr. 315.). Sklo -3 dptr. má první plochu $+7$ dptr., takže zadní jest -10 dptr. My máme sklo, kde účinky -6 dptr. i -3 dptr. jsou sjednoceny v jeden. Podle toho budou obě strany skla torické (obr. 320.), a sice:

I řez	II řez	
$+ 5$ dptr.	$+ 7$ dptr.	... přední plocha torická
-11 dptr.	-10 dptr.	... zadní plocha torická
$- 6$ dptr.	$- 3$ dptr.	... výsledný účinek.

Z příkladu plyne, že k dosažení punktuálnosti musí býti nutně vždy obě plochy torické. Takové sklo by však bylo značně drahé. Proto jest od přísného anastigmatismu torických skel upuštěno a vyráběna skla nejvhodnějšího prohnutí, u nichž vzniklý nechtěný astigmatismus nepřestoupí $0,25$ dptr. Prohnutí obou hlavních řezů volíme totiž tak, aby jedna plocha (vnitřní) mohla býti sférická, při čemž oba řezy se od přísné punktuálnosti nepatrně odchyľují. Pro náš případ bychom třeba vybrousili:

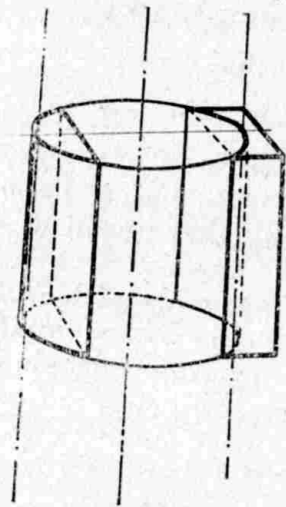
	I řez	II řez
I. plocha . . .	$+ 4,75$ dptr.	$+ 7,75$ dptr.
II. plocha . . .	$-10,75$ dptr.	$-10,75$ dptr.
	$- 6$ dptr.	$- 6$ dptr.

Samozřejmě vypočítává pečlivý výrobce zakřivení bez ohledu na snížení výrobních nákladů. Levná torická skla budou pak spíše obdobná sklům meniskovým. Mají často jeden radius toroidu asi 87 mm dlouhý, což odpovídá 6 dptr.

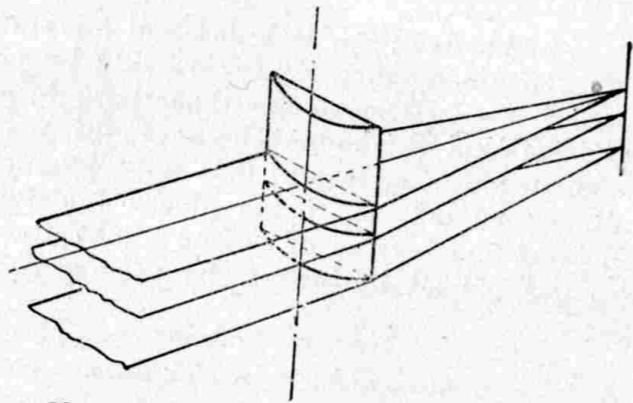
Nejjednodušší plocha zobrazující astigmaticky, jest plocha válcová. Je to vlastně toroid, u něhož poloměr otáčející se kružnice jest nekonečně veliký, takže jedno zakřivení plochy jest nulové, neboť, jak řečeno, střed křivosti jest v nekonečnu. Jak takové *cyldrické* (válec = cylindr) sklo vypadá a vzniká, jest označeno na obr. 321. Povrchovou přímku válce, tedy přímku rovnoběžnou s jeho osou, označujeme jako osu cylindrického skla. Tam sferometr ukáže výchylku nulovou. Druhou plochu skla můžeme buď nechat plan (plancylindr) nebo nabrousiti plochu kulovou. Vytvoření obrazu plancylindrickým sklem bude obdobné jako u plo-

chy torické. Mysleme si opět paprsky ležící v několika rovinách kolmých k ose. Paprsky z každé roviny budou vždy soustředěny do jednoho bodu, takže soubor všech těchto bodů bude přímkou, která bude tedy obrazem bodu nekonečně vzdáleného (obr. 322.). Právě tak vytvoří obraz sklo plankonkavní. (Viz kapitolu o cylindrických sklech.) Vzniklý obraz je však zdánlivý.

V praxi se vžil označování brýlových skel podle počtu dioptrií odpovídajících zakřivení každé plochy a nikoliv podle účinků skla v hlavních meridiánech. Jest to pravděpodobně následek dřívějšího měření skel sferometrem. Těchže optických mohutností hlavních řezů astigmatické čočky lze dosáhnouti různým způsobem. Přesvědčme se o tom úvahou, učiněnou již u skel torických.



Obr. 321.
Vznik cylindrického skla.



Obr. 322. Zobrazování cylindrickým sklem.

Příklad 1.: Sklo sph + 5 dptr. c cyl + 2 dptr. (obraz 323.) má v hlavních řezech tyto mohutnosti:

	I. řez	II. řez
I. plocha . . .	+ 5 dptr.	+ 5 dptr.
II. plocha . . .	0 dptr.	+ 2 dptr.
	<hr/>	<hr/>
	+ 5 dptr.	+ 7 dptr.

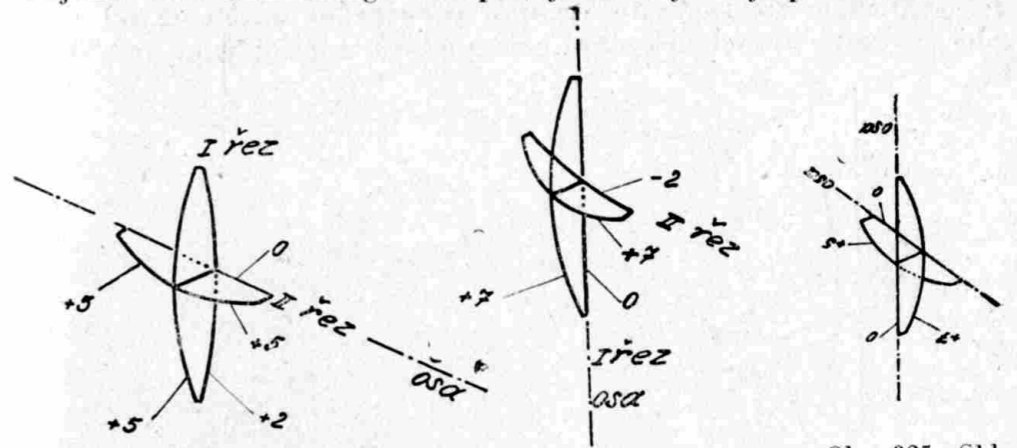
Účinku pět a sedm dioptrií je možno dosáhnouti též těmito plochami:

	I. řez	II. řez
I. plocha . . .	+ 7 dptr.	+ 7 dptr.
II. plocha . . .	- 2 dptr.	+ 0 dptr.
	<hr/>	<hr/>
	+ 5 dptr.	+ 7 dptr.

Sklo sph + 5 dptr. c cyl + 2 dptr. může být nahrazeno sklem cyl - 2 sph + 7 dptr. c cyl - 2 dptr., ovšem osa tohoto skla bude kolma k ose skla předchozího (obr. 324.). Konečně můžeme použít skla bicylindrického, s osami cylindrů k sobě kolmými:

Cyl + 5 dptr. c cyl + 7 dptr. (obr. 325.).

Z těchto možností jest nejvýhodnější kombinace druhá, neboť nejbliže leží Tscherningově elipse, jsou nejsilněji prohnutá.



Obr. 323. Sklo sph + 5 dptr. c cyl + 2 dptr.

Obr. 324. Sklo sph + 7 dptr. c cyl - 2 dptr.

Obr. 325. Sklo cyl + 5 dptr. c cyl + 7 dptr.

Příklad 2.: sph - 2 dptr. c cyl + 5 dptr. (obr. 326.).

	I. řez	II. řez
I. plocha . . .	- 2 dptr.	- 2 dptr.
II. plocha . . .	0 dptr.	+ 5 dptr.
	<hr/>	<hr/>
	- 2 dptr.	+ 3 dptr.

Tuto kombinaci nahradíme jinou, výhodnější, a sice:

	I. řez	II. řez
I. plocha . . .	+ 3 dptr.	+ 3 dptr.
II. plocha . . .	- 5 dptr.	0 dptr.
	<hr/>	<hr/>
	- 2 dptr.	+ 3 dptr.

(obr. 327.).

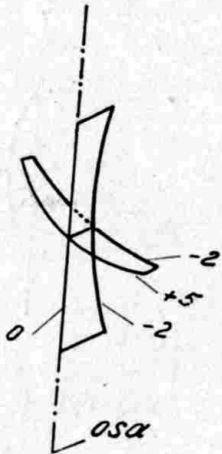
Příklad 3. Přepočítávání můžeme provádět ještě jednodušeji, napíšeme obvykle třeba:

obě čísla spolu sečteme
a napíšeme pod prvé . . . 7
Druhé číslo opíšeme, avšak s opačným znaménkem . . . - 2
takže jsme našli sph + 7 dptr. c cyl - 2 dptr.

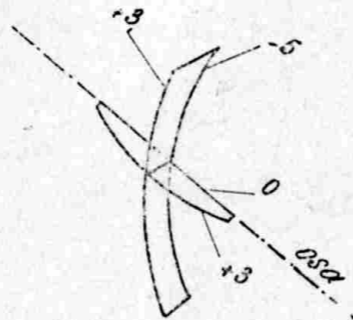
Příklad 4.:

sph — 5 dptr. c cyl — 6 dptr., podle předešlého
 sph — 11 dptr. c cyl + 6 dptr.

Příklad 5. Způsob označování cylindrem a sférou má snad oprávnění u skel cylindrických, nikoliv však u skel torických. Proto některé továrny označují skla jejich účinkem v hlavních řezech. K přepočtení na normální způsob označování odečteme od sebe obě hodnoty a výsledek napíšeme pod tu, kterou jsme odečítali.



Obr. 327. Sklo sph + 3 dptr.
 c cyl — 5 dptr.



Obr. 326. Sklo sph — 2 dptr.
 c cyl + 5 dptr.

Tím jsme zjistili cylindr. Odečítaná hodnota značí plochu sférickou. Třeba:

I. řez	II. řez
— 11 dptr. c	— 5 dptr.
sph — 5 dptr c cyl	— 6 dptr.

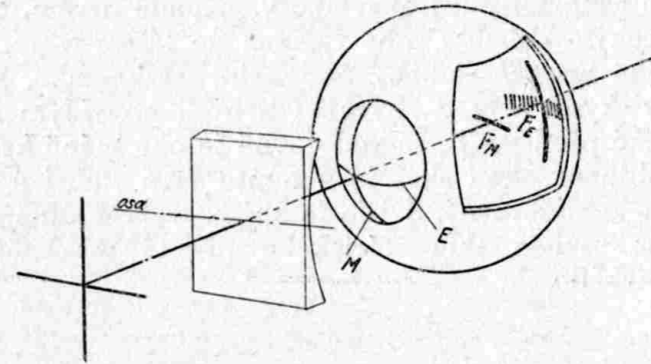
Samozřejmě lze přepočet provést jako v příkladech prvním a druhém.

Z několika možných kombinací volíme vždy onu, která jest více meniskovitá, neboť bude blíže Tscherningově elipse. Podle toho ji také vsazujeme do brýlí: vždy vypuklou stranou ven a vřadutou k oku.

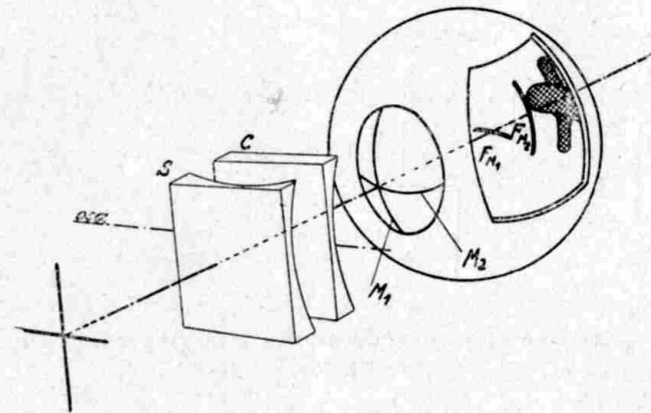
Bicylindrická skla, zvláště s osami skříženými v obecném úhlu, jsou zcela zbytečná, neboť je můžeme vždy nahraditi sféro-cylindrickými, nejrychleji tak, že zasadíme oba cylindry do zkušebních brýlí podle předpisu a kombinaci změříme fokometrem.

Prostý astigmatismus, způsobený třeba deformací rohovky, jeví se jako krátkozrakost jednoho hlavního řezu, příkladně řezu

svislého M . Vodorovně v řezu E bude oko normální. Přímkou proloženou rovnoběžně s krátkozrakým řezem uvidí oko ostře, protože tato bude zobrazena řezem E na sítnici (obr. 328.). Přímkou vodorovná, zobrazovaná řezem krátkozrakým do jeho ohniska F_M , bude viděna neostře, tak, jakoby celé oko bylo myopické. Krátkozrakému řezu přísluší jako u jiného myopického oka určitý daleký bod R a určitý blízký bod P . Do puncta remoti R musí tedy astigmatické sklo zobraziti vodorovnou přímkou, aby byla tato viděna ostře.



Obr. 328. Astigmatické oko krátkozraké ve svislém řezu a jeho korigování.

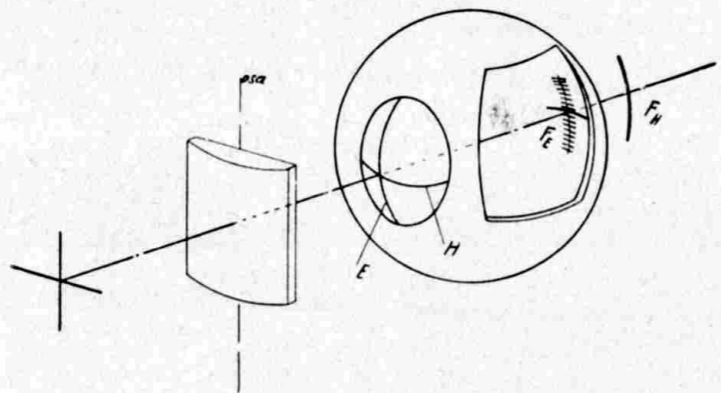


Obr. 329. Oko svíslé více a vodorovně méně myopické.

Proložíme-li si okem dvě roviny, jednu vodorovnou a jednu svíslou, pak v rovině vodorovné bude chod paprsků též jako u oka emetropického, kdežto v rovině svíslé chod paprsků bude se podobati situaci v oku krátkozrakém. Lépe si vše ujasníme takto: svíslý řez M má ohnisko F_M příliš blízko, musíme jej tedy konkavním účinkem oddáliti, kdežto vodorovný řez E necháme beze změny. Z toho

vyplývá důležitá poučka: *osa konkavního cylindrického skla, kterým oko korigujeme, bude vždy kolmo k nejostřeji viděným čarám.*

Tento jednoduchý myopický astigmatismus může se kombinovat s každým stupněm normální krátkozrakosti. Výsledkem bude, že oko uvidí v určité poloze jedno rameno vzdáleného kříže nejostřeji a rameno druhé, k němu kolmé, bude nejméně ostré. Naprosto dobře nebude však vnímáno v žádné poloze. Podle obr. 329. odstraníme nejprve astigmatismus oka jako v případě prvním, t. j. zobrazíme cylindrickým sklem C obě ramena do téže roviny, takže budou obě stejně neostrá, jakoby oko bylo krátkozraké. Potom korigujeme sférickými skly S zbývající myopii obvyklým způsobem. Můžeme si také představit, že vodorovně je oko méně krátkozraké, a proto kombinace obou skel je v tomto řezu slabší a osa cylindrického skla je vodorovná. Svisle je krátkozrakost silnější, a proto se optické mohutnosti skla sférického přičítá maximální výkon skla astigmatického.

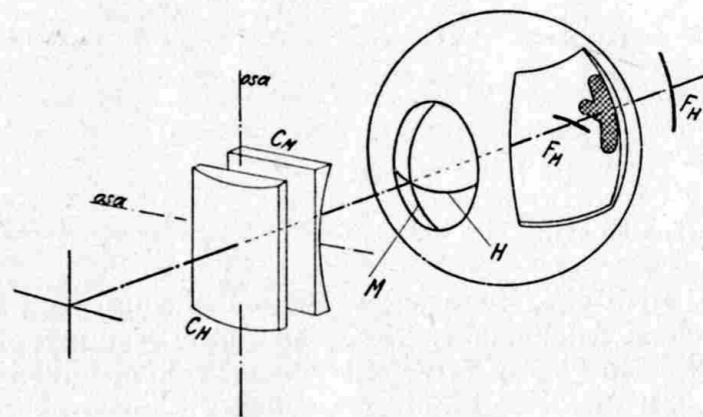


Obr. 330. Astigmatické oko ve vodorovném řezu hypermetropické a jeho korigování.

Právě tak, jako byl dosud jeden hlavní řez oka více zakřiven, může být také plošší oproti oku normálnímu. Vznikne tak jednoduchý hypermetropický astigmatismus. V jednom, třeba svislém, řezu je oko normální, emetropické E , kdežto kolmo k této poloze je hypermetropické H . Kdyby oko neakomodovalo, pak by přímka rovnoběžná s emetropickým řezem E byla zobrazena za okem a procházela by místem F_H . Naopak opět přímka rovnoběžná s řezem hypermetropickým bude zobrazena na sítnici ostře do ohniska normálně zakřiveného řezu F_E (obr. 330.). Ohnisková vzdálenost vodorovného řezu jest příliš dlouhá, ovšem za předpokladu, že oko neakomoduje. Úkolem korigujícího skla bude tedy zesílit slabý

dioptrický účinek vodorovného řezu konvexním cylindrem. To znamená, že použité astigmatické sklo bude ve směru vodorovném mít největší optickou mohutnost, takže jeho osa bude svislá.

Konečně může se stát, že jedna ohnisková rovina astigmatická je před sítnicí a druhá je za ní. Takové oko je tedy zřejmě v jednom řezu myopické a v druhém hypermetropické. Na sítnici vznikne rozptylový obrazec (obr. 331.), který bude snad lze akomodováním trochu zlepšiti (přiblížiti na sítnici bod F_H), ale vzdor tomu nebude ostře viděno. Podle předchozího mohli bychom hlavní řez myopický M korigovati konkavním plancylindrem, jehož osa by byla k řezu M kolmá; řez hypermetropický H je dioptricky příliš slabý, sesílili bychom tedy jeho optickou mohutnost předřazením skla s účinkem konvexního cylindru, jehož osa by byla v našem případě svisle. Konkavní cylindr C_M oddálí bod F_M až k sítnici, kdežto sklo C_H přiblíží bod F_H do stejné roviny s bodem F_M . Použili jsme dva cylindry jen pro snadné znázornění celého postupu. Můžeme velmi snadno bicylindrické sklo přepočítati a nahraditi sklem sferocylindrickým. Také ve skutečnosti při korigování astigmatismu postupujeme zcela jinak, jak bude ještě zeznamováno.

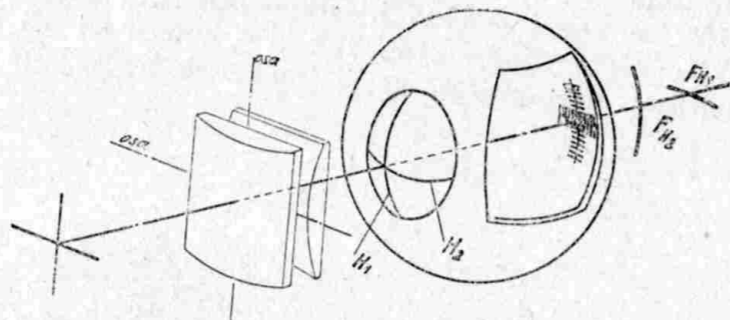


Obr. 331. Oko vodorovně hypermetropické a svisle krátkozraké. Způsob korigování.

Jednoduchý hypermetropický astigmatismus může se kombinovat s normální dalekozrakostí. Na průřezu okem bychom viděli, že obě astigmatické ohniskové roviny jsou za okem, jedna blíže a jedna dále. Akomodaací lze přivésti jednu z nich na sítnici, případně dovnitř oka, aby rozptylové kruhy na sítnici se zmenšily. Ovšem, že tím nebude dosaženo zcela ostrého vidění. Korekci můžeme provésti jako v předchozích případech dvěma plancylindry.

Jedním, jehož osa je rovnoběžna s méně dalekozrakým řezem, přivedeme na sítnici ohnisko více vzdálené od oka. Druhým konvexním planocylindrem, který bude slabší prvního, učiníme totéž s ohniskovou rovinou příslušnou slaběji hypermetropickému hlavnímu řezu. Osy obou cylindrických skel jsou k sobě kolmé. I zde znovu upozorňujeme, že ve skutečnosti jest korigování zcela jinak a že bylo dvou zkřížených cylindrů použito jenom pro lehčí vysvětlení.

Zbývá ještě otázka, jak vnímá astigmatik prostor a rozměry předmětů v něm. Ve stati o oku dalekozrakém a krátkozrakém jsme si ujasnili, že oko krátkozraké koná za brýlemi pohyby menší, perspektiva se mu zdá býti přehnanou a předměty menší. Oko dalekozraké naopak vidí vše větší, vykonává za brýlemi větší pohyby a vnímá prostor plošší. Bez brýlí však jest obraz v krátkozrakém oku větší, v dalekozrakém menší jak v oku emetropickém.

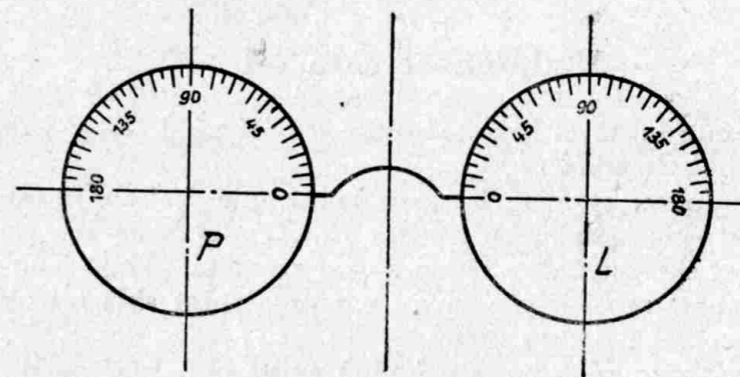


Obr. 332. Oko svisle více a vodorovně méně hypermetropické.

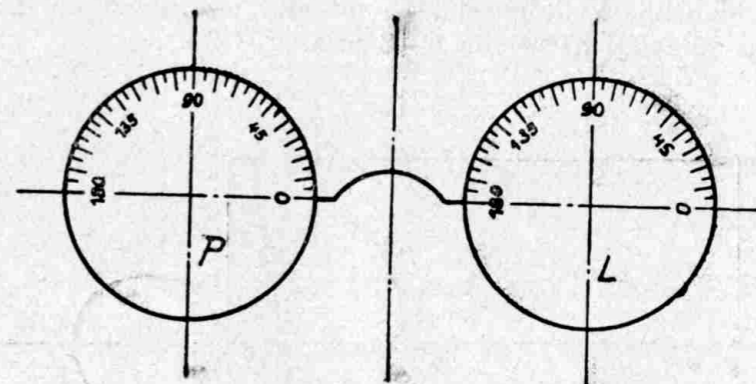
Představme si nyní oko, které jest v jednom hlavním řezu krátkozraké a v druhém dalekozraké. Obrazy příslušné řezu budou větší, kdežto obrazy vytvořené řezem druhým budou menší. Oko na obr. 331. dívá se na čtverec, vidělo by místo něj neostrý obdélník vodorovně položený. Předřazením brýlí stane se tento obrazec ostrý a velmi dobrý pozorovatel snad zjistí, že jest to opět obdélník, ale jeho delší strana leží svisle; korekcí totiž se obrazy vytvořené hypermetropickým řezem staly zdánlivě většími, obrazy vytvořené řezem krátkozrakým menšími. Podobě bychom si mohli u ostatních druhů astigmatismu oka takové zkreslení vysvětliti. Musíme je dobře rozlišiti od účinku nesprávně provedené korekce a nesmíme při případné stížnosti nositele brýlí ihned souditi, že příčinou změněného vnímání prostoru při nošení brýlí je nepřesně určené brýlové sklo. Tato úvaha jest pouze teoretická a ne každý pozorovatel ji potvrdí.

Označování osy astigmatického skla.

Polohu hlavních řezů jest nutno nějakým způsobem určit. Je na snadě, že nebudou jak bylo v dosavadních schématech znázorňováno, v poloze vodorovné a svislé, nýbrž ve zcela obecném úhlu, vždy ovšem k sobě kolmo. Existují dva systémy úhlových osnov t. zv. *Internacionální schema* a *TABO-schema*. Internacionální schema vychází z předpokladu, že většina astigmatických očí — 86% — má hlavní řezy symetricky položené vzhledem k ose proložené svisle rovinou nosu. Schema je proto tvořeno dvěma stupnicemi s počátky u nosu a stoupajícími směrem ke spánkům do 180° (obr. 333.). Jeho předností je, že v oněch osmdesátišesti případech ze sta stačí napsati pro obě oči jen jeden úhel osy na př.



Obr. 333. Internacionální schema.



Obr. 334. Tabo - schema.

P) } sph + 5,0 dptr c cyl + 1 dptr — osa 160°. Nevýhodou tohoto
L) } systému však jest, že vyžaduje na všech oftalmologických přístrojích dvě soustavy úhloměrné, proti sobě stoupající, jedna z prava a druhá z leva.

Proto již z úsporných důvodů jest dávana přednost TABO schematu. U tohoto jsou pro obě oči stupnice zcela stejné; začínají na pravém oku u nosu, na levém oku u spánku (obr. 334.). Schema si myslíme promítnuté na obličej astigmatika, takže stupnici pravého oka máme při naší levé ruce a naopak. Právě tak při zakreslování osy na sklo představíme si brýle nasazené na obličej nositele. Předchozí předpis pak zní na Tabo-schematu takto:

$$\left. \begin{array}{l} P \\ L \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{sph} + 5,0 \text{ dptr} \\ \text{cyl} + 1 \text{ dptr} \end{array} \quad \begin{array}{l} \text{osa } 160^{\circ} \\ \text{osa } 20^{\circ} \end{array}$$

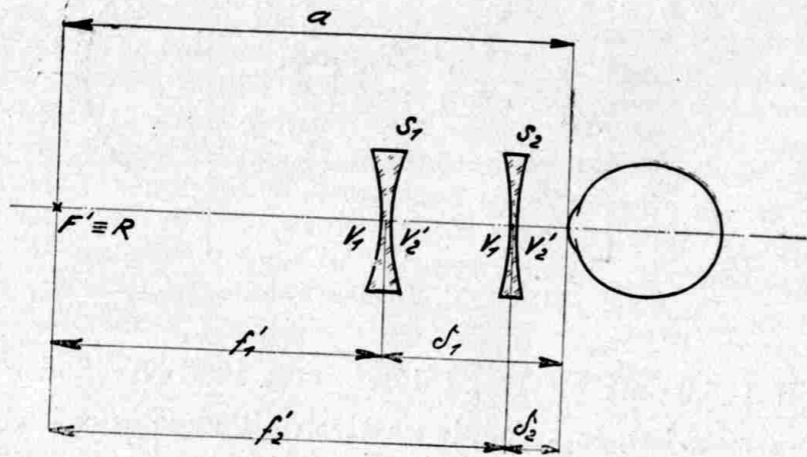
Na pravém oku se shoduje Tabo-schema se schematem internacionálním, což dlužno mít při používání přístrojů opatřených internacionální stupnicí na paměti.

Vzdálenost skla od oka.

V tomto odstavci budiž shrnuto, co již před tím v jednotlivých případech bylo zjištěno.

Podmínkou správné korekce ametropie jest totožnost ohniska brýlového skla s dalekým bodem R . Z toho jsme již usoudili, že mohutnost skla nebude shodná s oční refrakcí, neboť jeho ohnisková vzdálenost musí být u myopa o vzdálenost skla od oka menší, u hypermetropa o tuto délku delší.

U krátkozrakého bude výhodné podle obr. 335. vzdálenost skla δ pokud možno zmenšiti, neboť pak může své původně silné sklo nahraditi slabším. Vzdálenost skla od oka jest normálně 12 mm; můžeme ji zmenšiti až asi na 6–8 mm.



Obr. 335. Konkavní sklo může být slabší, je-li blíže u oka.

Z obrazu 335. platí

$$f' = a + \delta, \text{ kde pro krátkozraké oko jest } a \text{ záporné.}$$

V poloze S_1 jest příkladně sklo vzdáleno dvanáct milimetrů od oka s refrakcí $A = -8$ dptr. Pro $A = -8$ dptr. jest vzdálenost dalekého bodu R od oka $a = -125$ mm, takže

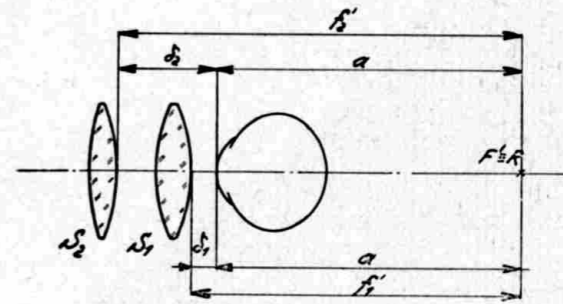
$$\begin{aligned} f'_1 &= -125 + 12 \\ f'_1 &= -113 \text{ mm, a tedy} \\ D_1 &= -9,0 \text{ dptr.} \end{aligned}$$

Sklo S_1 , vzdálené od oka osm dioptrií krátkozrakého dvanáct milimetrů, bude devět dioptrií silné. Přiblížme sklo až na sedm milimetrů k oku do polohy S_2 , takže

$$\begin{aligned} f'_2 &= -125 + 7 \\ f'_2 &= -118 \text{ mm} \\ D &= -8,5 \text{ dptr.} \end{aligned}$$

Ušetřili jsme přiblížením o pět milimetrů půl dptr.

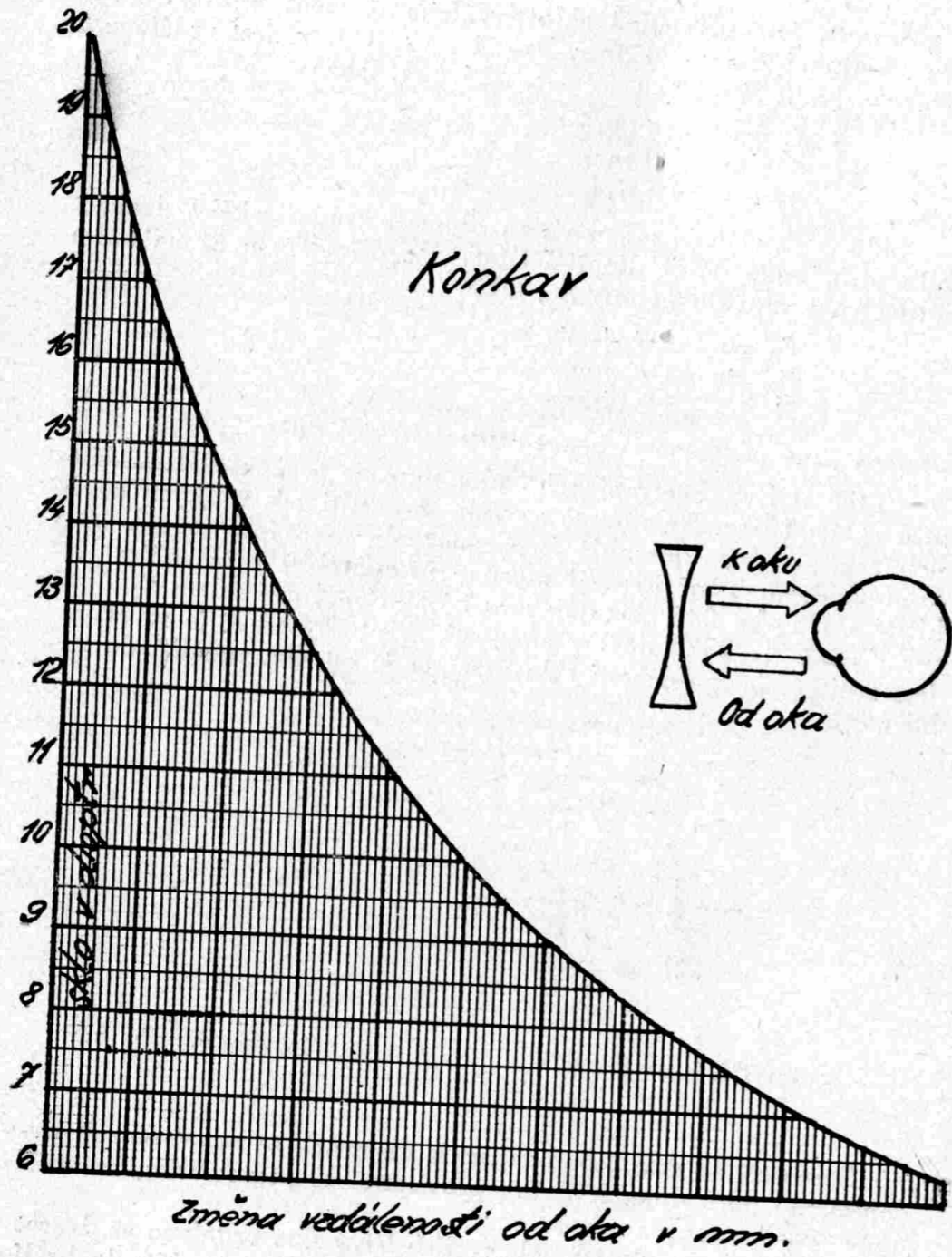
Také u hypermetropického oka musíme respektovati vzdálenost skla od oka. Nemůžeme se však dopustiti tak velikých chyb, neboť zřídka kdy dosahuje hypermetropie takových hodnot jako krátkozrakost. Tím přesněji musíme přizpůsobiti brýle očím afakickým. Na obr. 336. jest dalekozraké oko opatřené sklem S_1 . Vzorec $f' = a + \delta$ jest opět v platnosti. Protože bod R je za okem, jest zřejmé, že k oslabení skla musíme je od oka vzdáliti do polohy S_2 .



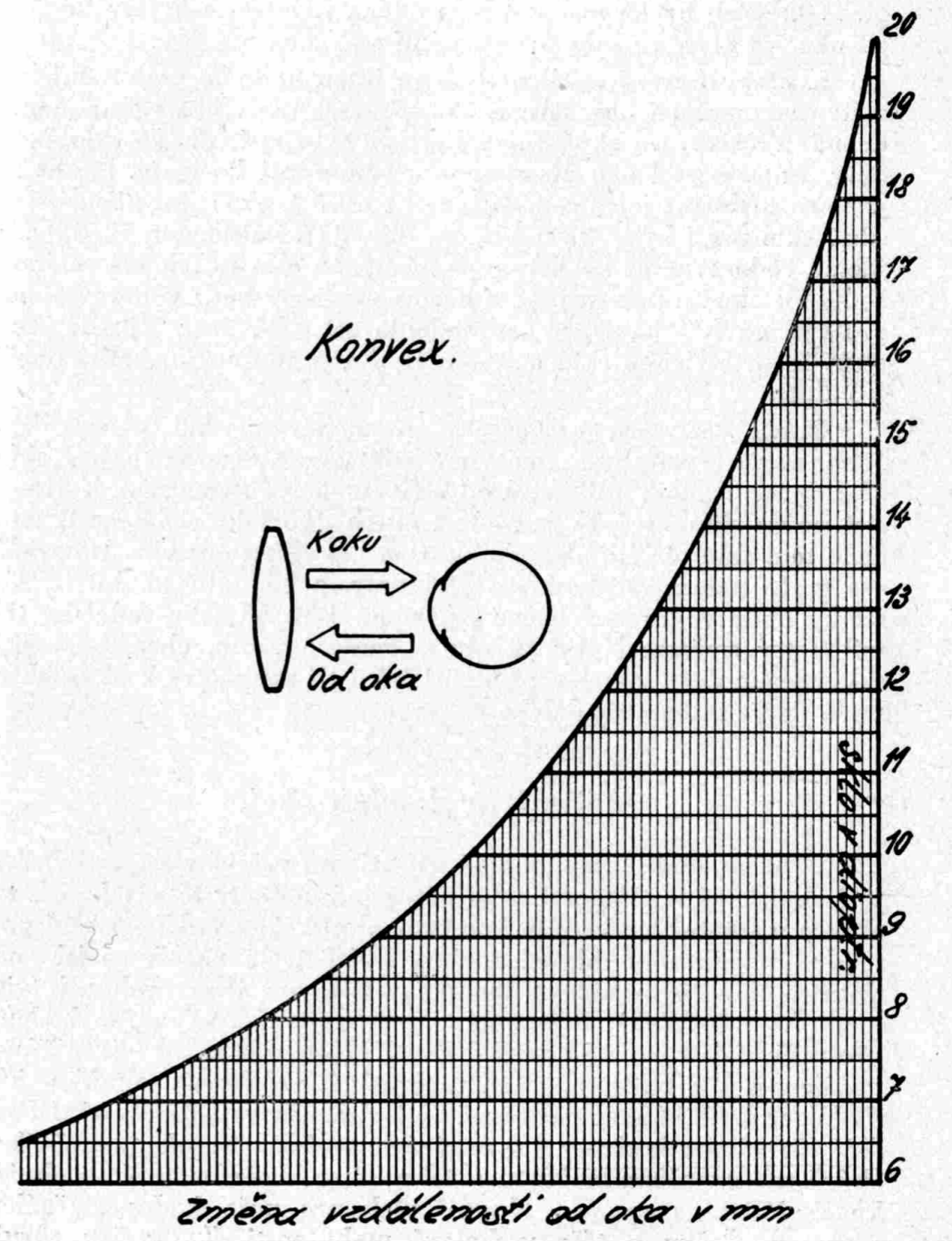
Obr. 336. Konvexní sklo může být slabší, je-li dále od oka.

Stane se, že sklo, které máme k dispozici, se nepatrně od pře-depsaného odchyluje. Můžeme provisorně si pomoci tím, že změníme vzdálenost skla od oka.

Uvažme, že ve zkušebních brýlích bývá sklo vzdáleno až dvacet milimetrů a že takto zjištěné sklo jest pak zamontováno do brýlí



Obr. 337. Graf ku přepočítávání vzdálenosti skla od oka.



Obr. 338. Graf ku přepočítávání vzdálenosti skla od oka.

dvanáct milimetrů od oka. Proto je značně důležité, aby již v předpise silnějších brýlových skel byla udána vzdálenost brýlového skla od oka, ve které se sklo při zkoušení nalézalo.

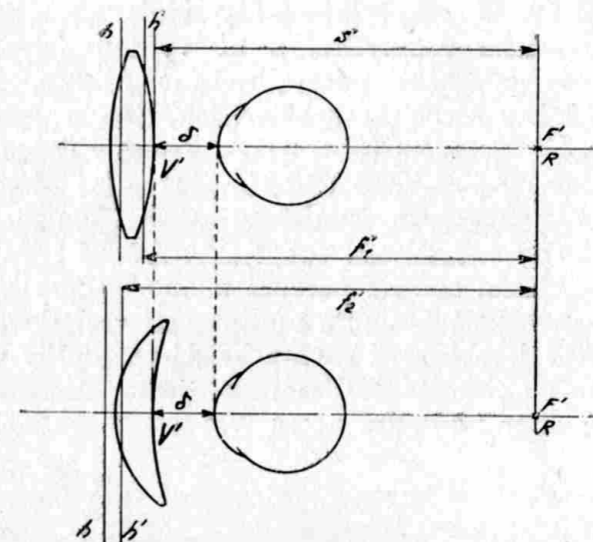
K přepočítávání vzdáleností δ na jinou hodnotu doporučujeme užití diagramů na obr. 337. a 338. Práce s nimi jest velmi jednoduchá. Příklad: ve zkušebních brýlích bylo zjištěno, že sklo -12 dptr. vzdálené od oka 16 mm, plně ametropii koriguje. Rozhodli jsme se přiblížit jej o osm milimetrů blíže k oku; jest zjistiti, jak silné sklo musí být. Na svislé ose obr. 337. nalezneme 12 dptr. a jdeme vodorovně až ke křivce. Odpočítáme osm milimetrů směrem šipky »k oku« a nalezneme na křivce příslušný bod; vodorovně naproti němu leží na svislé ose hodnota asi -11 dptr. Zjistili jsme tedy, že přiblížením skla o 8 mm k oku je možno jej voliti slabší o 1 dptr.

Obraz 338. jest určen pro přepočítávání skel konvexních. Jeho použití osvětlíme opět na příkladě: jest předepsáno sklo 13,5 dptr., dvanáct milimetrů od oka vzdálené. Máme však k dispozici pouze sklo silné 14 dptr. Jest zjistiti, do jaké vzdálenosti musíme toto sklo uložit, aby plně korigovalo ametropii oka. Na svislé ose grafu nalezneme hodnotu 13,5 dptr. a hodnotu 14 dptr. Průsečky obou vodorovných čar s křivkou jsou od sebe vzdáleny tři milimetry směrem šipky »k oku«. Musíme proto, chceme-li užití skla čtrnáct dptr. silného, přiblížit jej o tři milimetry k oku, takže bude devět milimetrů daleko.

Měření brýlových skel.

Bylo by značně nepohodlné užívat pro určení vlastností čočky její ohniskové vzdálenosti nebo převratné hodnoty této, tak, jak to činíme v ostatní optice. Měříme totiž ohniskovou vzdálenost od pomyslné nepřístupné hlavní roviny, ležící zcela různě, závisle na tloušťce skla, jeho indexu lomu a zvláště na jeho prohnutí (viz kapitolu o čočkách). Přístupným a definovaným výchozím bodem pro měření jest zajisté vrchol čočky V' (obr. 339.). Od něj měříme vzdálenost δ a budeme odtud určovati i vzdálenost ohniska F' . Vzdálenost $V'F'$ budeme označovati s' a nazývati *úsečková délka*. Její převratnou hodnotu A'_∞ nazýváme *vrcholová mohutnost čočky*. Právě tak označíme hodnoty, vztahující se k předmětovému ohnisku $F : VF = s = A_\infty$. Nemají však pro naše úvahy značného významu. Čočky o téže vrcholové mohutnosti A'_∞ , avšak různě prohnuté, budou míti zcela odlišné optické mohutnosti D . Ačkoliv jejich ohniskové vzdálenosti jsou různé, budou, jsouce umístěny všechny stejně od oka daleko, míti týž účinek. Na obr. 339. jest

srovnáno sklo bikonvexní se sklem meniskovým, u kterého jest následkem jeho prohnutí rovina hlavní vysunuta a tudíž ohnisková vzdálenost delší. Jelikož je v obém případě pro oko vzdálené δ mm splněna podmínka $F' = R$, jsou obě skla účinkem shodna, ačkoliv $f'_2 > f'_1$. U skel konkavních zůstává následkem malé tloušťky rozdíl mezi mohutností optickou a vrcholovou v hranici tolerancí, kdežto u skel konvexních jest velmi značný.



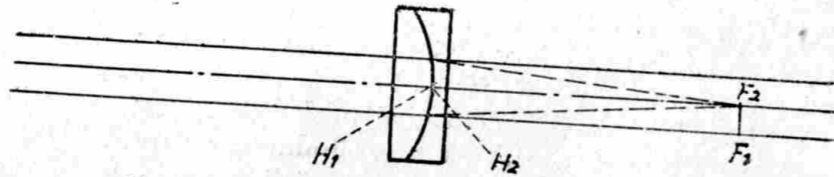
Obr. 339. Dvě různě prohnutá skla mají týž účinek, i když jejich ohniskové vzdálenosti jsou různé.

Když na příklad by bylo zjištěno, že bikonvexní sklo $+15$ dptr. právě vyhovuje a toto bylo pak nahrazeno sklem meniskovým o téže ohniskové vzdálenosti, pak bylo by nové sklo o 2,25 dptr. příliš silné.

Brýlová skla nejsou na štěstí označována podle ohniskových vzdáleností, nýbrž správně svým účinkem podle vrcholových vzdáleností v hodnotách vrcholových mohutností. Nemůže tedy k nějaké záměně dojíti.

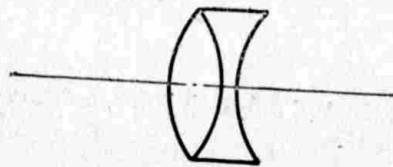
Jest několik způsobů, jimiž brýlová skla měříme. Nejjednodušší jest metoda zvaná *neutralizační*, protože neutralisujeme výkon čočky účinkem téže velikosti, avšak opačného znaménka.

Čočky plankonvexní a plankonkavní, zhotovené z téhož materiálu, se doplňují, když jejich zakřivení jsou stejná, v planparalelní desku o samozřejmě nulovém dioptrickém účinku (obraz 340.). Spojka by shromáždila rovnoběžné paprsky ve svém

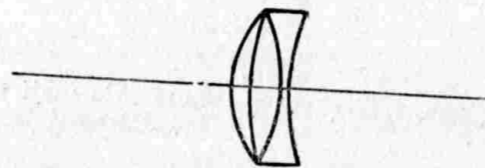


Obr. 340. Neutralisování plankonvexních skel.

ohnisku, společném s rozptylkou. My však víme, že paprsky, směřující do ohniska rozptylky, z ní vyjdou jako spolu rovnoběžné. Tímto způsobem neutralisujeme bi-skla, která přiložením vytvoří čočku o těchto zakřiveních, jen s opačnými znaménky, t. zv. nulovou čočku (obr. 341.). Vrcholy čoček se dotýkají a když jest dosaženo nulového účinku, splývají i ohniska. Pak je jasné, že obrazová vrcholová vzdálenost spojky jest totožna s předmětovou vrcholovou vzdáleností rozptylky. Ať již bylo naším úkolem nalézt mohutnost spojky pomocí známé rozptylky anebo naopak, jest vždy nalezená hodnota mohutností vrcholovou a nikoliv optickou a jelikož jsou hlavní roviny každé rozptylky velmi blízko u sebe, můžeme říci, že neutralisaci určujeme obrazovou vrcholovou mohutnost; tedy hodnotu, která jest právě směrodatná.



Obr. 341. Neutralisování bi-skel.



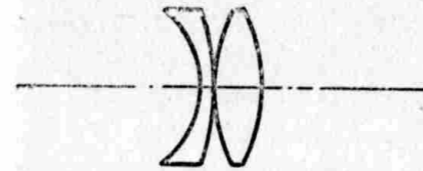
Ob. 342. Neutralisace meniskového skla. Nesprávný výsledek.

Podmínkou správné neutralisace jest dotyk vrcholů skla oku přivrácených. U skel plan a bi jest tomu vyhověno, kdežto u konkavních meniskových skel bychom podle obrazu 342. dostali zcela chybné výsledky. Za to však menisková skla konkavní můžeme měřiti přesně, když přiložíme (obr. 343.) neutralisující spojku k předmětovému vrcholu menisku. Měříme tak sice předmětovou mohutnost, avšak tato u konkavního menisku jest prakticky rovna hledané mohutnosti obrazové, protože sklo je velmi tenké.

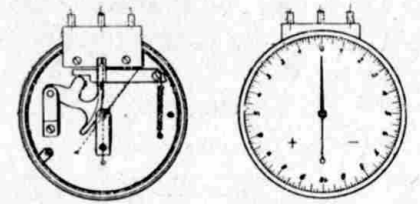
Při neutralisování postupujeme tím způsobem, že k měřenému sklu přikládáme cejchovaná skla ze zkušební skřínky tak, aby rozptylka byla vždy u oka. Dvojici skel pohybujeme, pozorující vhodný cíl. Vykonává-li cíl pohyb protichůdný pohybu skel, pak jest dvojice příliš konvexní. Naopak, je-li dvojice příliš konkavní, pohybuje se obraz ve stejném smyslu. Podobným způsobem můžeme měřiti i skla cylindrická, neutralisující postupně každý hlavní řez

zvlášť. Obraz musí při pohybu dvojice směrem právě neutralisovaného hlavního řezu zůstat v klidu.

Ve zkušebních skřínkách byla skla vždy sestavována neutralisací, takže, ačkoliv nebylo známo označování podle vrcholových lámavostí A'_∞ , přece jen byla skla takto odstupňována správně a nikoliv podle optických mohutností D . Přístrojem často používaným pro měření brýlových skel jest hodinkový sferometr. Lze jej doporučiti pouze pro informativní rychlé proměření nebo pro zjištění druhu skla (zda jest obyčejné meniskové nebo punktuální), případně aby byl určen výrobce, protože různé továrny volí různá prohnutí. Měřicí ústrojí jest tvořeno třemi hroty, ležícími v jedné rovině. Dva krajní jsou pevné, střední jest pohyblivý a perem stále vytlačován ven. Jeho pohyb jest systémem pák a koleček (obraz 344.) převáděn na ukazatel pohybující se po stupnici. Přístroj jest cejchován tak, aby přitlačením hrotů proti planu sklu zastavil se ukazatel na nule.



Obr. 343. Neutralisace konkavního menisku — správný výsledek.

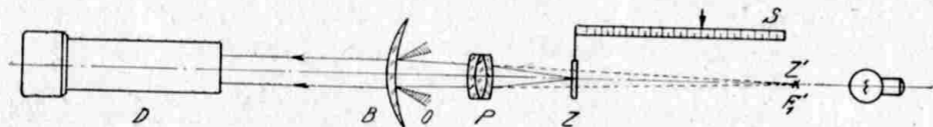


Obr. 344. Hodinkový sferometr.

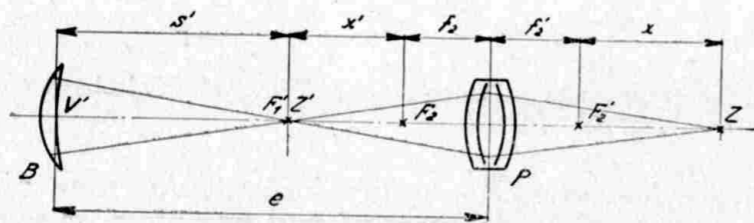
Při vychýlení měrného hrotu plochou zakřivenou ukáže ručička přímo počet dioptrií, které přísluší oné ploše, za předpokladu, že čočka jest zhotovena z brýlového kronu. Optická mohutnost celé čočky jest tedy rovna součtu hodnot na každé ploše zjištěných. Při ploše cylindrické zjistíme otáčením sferometru kol pohyblivého hrotu meridian, kde optická mohutnost plochy jest nula dioptrií. Tento řez je osou cylindru. Jest důležité, aby během každého měření byla rovina hrotů kolma k čočce, jinak dospějeme k nesprávným výsledkům. Proto přesné sferometry laboratorní jsou opatřeny třemi pevnými hroty anebo broušeným kruhem, který nejlépe jednoznačně určí správnou polohu skla. (Abbe-ův sferometr.)

Sferometrem máme možnost zjistiti optickou mohutnost pouze přibližně, neboť zanedbáváme někdy značnou tloušťku skla. Při tom však měření optické mohutnosti není vůbec žádoucí, neboť pro korekci ametropie jest směrodatnou vrcholová mohutnost skla. Jediným měřicím přístrojem, odpovídajícím požadavkům moderní *ofthalmometrie*, jest frontofokometr nebo krátce *fokometr* a proto se jím budeme obsírně zabývat. Měření provádí se opticky přesně

tímž chodem paprsků, v jakém jest sklo používáno před okem. Na předmětové straně skla zaručuje dalekohled paralelnost svazků, jako když sklem hledíme do nekonečna. Na obrazové straně jest posouváno vhodným testem tak dlouho, až jej pomocný objektiv zobrazí právě do ohniska měřeného skla. Obr. 345. jest schematem tohoto důmyslného přístroje. Je tvořen dalekohledem D , opěrou skla O , pomocným objektivem P a posuvnou značkou Z , která jest spojena se stupnicí S a prosvícena žárovkou nebo zrcátkem. Dalekohled jest vlastně jakýmsi dioptrickým filtrem, působícím v tom smyslu, že značka Z jest v něm viditelná jen tehdy, když paprsky vycházející ze systému tvořeného sklem B a objektivem P jsou spolu rovnoběžné. Tomu pak je tak v okamžiku, kdy obraz značky je právě v ohnisku skla F_1' , čímž je toto přesně určeno. Teoreticky jest vlastně jedno, kde do chodu paprsků sklo B vřadíme; dejme je tedy do nějaké obecné vzdálenosti e od objektivu P (obr. 346.).



Obr. 345. Schema a chod paprsků ve fokometru.



Obr. 346. Odvození vztahů pro fokometr.

Objektivem má být zobrazena značka Z do ohniska skla F_1' , které jest od ohniska objektivu F_2 vzdáleno o hodnotu $x = e - s' - f_2$, kde s' je vrcholová vzdálenost skla B a f_2 ohnisko objektivu. Aby tam značka byla zobrazena, musí se podle Newtonova vzorce $xx' = -f_2^2$ nacházeti ve vzdálenosti

$$x = -\frac{f_2^2}{x'}$$

od ohniska F_2' . Dosadíme za x' , takže dostaneme

$$x = \frac{f_2^2}{e - s' - f_2},$$

z čehož

$$\frac{1}{e - s' - f_2} = \frac{-x}{f_2^2}.$$

Kdyby v tomto výrazu bylo $e = f_2$, tedy kdybychom vrchol skla dali přesně do ohniska F_2 objektivu P , pak by

$$\frac{1}{f - s' - f} = -\frac{x'}{f_2^2},$$

kde však

$$\frac{1}{s'} = A'_\infty,$$

takže

$$A'_\infty \cdot f_2^2 = x'.$$

Vidíme, že vrcholová mohutnost skla je přímo a lineárně úměrná posunu značky, ovšem jestliže sklo B dáme do ohniskové roviny F_2 objektivu P .

Pro $A'_\infty = 1$ dptr., bude pohyb testu roven čtverci ohniskové vzdálenosti objektivu $x' = f_2^2$. Když na př. bude $f_2 = 0,04$ m, pak dílek stupnice odpovídající jedné dioptrii bude $0,04^2 = 1,6$ mm. Stupnici rozdělíme po 1,6 mm pro 1 dptr. V nulové poloze bude značka v ohnisku F_2' ; při měření skel konvexních bude se pohybovat směrem k objektivu, při měření skel konkavních naopak. Rozsah měření nebude pro skla konkavní nikterak opticky omezen. Při měření spojky můžeme značku posunouti k objektivu právě na doraz, tedy jest pohyb, který vykonala z polohy nula, roven ohniskové vzdálenosti objektivu. Vrcholová mohutnost skla bude tedy $\frac{1}{f_2}$. V příkladě shora uvedeném bylo by možno změřiti nejvýše sklo o mohutnosti $\frac{1}{0,04} = 25$ dptr. Tato hodnota bude však nižší, protože objektiv má určitou tloušťku, kterou jest pohyb značky trochu zmenšen.

Snadno se přesvědčíme, že ohniskovou vzdálenost čočky nijak nezměníme, když do její ohniskové roviny vložíme jakoukoliv jinou čočku. V našem případě zůstává ohnisková vzdálenost systému »objektiv + sklo« stále konstantní, rovna ohniskové vzdálenosti objektivu samotného. Z tohoto důvodu jeví se značka, ať měříme jakékoliv sklo, vždy stejně veliká.

Jest podmínkou, aby sklo dosedlo svým vrcholem V' vždy přesně do ohniska objektivu. Firma Zeiss užívá jako opěry skla achatového hrotu, o který opravdu přesně se vrchol skla opře. Výpočtema můžeme však zjistiti, že když místo achatového hrotu použijeme jako opěry ostrého okraje trubky o průměru ne větším jak 8 mm, nedopustíme se žádné praktické chyby.

Stupnice dioptrická bývá různě řešena. Jedná se totiž o mechanické, případně optické zvětšení škály, kde jedné čtvrtině dioptrie přísluší obyčejně asi 0,4 mm, což jest pro pohodlné čtení

velice málo. Proto zvětšujeme stupnici buď tak, že ji nanese na kotouč, který jest ovládán ústrojím, které značkou pohybuje nebo je stupnicí opatřena přímo pohyblivá část nesoucí značku a stupnice jest pak zvětšena lupou. Dobře se osvědčily takové stupnice nanesené na mléčném skle a ze spoda prosvícené.

Použitý dalekohled jest obvyklým astronomickým dalekohledem, pokud možno s větším zvětšením, které se pohybuje od šestinásobného do desetinásobného. Přesnost měření jest přímo úměrná zvětšení dalekohledu. Jest však také odvislá od akomodace, kterou může oko vyvinouti a proto starší lidé měří s fokometrem přesněji, nemohouce mnoho akomodovati.

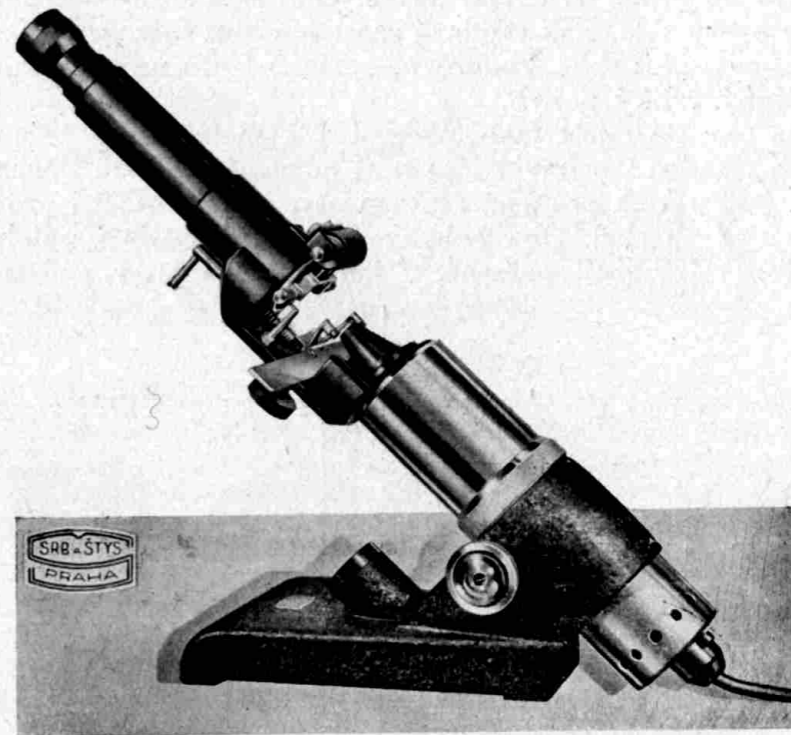
Značka jest tvaru kříže, různě ještě doplněného nebo tvaru kružnice. Do chodu paprsků jest vložen žlutozelený filtr, aby chyby měření způsobené barevnou aberací byly zamezeny a aby zjištěné hodnoty platily pro žlutozelenou část spektra.

Než počneme měřiti, zaostříme okulár způsobem popsaným v kapitole o dalekohledech a případně zkontrolujeme, zda beze skla je značka ostrá, právě když stupnice stojí na nule. Když jsme upevnili sklo, posouváme zásadně značkou tak, aby stupnice se pohybovala od konkavní části ke konvexní a v okamžiku, kdy po prvé značka Z jest ostrá, pustíme točítko. Tak jsme eliminovali chybu, které bychom se akomodováním dopustili. Tímto způsobem postupujeme při měření skel astigmatických, kdy však, u některých přístrojů, natáčíme buď sklo nebo značku, až jedno rameno kříže jest zřetelné. *Osa jest rovnoběžna s ostrým ramenem kříže při zastavení na silnější hodnotu.* Jest to samozřejmé, uvážíme-li, že hlavní řez astigmatického skla zobrazí ostře vždy jen čáru k němu kolmou. Fokometry jsou pro měření polohy hlavních řezů uzpůsobeny: při kruhové značce stačí, aby záměrný kříž okuláru byl otočný a nastavitelný rovnoběžně se značkou, která astigmatickým sklem jest roztažena v proužek. Jindy nutno opět natáčet sklo, až jeho hlavní řezy jsou s rameny kříže rovnoběžné. Velmi výhodná však jest konstrukce, která dovolí natočiti značku rovnoběžně s hlavními řezy. U aparátů s neotočnou značkou musíme totiž při měření astigmatického skla vsazeného libovolně do brýlí otáčeti celými brýlemi kol optické osy skla, až jeho hlavní řezy leží svisle a vodorovně. Když značka je otočna, upevníme brýle vždy do téže vodorovné polohy.

Fokometry jsou vyzbrojeny zařízeními k měření prismatických skel, o kterých bude pojednáno později. Klín vychyluje paprsky směrem k základně; díváme-li se jím na test, jest posunut zdánlivě opačně (viz kapitolu o klínech). Prismatické sklo právě tak vychýlí značku fokometru, ale jelikož astronomický dalekohled, kterým pozorujeme, vše obrací, bude test posunut ze středu ve směru

základny klínu. Záměrná značka v okuláru bude opatřena vhodným dělením pro měření výchylky a bude nastavitelná do směru vychýlení, aby jej bylo lze podle Tabo-schematu změřiti.

Fokometry Zeissovy jsou vyzbrojeny prismatickým kompensátorem, který dovolí měřiti úchyly až do 20 dptr. ve směru i velikosti. Je to důležité, zvláště, chceme-li změřiti střepinu skla. Můžeme však v takovém případě jednoduše vřaditi do chodu paprsků silnější prismatické sklo ze zkušební skříně a tak značku přivesti do zorného pole zpět.



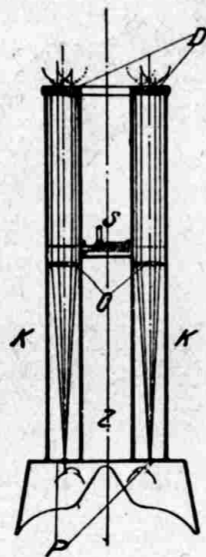
Obr. 347. Fokometr s držákem skel a značkovacím zařízením.

Fokometrem můžeme se přesvědčiti o punktuelnosti brýlového skla; stačí optickou osu skla postavit do určitého úhlu s osou ostatního systému. Zjištěnou astigmatickou diferencí lze přijati sotva kvantitativně. Máme ale možnost názorně předvésti výkon punktuelního skla. Fokometrem můžeme konečně zjistiti kvalitu dvojitěho skla.

Dvojitě (bifokální) sklo jest určeno pro ametropy nosící dvoje brýle — jedny do dálky a jedny do blízka. Oba účinky jsou sjednoceny v jedno sklo, jehož spodní část má vrcholovou mohutnost

skla na blízko, horní část jest pak pro dálku. Tvary výseku pro blízko bývají různé: kruhové nebo měsícovité. Záleží na výrobní metodě a ovšem i na ceně, zda styčná čára má být viditelná, tvoříc schod, nebo neviditelná, kdy sklo bývá nalepeno nebo vtaveno. O různých názvech takových výrobků nás nejlépe poučí tovární tiskoviny. Pacient si na taková skla dosti těžko zvyká; neruší jej však do té míry způsob provedení styčné čáry, jako skok obrazu při pohybu oka z části do dálky do části pro blízko. To značí, že na styčné čáře musí být dosaženo téhož prismatického účinku v obou částech. Zda tomu tak jest, přesvědčíme se tím, že upevníme sklo do fokometru tak, aby styčná čára procházela středem otvoru opěry skla. Pak střídavě zaostříme test fokometru pro do ní a pro horní část skla. Vodorovné rameno kříže nesmí vykonati při tom žádný veliký pohyb.

Na obr. 347. jest jako příklad fokometr firmy Srb a Štys. Vidíme na něm všechny v této stati popsané součásti. Značka fokometru jest jednak posuvná směrem osy, jednak otočná pro měření astigmatických skel. Oba pohyby (to jest dioptrie i poloha hlavního řezu) lze čísti současně, v jediném okénku v podstavci přístroje.

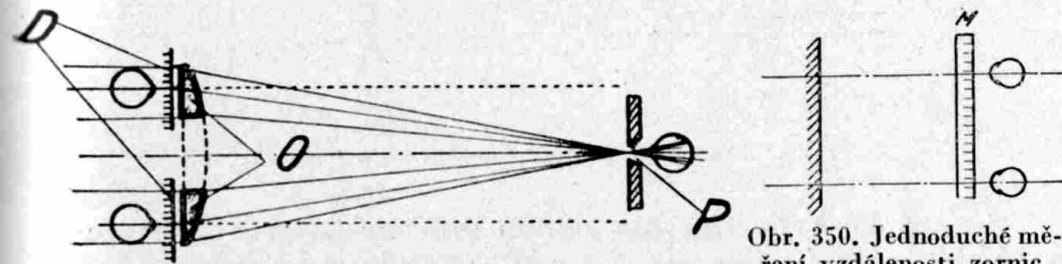


Obr. 348. Zeissův přístroj pro měření vzdálenosti zornic.

Binokulární vidění a brýle.

V odstavci o plastickém vidění bylo řečeno, že obrazy předmětu konečně vzdáleného padnou v očích na místa vzhledem ke žluté skvrně souhlasně položená, čímž se nám dostává vjemu hloub-

kového. Nyní můžeme ještě dodati, že na vzdálenosti předmětu závisí akomodace a s ní spojené sbíhání se očních os, t. zv. *konvergence*. Oko jest totiž upevněno šesti svaly, které jím natáčejí tak, aby bod upoutavší naši pozornost zobrazil se do žluté skvrny. Úhlu, který oční osy svírají, říkáme *úhel konvergenční*. Konvergence jest s akomodací úzce spojena a vyžaduje značného cviku, od sebe je oddělit. Tím obtížnější však bude používání brýlí, neboť jsme zjistili, že brýlové sklo jest příčinou nejen jiné akomodace, ale i jiné perspektivy a změny směru hlavních paprsků.

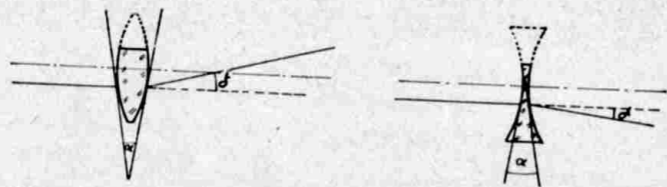


Obr. 350. Jednoduché měření vzdálenosti zornic.

Obr. 349. Přístroj fy Optikotechna a fy Busch.

Jest velmi důležité, aby optické osy brýlových skel vždy splývaly s osami očí hledících na velmi vzdálený bod. Musíme tedy míti možnost jednak změřiti vzdálenost pupil, jednak naléztí optickou osu skla. Nejznámější měřiče vzdálenosti pupil jsou přístroje Zeissovy a Buschovy. Přístroj Zeissův (obr. 348.) je sestaven ze dvou paralelních kolimátorů *K*, tvořených svislou značkou *Z* a kolimačním objektivem *O*, který značku *Z* promítne do nekonečna. Paprsky směřující do oka pacientova jsou tedy všechny rovnoběžné s optickou osou, takže osa oka hledícího na značku, jest také s optickou osou rovnoběžná i když nesplývá s osou objektivu *O*. Tím jest zaručena rovnoběžnost očních os. Vyšetřující pozoruje průhledem *P* (který jest pod značkou *Z*) a objektivem *O* oko pacienta spolu se stupnicí *D* v přístroji pod okem ležící. Nejprve čte stupnici pod středem jedné pupily, pak přesune šoupátko *S*, čímž přikryje první oko a odkryje druhé; zjistí vzdálenost druhé pupily od středu nosu a sečte ji s první hodnotou. Pěkně jest problém vyřešen firmou Busch a Optikotechna. Pupily jsou pozorovány dvěma klínovitými čočkami *O*, které jsou jakoby vyříznuty z jediné velké čočky (obr. 349.). Pozorovatel se dívá malým otvorem *P*, který jest v ohnisku čočky *O*. Paprsky na straně měřených očí vycházejí z obou čoček všechny rovnoběžně s osami očí. Před očima jsou opět dvě měřítka *D*, upravená jako dvě kruhové stupnice, po nichž se pohybuje ukazatel spojený s hrotem, který na-

stavíme na střed pupily. Méně rozšířené jest jednoduché zařízení, spočívající na principu autokolimace (obr. 350.). Přístroj pozůstává z měřítka M a podélného zrcadla Z . Protože rovina zrcadla je k osám očí kolma, vidí oči své obrazy jen, když hledí kolmo do zrcadla, čili spolu rovnoběžně. Na zrcadlovém obraze měřítka uložného pod očima může zkoušející odečísti na měřítku vzdálenost svých pupil, případně může tak učiniti druhá osoba pohledem přes zrcadlo.



Obr. 351. Jak uchyluje decentrované sklo paprsek.

Centrování brýlového skla obstará nejlépe fokometr. Decentrování skla působí právě tak jako klín, uchylující paprsky ke své základně. Na obr. 351. jest odvozeno, proč konvexní sklo láme paprsky směrem ke své ose, konkavní od ní. Představíme si v místě, kde paprsek dopadá a vychází tečné roviny kulových ploch čočky, které vytvoří jakýsi klín o lámavém úhlu α .

Prismatický účinek skla musíme u normálních brýlí za každou cenu zameziti, neboť jím nutíme oči k nepřirozené poloze, což je velmi namahavé a když konečně decenterace přestoupí určitou míru nebo oční svaly jsou unaveny, padnou obrazy v obou očích na nesprávná místa; předmět vidíme dvojitě. Za to však úmyslně jsou předpisována prismatická skla pro oči, u nichž rovnováhy svalů nelze dosáhnouti buď vůbec (*strabismus manifestní* — zjevné šilhání) anebo zdvojení obrazu jest odstraněno jen přemáháním a úsilím o dočasnou paralelitu očních os (*strabismus latentní* — skrytý). Pokud strabismus není kombinován s některou ametropií, užíváme klínovitých skel, v nichž jest odchylka paprsku (viz kapitulu o klínech a hranolech):

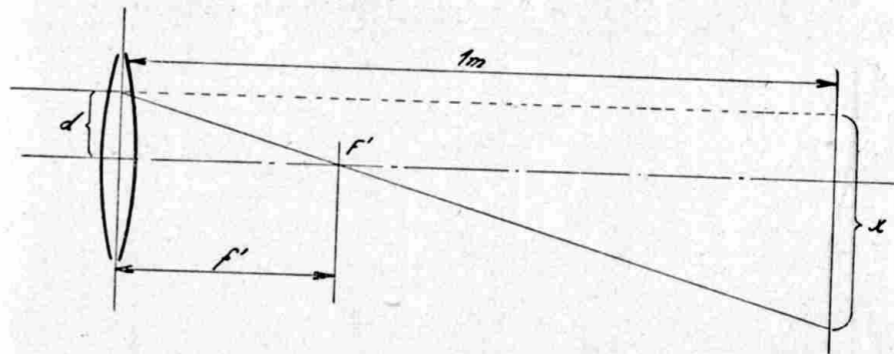
$$\delta = (n - 1) \alpha,$$

kde α je úhel klínu. Měření úhlu α je však obtížné, nehledě k tomu, že vlastně tím není výkon skla přesně definován. Zavedenou jednotkou jest prismová dioptrie (dptr.). Sklo má účinek 1 dptr. když uchýlí paprsek o 1 cm, na vzdálenost 1 m. Prakticky jest prismová dioptrie totožná s někdy užívaným centradianem (ctrd). Dosadíme-li do vzorce $\delta = (n - 1) \alpha$, zjistíme, že klín o lámavém úhlu 1° způsobí u brýlového krouhu odchylku $\delta = 0,52^\circ$. Z rovnice $1 \text{ dptr.} = \frac{1 \text{ cm}}{1 \text{ m}}$ vypočítáme opět, že $1 \text{ dptr.} = 0,57^\circ$. Prismová

dptr. jest svým účinkem právě o deset procent větší úhlu $\alpha = 1^\circ$. Platí vztah

$$1,1^\circ \alpha = 1 \text{ dptr.} = 1 \text{ ctrd} = 0,57^\circ \delta$$

Často sklo koriguje současně ametropii a strabismus. Pak užijeme normálního brýlového skla, jehož osa nesplývá s osou oka.



Obr. 352. Výpočet odchylky decentrovaného sférického skla.

Na obr. 352. jest tento případ vyznačen. Sklo o ohniskové vzdálenosti f' jest decentrováno o hodnotu d . Paprsek rovnoběžný s osou, od ní však vzdálený o délku d , jest lámán do ohniska a prořal by stínítko vzdálené jeden metr ve vzdálenosti x pod původním paprskem. Z podobnosti trojúhelníků (obr. 532.) platí:

$$1 \text{ m} : x = f' : d$$

$$\frac{x}{1 \text{ m}} = \frac{d}{f'}$$

protože ale

$$\frac{1}{f'} = D,$$

můžeme psáti

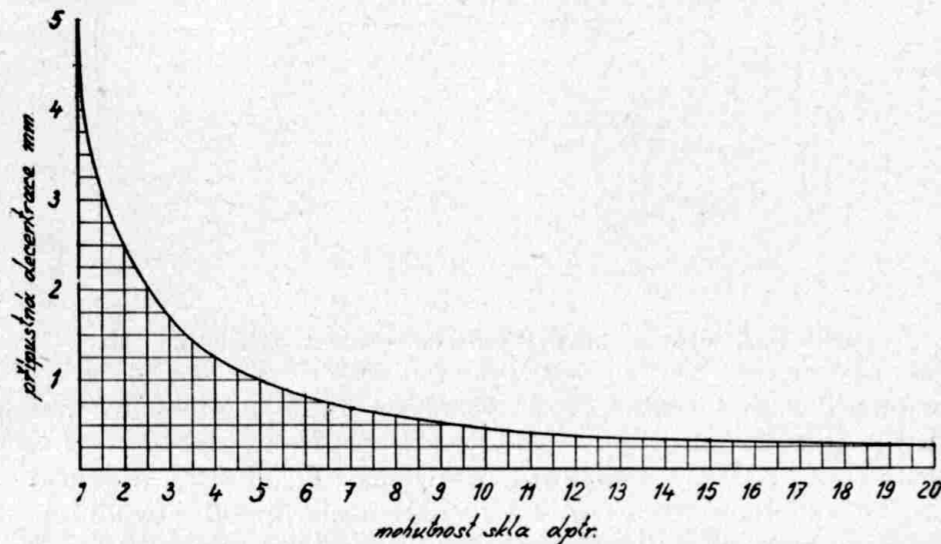
$$\frac{x}{1 \text{ m}} = d \cdot D.$$

Způsobená úchylka v dptr. $\left(\frac{x}{1 \text{ m}}\right)$ jest rovna decenteraci v centimetrech násobené optickou mohutností skla. Decentrujeme-li na př. sklo 3 dptr. o 1 cm, získáme prismatického účinku 3 dptr.; decenteraci o 0,5 cm způsobíme úchylku 1,5 dptr.

Oči mohou do určité míry vyrovnávati špatnou středivost skel, pokud prismatický účinek není větší, než asi 1 dptr., čili 0,5 dptr. pro každé sklo. Je vidno, že čím silnější sklo, tím přesněji musí být centrováno. Obrázek 353. ukazuje, jak přesnosti musí přibývati od $\pm 5 \text{ mm}$ při 1 dptr. až do $\pm 0,25 \text{ mm}$ při 20 dptr. Brýle opatřené silnějšími skly musí býti velmi přesně obličejí přizpůsobeny a vzdálenost očí pečlivě změřena.

Samozřejmě, může strabismus žádati uchýlení paprsků do kteréhokoliv z meridianů Tabo-schematu, ačkoliv většinou bývají úchyly vodorovné nebo svislé. Jest však vždy ještě v předpisu udati polohu základny klínu. Předpis pak na př. zní:

$P : + 4 \text{ dptr. c } 3 \text{ pdptr. } 120^\circ \text{ basis vně,}$
 $L : + 3 \text{ dptr. c } 3 \text{ pdptr. } 120^\circ \text{ basis vně.}$



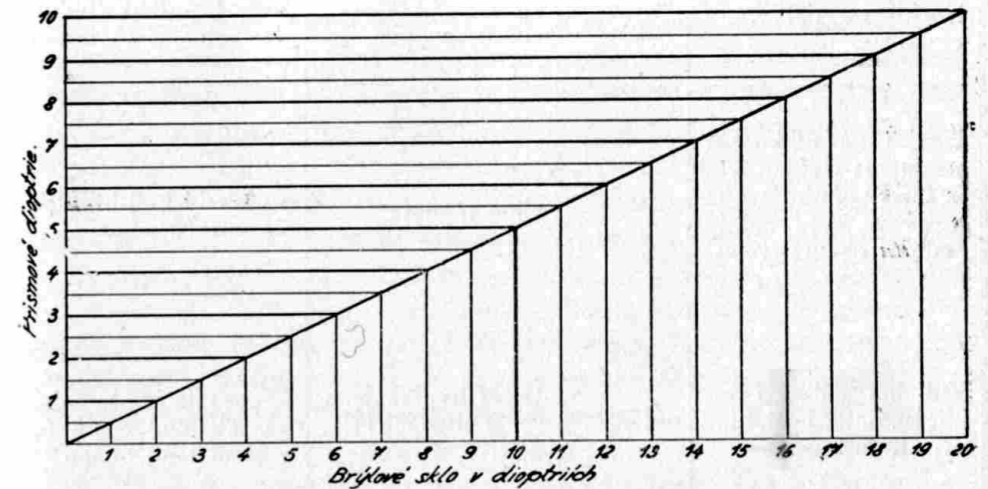
Obr. 353. Přípustná decentrace brýlového skla.

I když byl strabismus zjištěn pouze u jednoho oka, rozdělíme úchylku na obě oči, neboť pak jest prismatický účinek každého jednotlivého oka poloviční a proto vzniklý astigmatismus a chromatická vada menší.

Někdy však předepsaná úchylka jest rozložena ve své složky ve směru vodorovném a svislém, na př. $-5 \text{ dptr. c } 3 \text{ pdptr. basis uvnitř, } 5 \text{ pdptr. basis nahoře.}$ Pak jest nejlépe, když ve fokometru pohybujeme sklem, až střed značky leží nad ryskou, značící tři pdptr. vodorovné úchyly a u rysky 5 pdptr. úchyly vzhůru. Také astigmatické oči bývají stíženy strabismem. Pak jest dosti obtížné vyhledati nutný geometrický střed skla. Doporučuje se použití opět fokometru a vhodným střídáním zaostření na to neb ono rameno kříže, značky vyhledati předchozím způsobem nutnou excentricitu.

Jest na snadě, že do určitých mezí má brýlový optik možnost decentrací normálního surového brýlového skla získati předepsaný prismatický účinek. Graf na obr. 354. znázorňuje hranici použitelnosti surových skel o $\Phi 45 \text{ mm}$ pro prismatická skla o $\Phi 40 \text{ mm}$. Na vodorovné ose jsou nanešeny optické mohutnosti, na svislé ose

dosažitelné prismové dioptrie. Skla s úchyly mimo udanou hranici nutno zvlášť zhotoviti.



Obr. 354. Prismatická skla, která je možno zhotoviti z normálních surových skel o průměru 45 mm.

Ophthalmometrie.

V této stati budou zcela stručně fysikálně zdůvodněny různé způsoby zjišťování ametropie.

Naším úkolem bude naléztí oční refrakci, t. j. polohu dalekého bodu R a určití vhodné brýlové sklo. Pro toho, kdo předchozí úvahy prostudoval, budou všechny postupy měření samozřejmy.

Způsoby určování oční refrakce lze rozdělití do dvou skupin. Buď je třeba aktivní spolupráce pacientovy (údajů o dosažené ostrosti zrakové atd.) anebo se pacient chová zcela pasivně a vlastnosti jeho oka jsou zjišťovány bez jeho součinnosti. Prvému způsobu říkáme metoda *subjektivní*, druhému *objektivní*.

Na druh ametropie, pokud se nejedná o nějaký zvláštní případ, můžeme souditi již z prvních údajů pacientových a podle toho učiniti další kroky. Následující tabulka přehledně informuje o různých eventualitách, aniž by všechny možnosti ovšem vyčerpala.

Ať jest pravděpodobná ametropie jakákoliv, zkoušíme oči, i když jsou žádány brýle na blízko, vždy nejdříve na dálku. Protože se jedná o zjištění vzdáleného bodu, musíme dbáti určitých pravidel, která nepřipustí, aby zkoušené oko začalo akomodovati. Předřazováním různých skel můžeme refrakci oka posunouti buď více do prostoru myopie nebo hyperopie. Protože však hyperopie ihned počne na dálku akomodovati, musíme každé zkoušené oko učiniti uměle krátkozrakým, předřazováním konvexních skel, až

Výpověď pacientova	Stáří pacienta	Pravděpodobný druh ametropie	Pravděpodobná příčina efektu
Nevidí na dálku, na čtení ano	--	slabší myopie	vzdálený bod nalézá se nejméně 25 cm od oka
Nevidí na dálku ani na čtení; vidí jen zcela blízké předměty, na které se dívá někdy edním okem (strabismus)		silná myopie	vzdálený bod blíže jak 25 cm
Vidí na dálku i na blízko. Bolesti očí, hlavy, strabismus.	mladší	slabší hyperopie, u zcela mladých i silnější	hyperopie je přemáhána akomodací, která vystačí i na blízko
Na blízko nevidí, na dálku ano	střední	hyperopie	Akomodace nestačí již na vyrovnání hyperopie při zření na blízko
Na blízko nevidí, na dálku ano	stř. stáří	presbyopie	úbytek akomodace
Nevidí na dálku, ani na blízko. Na dálku však lépe. Dříve viděl zcela dobře	stř. stáří	silnější hyp., u staršího slabší hypermetr., snad kombinováno s presbiopií	akomodace nestačí již ani na dálku, tím méně na blízko
Nevidí ani na dálku, ani na blízko, různé poruchy	--	astigmatismus nebo patologický případ	jen lékař může rozhodnouti
Nevidí do dálky ani do blízka, někdy čáry v určité poloze ostré	--	astigmatismus	

visus se znatelně zhorší. Toho ovšem neučiníme, když oko již krátkozrakým jest. Ku zkouškám potřebujeme řádné zkušební skříňky, zkušební brýle a vhodných optotypů.

Oku, u kterého předpokládáme krátkozrakost, předřazujeme

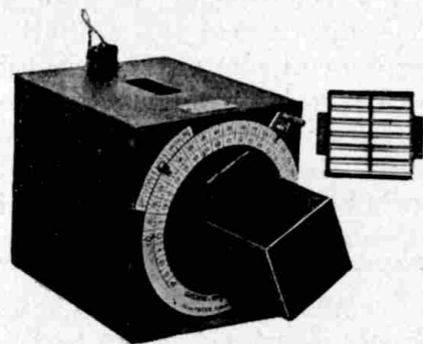
konkavní čočky, které zvolna zesilujeme a sledujeme, jak se visus zlepšuje. Dosáhne konečně určité velikosti, na které zůstane, i když sklo ještě dále zesílíme; oko původně myopické se stalo příliš silným konkavním sklem hyperopickým a akomoduje. Pamatujme si, že vždy to nejslabší konkavní sklo jest správným, plně korigujícím.

Oku, pravděpodobně hypermetropické, učiníme nejprve vhodnou silnější spojnou čočkou krátkozrakým a tuto myopii pak předchozím způsobem odstraňujeme. Jest evidentní, že vždy nejsilnější konvexní sklo, se kterým je dosaženo téhož výsledku, jest správným.

Soudíme-li na astigmatismus, pak použijeme pro zjištění polohy hlavních řezů oka testu, obsahujícího osnovu čar různě skloněných v intervalech třeba 10° nebo otočného kotouče nesoucího několik čar. Dobře se osvědčí test, v němž oba způsoby jsou spojeny. Jest tvořen věncem paprsků, nesoucích uprostřed otočný kotouč. Astigmatické sklo nejprve učiníme v obou řezech myopickým (když již není) pomocí vhodného konvexního skla. Pacient nás informuje, ve kterém sklonu paprsků testu vidí nejostřeji a my otáčením kotouče s čarou snažíme se tuto polohu co nejpřesněji zjistiti. Kolmo k tomuto směru leží slaběji myopický hlavní řez. Vymezíme jej štěrbinovou clonou o šířce asi 1 mm, vsazenou do zkušebních brýlí a korigujeme jej tak, jako by se jednalo o některou ze symetrických ametropií, pomocí normálních optotypů a sférických skel. Když jsme dospěli k výsledku, otočíme štěrbinu o 90° a tímž způsobem nalezneme refrakci druhého řezu. Známým způsobem vypočítáme příslušnou sferocylindrickou kombinaci, jejíž účinek ještě přezkoušíme tím, že oko učiníme znovu nepatrně krátkozrakým a otáčíme čárovým testem. Čáry musí zůstatí ve všech polohách stejně neostré. Když tomu tak není, popravíme nepatrně cylindrické sklo buď co do osy nebo mohutnosti. Tento způsob jest nazýván *metodou štěrbinovou*.

Z jiných subjektivních způsobů zjištění astigmatismu sluší nastíniti t. zv. *metodu mlhovou*. Jest elegantnější prvé, vyžaduje však zkušební skříňky s cylindrickými skly a trochu více cviku. Opět učiníme oko v obou hlavních řezech krátkozrakým a otáčením čárového terče zjistíme podle nejlépe viděné plochy čas směr méně krátkozrakého hlavního řezu. Pak zkusíme konkavními plancylindry s osami kolnými k nejlépe viděným čarám, až dosáhneme nejlepšího výsledku. Ovšem, že optotyp nebude zcela ostře viděn, protože jsme učinili krátkozrakými oba řezy. Nalezený cylindr bude správně korigovati astigmatismus, o čemž se přesvědčíme otáčením čárového terče, který musí býti nyní viděn v každé poloze stejně nejasně. Astigmatická diference oka jest vyrovnána. Pak sferickými konkavními skly odstraníme zbývající krátkozrakost, tak jako u symetrického skla.

Krajně zajímavý způsob měření ametropie jest vyřacován Francouzi Pechem a Imbertem a nazývá se *chromoptometrie*. Využívá chromatické vady oka, která je tak značná, že ohnisko paprsků červených je o 0,6 mm dále než ohnisko paprsků modrých. (Pollack.) Je tedy oko, hledící na předmět modrý, krátkozraké, kdežto na červený akomoduje i když tento je v nekonečnu, tak jako by bylo hyperopické. Optotyp červený i modrý bude viděn emetropem stejně ostře jen v jediné vzdálenosti, která jest asi 1,4 m. Na tuto vzdálenost uvidí však myop ostřeji optotyp červený, kdežto hyperop optotyp modrý. Tyto efekty jsou od akomodace naprosto nezávislé a byly nazvány *paradoxním viděním*. Tohoto paradoxního vidění lze použití pro určení refrakce oka. Korigujeme ametropa tak dlouho, až vidí obě barvy testu vzdáleného 140 cm stejně ostře. Způsob zdá se býti přesný a zvláště výhodný, protože není nutno nikterak respektovati akomodaci, jako u všech metod ostatních. Přístroj s monochromatickými optotypy, konstruovaný Peterem pod názvem Ericiscop, jest na obr. 355. Tamtéž jest vyobrazen i test, jehož jedna polovina je červená a druhá modrá.



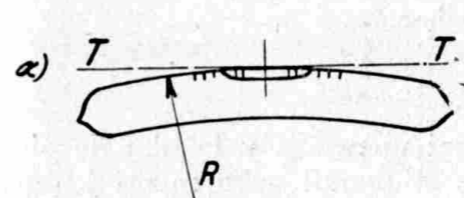
Obr. 355. Ericiscop Peterův.

Všechny právě popsané zkoušky provádíme ovšem pouze s jedním okem, kdežto oko druhé zakryjeme mdlým sklem. Když jsme byli takto nalezli refrakci každého oka zvláště a zjištěné hodnoty ještě jemně dokorigovali, nasadíme výsledná skla oběma očím současně, abychom se přesvědčili, zda je oči bez obtíží mohou používat, případně je ještě trochu poopravíme. Jsou-li značnější rozdíly (t. zv. *anisometrié*) mezi očními refrakcemi, nevznikají v očích stejně veliké obrazy a oči musí, chtějí-li určitý prostor přehlédnouti, vykonávati různě veliké pohyby, což ovšem nutně vede k potížím a zdvojení obrazu, nehledě k tomu, že na blízko každé musí jinak akomodovati. Obyčejně nesou oči většího rozdílu ve sklech, jak pět dioptrií. Je-li větší, musíme silnější sklo oslabiti — nikdy však slabší zesílit.

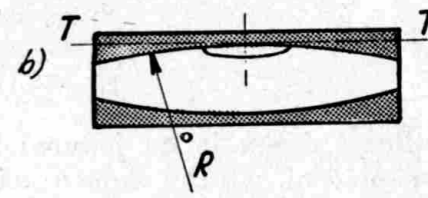
GEODETICKÉ PŘÍSTROJE A JEJICH POMŮCKY.

Libely.

Libely jsou určeny k tomu, aby se jimi zjišťovala vodorovná nebo svislá poloha. Libely jsou používány buďto samostatně nebo se zavěšují, nebo nasazují na měřicí přístroje, nebo konečně jsou pevně spojeny s měřicími přístroji. Tak zv. *trubicové libely* slouží k zjištění vodorovné polohy v jednom směru. *Krabicových libel* se používá pro méně přesná zjištění horizontální polohy ve všech směrech. Hlavní součásti libely jsou: Skleněné těleso (trubice) s dělením nebo s označením středu libely, náplň libely, objímka a případně rektifikační zařízení.



Obr. 356. Libela z ohnuté trubice.



Obr. 357. Řez libelou z vybroušené trubice.

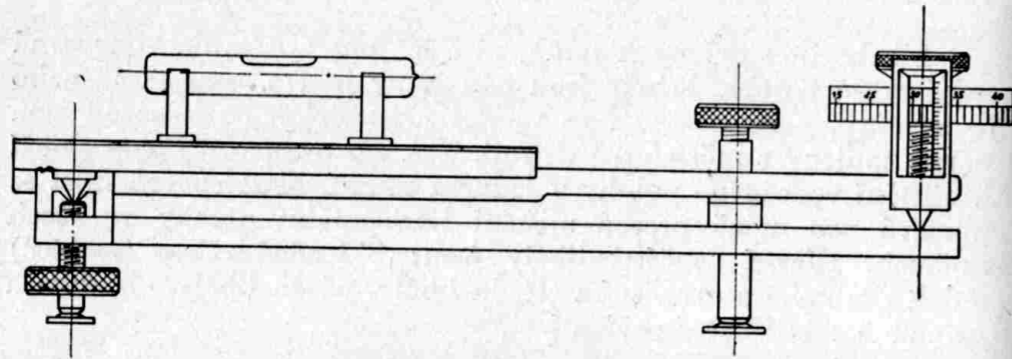
Druhy libel.

Trubicové libely. Méně přesné libely pro nejběžnější účely se zhotovují ohnutím skleněné trubky na určitý, předem vypočítaný poloměr zakřivení (obr. 356.). Trubice je naplněna příslušnou tekutinou a její oba konce jsou pak buď uzavřeny zátkami nebo je trubice na koncích zatavena.

Libely zhotovené tímto způsobem nejsou přesné, jelikož ohnutí trubky, určující citlivost, není nikdy provedeno přesně, nehledě k tomu, že kovová obruba takových libel je těžko vyrobitelná. Proto se těchto libel používá dnes u přístrojů nejprimitivnějších.

Jejich výhody, jsou-li vůbec nějaké, spočívají pouze v tom, že jejich zhotovení nevyžaduje žádných velkých strojových zařízení.

Přesné libely se vyrábějí z válcových skleněných trubek, jejichž vnitřní povrch je vybroušen na tvar rotační plochy (obraz 357.). Představíme-li si osový řez takovou libelou, pak mají míti obě vnitřní plochy na tomto řezu tvar pravidelných kruhových oblouků s určitým poloměrem zakřivení. Stejnóměrnost vybroušení, tedy pravidelnost zmíněných kruhových oblouků se zkouší na přístroji zvaném *libeloměr* (obr. 358.). Hlavní součástí tohoto přístroje je podložní deska s jezdcem pro nasazení zkoušené libely.



Obr. 358. Libeloměr.

Podložní deska je na jednom konci upevněna v ložisku dovolujícím otáčení. Druhý konec dá se zvednouti nebo snížití jemným šroubem. Na jemném šroubu je dělený bubínek. Jednotka dělení odpovídá úhlové jednotce, na př. 1". Zkoušený vybroušený radius je v tom případě správný, když stejným úhlem, odečteným na bubínku, odpovídají stejné posuny bubliny. Zhotoví-li se libelová trubice se dvěma vybroušenými oblouky ležícími přesně naproti sobě, můžeme používat tuto trubici pro *reversní (dvouosovou) libelu*.

Libeloměrem se určuje také citlivost libel (cejchování). *Citlivostí rozumíme úhel, o který je nutno libelu nakloniti, aby se střed bubliny posunul o jeden dílek na libele.* Nyní se vyrábějí libely vesměs s dělením po 2 mm. Starší libely mívají dělení na pařížské čárky (2,256 mm). Citlivost libel se určuje serií měření na libeloměru. Čím větší je poloměr zakřivení v průřezu (v meridianu), tím je citlivost libely větší. Značíme-li písmenem R poloměr zakřivení, písmenem d jednotku dělení na libele a písmenem γ citlivost libely, pak obdržíme následující vztah mezi citlivostí a tvarem libely:

$$\gamma \text{ (ve vteřinách)} = \frac{d}{R} \cdot 206265$$

$$\gamma \text{ (v minutách)} = \frac{d}{R} \cdot 3438$$

Pro rychlý výpočet stačí vzorce (R v metrech):

$$\gamma \text{ (ve vteřinách)} = \frac{400}{R}$$

$$\gamma \text{ (v minutách)} = \frac{7}{R}$$

U těchto vzorců předpokládáme jednotku dělení rovnající se 2 mm. Citlivost se udává vždy pro jednotku dělení, tak na příklad 20"/2 mm.

Tabulka poloměrů podle citlivosti.

Citlivost γ	Poloměr vybr. obl. R	Citlivost γ	Poloměr vybr. obl. R
10'	0.7 m	20"	20.5 m
5'	1.4 m	15"	27.4 m
2'	3.4 m	10"	41.2 m
1'	6.9 m	8"	51.4 m
45"	9.2 m	5"	82.4 m
30"	13.7 m	2"	206. m
25"	16.5 m	1"	412. m

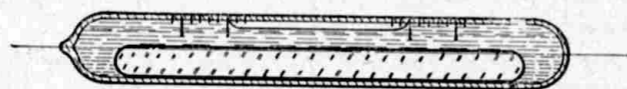
Vybroušení vnitřku libel děje se trnem, majícím potřebný poloměr zakřivení v meridianu. Je přirozené, že trn musí být slabšího průřezu než původní světlost trubice. Při broušení nevyplňuje tedy dutinu libely úplně a je nutno vésti brousící trn velmi opatrně, aby celý vnitřní povrch trubice byl vybroušen stejnoměrně a aby na některé straně libela nebyla přebroušena nebo podbroušena. Plocha libely by pak nebyla rotační. Síla stěny trubice se řídí velikostí poloměru zakřivení. Méně citlivé libely vyžadují silnějších trubic, poněvadž je u nich i poloměr zakřivení kratší a také, aby uprostřed libely nebyla stěna příliš tenká. Po vybroušení je jeden konec libely zataven a druhý konec je zahřátím vytažen ve špičku. Tím ovšem jsou konce libely deformovány a nelze jich

použití pro měření. Libela je pak naplněna tekutinou a stejnoměrně zahřáta na teplotu 40 až 50°. Pak se zataví špička trubice. Od teploty, při které je zatavena, závisí délka bubliny. Bublina je vytvořena parami náplně. V nejprimitivnějších přístrojích používá se libel plněných vodou, které mají tu nevýhodu, že voda příliš lne ke sklu a že brzo mrzne. Glycerinu se používá u libel méně přesných, ale nereagujících na otřesy. Pro přesné libely používá se řídkých kapalin s malou přilnavostí ke sklu; jako ether, sirouhlík a pod. Při volbě délky bubliny je nutno bráti v úvahu, při jakých teplotách se bude libely používat.

V tropických krajinách je na př. nutno počítati se změnou teploty až 60° (od -10 až do +50°). Bublina se při větších teplotách zmenšuje a při nižších teplotách zvětšuje. Rozsah dělení na libele musí vystačiti při nejkratší i nejdělsí bublině a ještě dovoliti výchylku bubliny o několik dílků. Z uvedeného dá se určit prakticky potřebná délka libely, při čemž se musí bráti v úvahu, že konce trubice jsou pro měření nepotřebné. Průměr libelových trubec vodíme podle přesnosti. Pro méně přesné libely stačí menší průměr trubice (až 6 mm), pro libely s přesností 20" až 40" 8 až 12 mm, pro ještě přesnější libely 12 až 20 mm.



Obr. 359. Komorová libela.



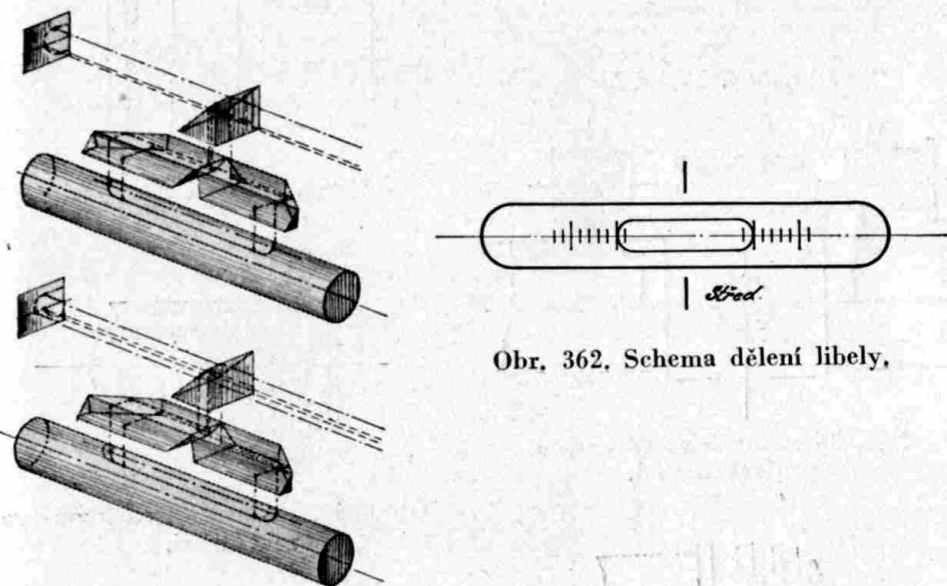
Obr. 360. Libela s konstantní bublinou.

Aby veliká nevýhoda, že délka bubliny se mění teplotou, byla odstraněna nebo aspoň zmenšena, byly konstruovány tak zvané *komorové libely*. U těchto druhů libel je v jednom konci trubice umístěn malý reservoár, naplněný plynem, jenž je oddělen od ostatního prostoru mezistěnou s malým otvorem *o* na spodní straně. Vhodným nakláněním a otáčením libelou je možno vypustiti část plynu z reservoáru nebo pustiti plyn do něj. Tím způsobem můžeme prodloužiti nebo zkrátiti bubliny podle potřeby. Takové libely jsou velmi drahé. Jiný způsob zmenšiti vliv teploty na délku bubliny je používán u tak zv. »libel s konstantní bublinou« firmy Watts a jiných (obr. 360.). Do trubice je vložena skleněná tyčinka,

jež vytlačí značnou část náplně, která má daleko větší roztaživost nežli sklo. Konstatní bublinou opatřené libely jsou zvláště nutné tam, kde jsou kombinovány s pozorovacím hranolovým systémem, jak je popsáno u teodolitů a nivelačních přístrojů (obr. 361.). Při značné změně velikosti bubliny je totiž nebezpečí, že její okraje se dostanou mimo poměrně úzké zorné pole pozorovacího systému.

Dělení je nanášeno na horní straně libel, u reversních libel pak na horní a dolní straně. Uprostřed na délce o něco menší než je bublina, bývá dělení přerušeno. Dělení u dlouhých citlivých libel bývá někdy opatřeno číslováním. Tečnou přímkou dotýkající se vnitřního vybroušeného oblouku libely uprostřed dělení nazýváme osou libely. Reversní libela má podle toho dvě osy, horní a dolní, které musí býti navzájem přesně rovnoběžné.

Staré libely se stávají časem nepotřebnými, poněvadž se na vnitřním povrchu trubice vyloučí jemná krystalická vrstvička, která značně zvětší přilnavost tekutiny ke sklu. Tím se stane, že bublina



Obr. 361. Chod paprsků v pozorovacím hranolovém systému libely.

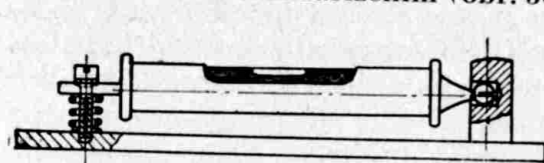
Obr. 362. Schema dělení libely.

dosahuje své správné polohy pomalu. Je nutno dbáti toho, aby měřicí libely nebyly vystavovány přímému záření slunečnímu, poněvadž v takovém případě začne se bublina pohybovati s místa na místo, jelikož se trubice nestejněmálně zahřívá.

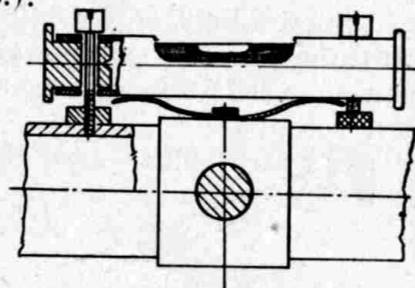
Ve většině případů je choulostivá trubice libely uložena v ochranné kovové objímce, která ponechává volnou pouze hořejší

část libely, opatřenou dělením. Skleněná trubice musí být uložena tak, aby kovová objímka měnila svůj tvar při různých změnách teplotních neměla přímého vlivu na skleněnou trubici libely. Skleněná trubice tedy musí mít v tomto ochranném pouzdrů určitou vůli. Proto nejméně jeden konec libely je uložen ve snadno poddajném materiálu, na př. v korku, nebo smí být držen pérující podložkou.

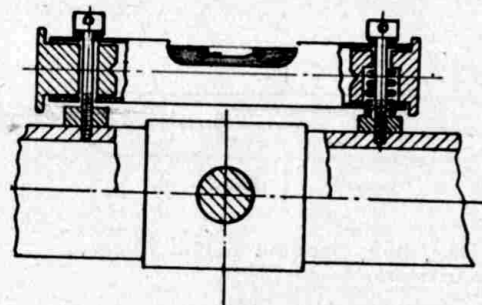
Samotná objímka libely má být tak uložena, aby její upevnění nemohlo způsobit případnou deformaci. Obecně bývá, k vůli snadné justáži, jeden konec objímky upevněn buďto v kulovém nebo ve válcovém kloubu. Kulové uložení má tu výhodu, že nemůže způsobit v objímce stranová napětí. Druhý konec objímky je držen rektifikačním zařízením (obr. 363.).



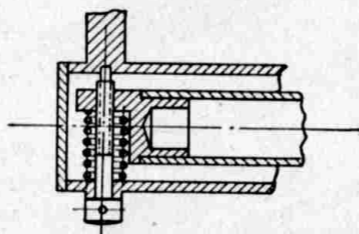
Obr. 363. Stolní libela.



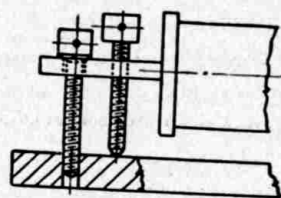
Obr. 364. Libela s plochým perem pro rektifikaci



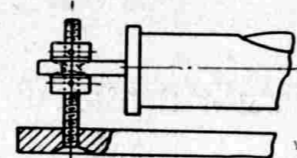
Obr. 365. Libela se zpružinou pro rektifikaci.



Obr. 366. Libela se zpružinou pro rektifikaci.



Obr. 367. Libela se dvěma rektifikačními šrouby.

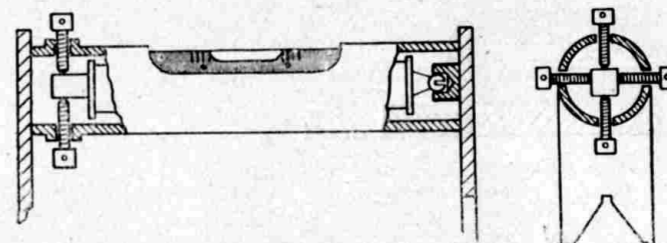


Obr. 368. Libela se dvěma rektifikačními matkami.

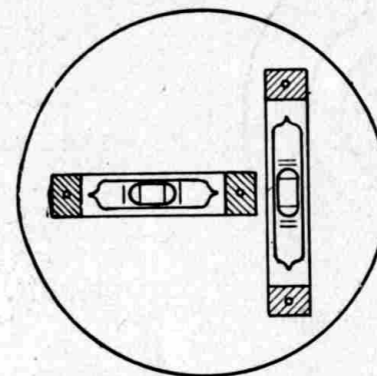
Jiná úprava sestává buď z táhnoucího šroubu, proti němuž působí buďto ploché nebo spirálové péro (obr. 364., 365., 366.), nebo z táhnoucího a tlačícího šroubu nebo ze dvou šroubů proti sobě

působících (obr. 367.), nebo konečně ze dvou šroubových matek (obr. 368.), které drží konec objímky libely mezi kulovitými matkami a jsou na společném šroubu, jenž je upevněn na základně objímky libely.

Libely, jichž se používá k vyhorizontování nějaké válcové osy, jsou buďto sázeční (obr. 369.) nebo závěsné. K horizontování rovných ploch slouží stolové libely (obr. 363.), u kterých je objímka upevněna na pravítku, jehož dolní plocha je přesně vybrušena. Pro všechny jmenované libely platí podmínka rektifikace: Osa libely musí být rovnoběžná s rovinou dosedací. Skoro u všech geodetických přístrojů a u mnoha měřicích přístrojů fyzikálních jsou libely, které jsou pevně spojeny se součástkami přístroje (u teodolitů s dalekohledem, s výškovým kruhem a pod.). Rektifikační podmínky pro tyto případy jsou vyjmenovány v příslušných kapitolách. Dvě kolmo k sobě uložené libely a pevně navzájem spojené nazýváme *křížovou libelou* (obr. 370.). Slouží k podobným účelům jako krabicové libely.



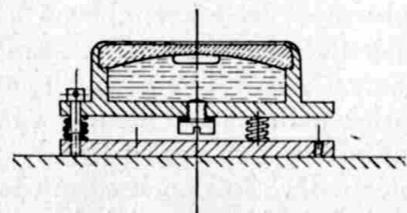
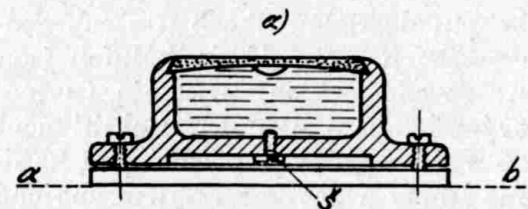
Obr. 369. Sázeční libela.



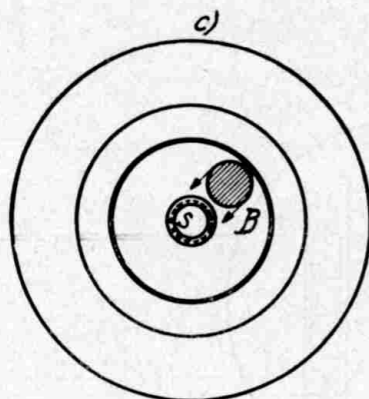
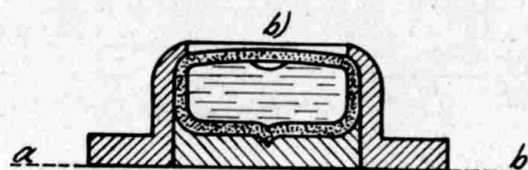
Obr. 370. Křížová libela.

Krabicové libely nedosahují nikdy přesnosti a neposkytují nikdy takové možnosti správného odečtení, jako libely trubcové. Svoji úpravou nahrazují však při méně přesných měřeních křížové libely. Krabicová libela je skleněná nádobka válcového tvaru,

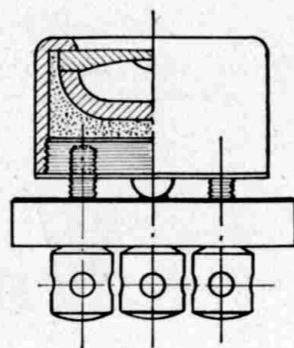
uzavřená skleněným víčkem na vnitřní straně kulově vybroušeným (obr. 371.). V tom případě je zhotovena ze dvou kusů. Víčko bývá předem vybroušeno a pak nataveno na spodní část libely, která je opatřena tenkou trubičkou. V obou případech se takové libely plní stejně jako trubicové libely a trubička se pak zataví. Krabicové libely tmelené nejsou vždy naprosto těsné. Tekutina se vypařuje tmeleným okrajem, což se nedá na delší dobu nikdy s absolutní zárukou vyloučiti.



Obr. 372. Rektifikační zařízení krabicové libely.



Obr. 371. Krabicové libely.



Obr. 373. Rektifikační zařízení krabicové libely.

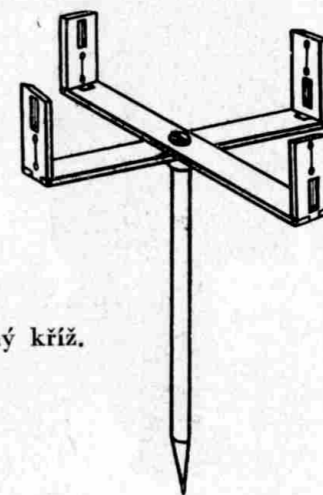
Střed libely je označen vyleptaným kroužkem, jehož průměr je stejný nebo o něco větší než průměr bubliny. Někdy jsou na libele dva kroužky, z nichž jeden je menší a druhý větší než bublina. V tom případě je možno libelu vyhorizontovati přesněji. Krabicové libely jsou méně přesné než trubicové ze dvou příčin: Předně celý obvod bubliny je ovlivňován přilnavostí ke sklu, kdežto

u trubicových libel přilnavost působí ve směru měření pouze na koncích bubliny; dále je u krabicové libely vyloučeno pozorovati bublinu se strany jako u trubicové libely a tímto odstraniti chybu v odečtení způsobenou paralaxou.

Krabicové libely jsou též v kovových objímkách, které jsou s příslušnou součástkou měřicího přístroje spojeny třemi rektifikačními šrouby (obr. 372. a 373.) nebo jsou spojeny se základní plochou, slouží-li podobně jako stolové libely.

Pomůcky k vytyčování konstantních úhlů.

Geometr a stavitel potřebují pomůcky k vyměření parcel a objektů způsobem kolmicovým při trasování a k vytyčování obvodů stavebních objektů. Hlavní geometrickou úlohou jest, v daném bodě na dané přímce vztýčiti kolmici a z daného bodu na danou přímku kolmici spustiti. Při tom jest často důležitá vedlejší úloha, totiž na dané přímce nalézt bod bez pomocníka, který je na končném bodu přímky. Přímky při výměrovacích pracích jsou všeobecně označeny trasírkami (výtyčkami), postavenými na koncích přímky.



Obr. 374. Záměrný kříž.

Nejstarší a nejjednodušší, ovšem také nejméně přesný přístroj k vytyčování devadesátistupňových a stoosmdesátistupňových úhlů je *záměrný kříž*.

Záměrný kříž skládá se ze dvou kolmých pravítek mezi sebou spojených, které jsou na koncích opatřeny záměrnými značkami různých tvarů. Nejnovější, částečně ještě používané, záměrné kříže jsou zhotoveny z mosazi a na koncích jsou opatřeny sklápěcími

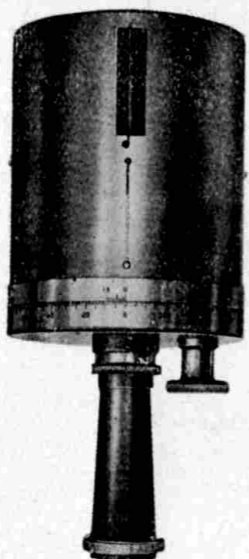
průhledítka. Úzká oční štěrbiná odpovídá vždy na jednom konci vláknu, napjatému v širším okénku na druhém konci právitka a opačně, aby bylo možno zaměřiti také v opačném směru (obr. 374.).

Malý rektifikační pohyb na místě spojení obou pravítek umožňuje nastavití pravý úhel mezi oběma záměrnými směry. Přístroj se používá na jednoduchém čepovém nebo tyčovém stativu.

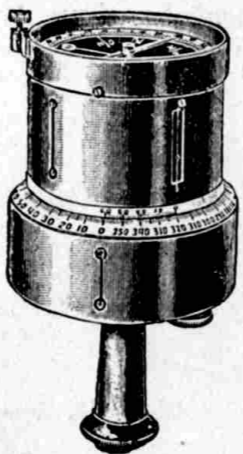
Úhlová hlavice se používá ještě dnes často při vytyčování. Je to vlastně záměrný kříž v uzavřenějším tvaru. Skládá se z kuželovitého, válcovitého neb osmihranného dutého kovového tělesa, na kterém jsou umístěny štěrbiný a vlákna podobně jako u záměrného kříže. Kromě průhledítek kolmo na sobě stojících jest úhlová hlavice nejčastěji opatřena ještě průhledítky, které svírají 45° úhel. Úhlová hlavice je upevněna na čepovém nebo tyčovém stativu a je někdy opatřena krabicovou libelou, aby její osa stála při měření co možná svisle. Při dokonalejším provedení jest přístroj opatřen pastorkem pro horizontální pohyb (obr. 375.).



Obr. 375a.
Úhlová hlavice.



Obr. 375b. Úhlová hlavice
s děleným kruhem.



Obr. 376. Úhlová hlavice
s busolou.

Je-li k úhlové hlavici připojen jednoduchý horizontální kruh s noniem, pak představuje nejjednodušší přístroj k měření libovolných horizontálních úhlů. V případě, že se klade důraz na orientování vyměřeného plánu, používá se úhlové hlavice s malou busolou (obr. 376.).

O přesnosti měření pouhým okem. V kapitole o rozlišovací schopnosti oka bylo řečeno, že normální oko rozezná od sebe dva body, když se mu tyto jeví pod úhlem větším než 1'.

U shora popsaných průhledítek závisí přesnost měření na šířce a čistotě štěrbiný. Při příliš široké štěrbině jsou těžkosti při akomodaci oka na vlákno, které je blízko, a na cíl, který je daleko. Příliš úzké štěrbiný odcloní sice dostatečně svazek paprsků padajících do oka, aby cíl a vlákno bylo viděti bez paralaxy, ale obraz je tmavý a rušen ohybem světla. Správná šířka jest přibližně 0.3 mm a dá se zjistiti nejlépe pokusem.

Z před tím uvedené úhlové rozlišovací schopnosti oka dá se odvoditi skutečnost, že v normální vzdálenosti pozorování můžeme rozeznati úsek 0.05 mm.

Úhlové zrcátko. Až dosud uvedené přístroje měly tu zvláštnost, že při používání musely býti v klidu drženy neb postaveny. Tato



Obr. 377. Úhlové zrcátko.

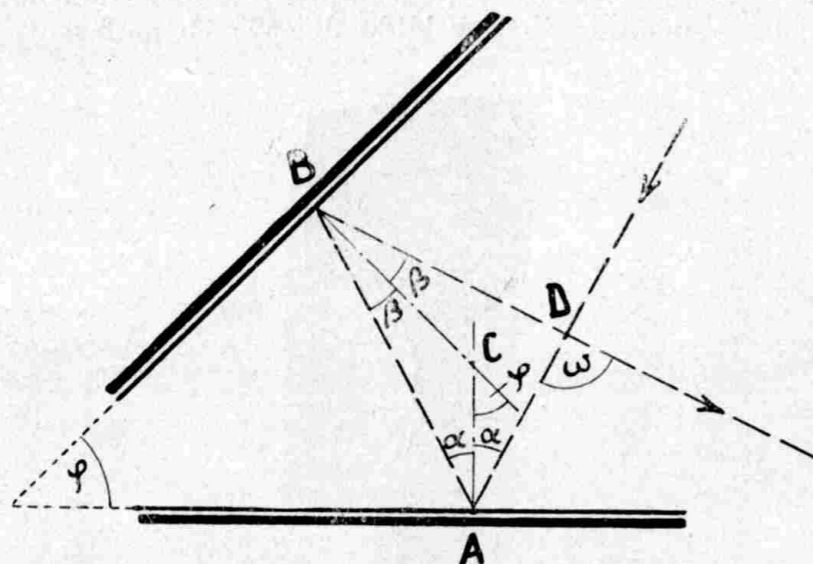
vlastnost ztěžuje hlavně provedení úlohy spuštění kolmice, protože se musí přístrojem tak dlouho pohybovati, až je nalezena pata. Tuto nepříjemnou vlastnost nemají úhlová zrcátka a hranoly. Visury těmito přístroji nereagují na otáčení přístroje v ruce pozorovatelově a na šikmé postavení reaguje obraz také jen tím, že se postaví šikmo, ale neodchyluje se na stranu.

Úhlové zrcátko skládá se z kovového pouzdra, které má za půdorys sektor a jehož stěna je v horní polovině opatřena dvěma

okénky, která dovolují přímý průhled. Na spodní polovině stěny jsou upevněna zrcátka, která spolu svírají 45° úhel. Abýchom mohli justovati (nastaviti) přesně tento úhel, můžeme skloniti jedno zrcátko pomocí rektifikačních šroubů (obr. 377.).

Když směr odrazu nemá reagovati na otočení úhlového zrcátka v ruce pozorovatelově, nesmí býti úhel odrazu závislý na úhlu dopadu (obr. 378.). Příklad tohoto provedení je vysvětlen v kapitole o zrcadlech (zrcadlo na 45°).

Zrcadlový kříž skládá se ze dvou zrcátek na sobě kolmo v pouzdře umístěných. Přístroj slouží k vyhledávání bodů na přímce, jejíž konce jsou označeny trasírkami. Přístroj velikého praktického významu nemá a jest dnes skoro úplně zatlačen níže popsanými dvojitými úhlovými zrcátky.

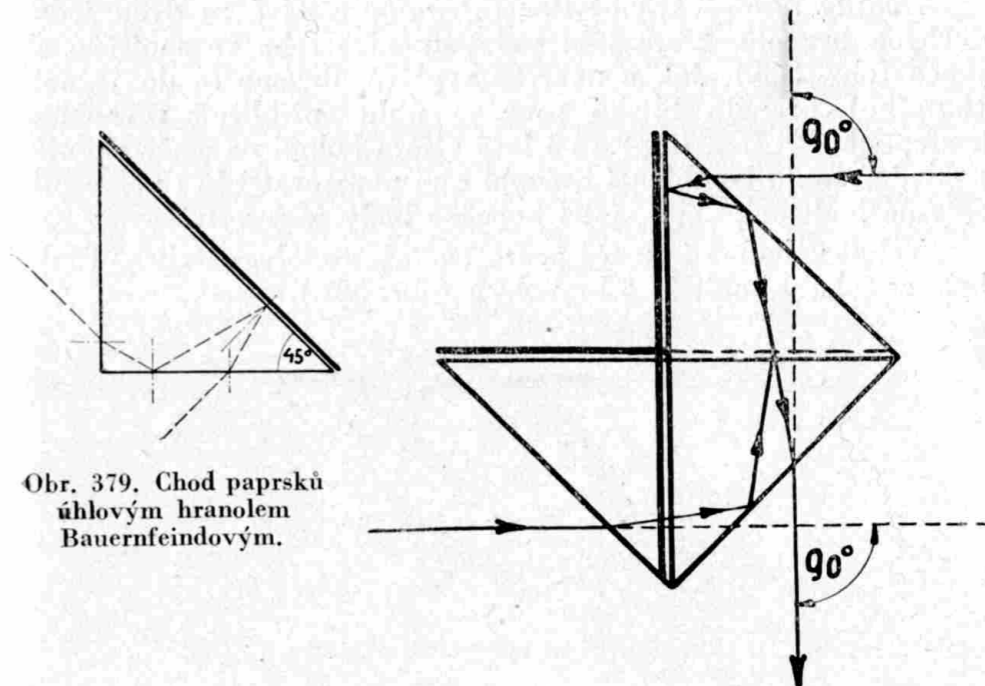


Obr. 378. Chod paprsků v úhlovém zrcátku.

Úhlové hranoly mají proti úhlovým zrcadlům tu výhodu, že nemusí býti nikdy rektifikovány. Mimo to jsou při stejném výkonu menší a dají světlejší obraz. Hranoly Hensoldtovy a Wollastonovy mají kromě toho tu výhodu, že nemají postříbřené plochy, při čemž úchylnka světelných paprsků se děje několikerým totálním odrazem.

Úhlový hranol Bauernfeindův má za průřez pravouhlý rovnoarmenný trojúhelník. Přeponová plocha musí býti postříbřena, protože paprsky na ní příkře dopadají (obr. 379.). Bauernfeindův úhlový hranol dává jen tehdy klidný obraz, když se díváme při-

blízně kolmo na přeponu v blízkosti 45° úhlu neb blízko pravého úhlu přibližně rovnoběžně k přeponě. V ostatních dvou případech pohybuje se obraz při otáčení hranolem v ruce. Bohužel je klidný obraz i při dokonalém postříbření přepony o něco tmavší, než obraz pohyblivý. Šířka pohyblivého obrazu jest mimo to větší než obrazu klidného. Oxyduje-li časem stříbro, ztratí se klidný obraz skoro úplně. Přes tyto nevýhody jest Bauernfeindův úhlový hranol velmi rozšířen, protože je laciný. Toleranci pro úhel odrazu můžeme stanoviti hodnotou $1'$. Dá se matematicky dokázati, že je při tom nutno dodržeti přesnost $20''$ pro 90° a 45° úhel; přesnost, kterou nelze bez těžkosti dokázati. Při výrobě se musí dále dbáti na to, aby byly průsečnice hranolových ploch k sobě rovnoběžné (Pyramidová chyba).



Obr. 379. Chod paprsků úhlovým hranolem Bauernfeindovým.

Obr. 380. Chod paprsků dvojitým hranolem Bauernfeindovým.

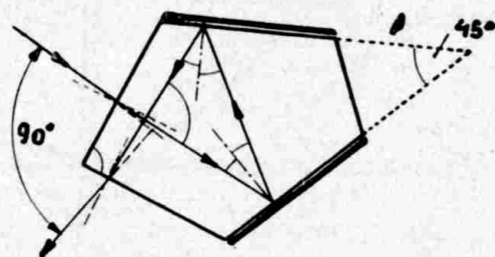
Geometr zkouší v poli přesnost úhlového zrcátka nebo hranolu tím, že dá dopadnouti kolmici na přímku jednou zleva a po druhé zprava. Když takto nalezené paty splývají, je přístroj správný. Při výrobě jsou přístroje ještě lépe zkoušeny v laboratorii a to srovnáváním s přesně vyměřeným pravým úhlem a dvěma přesně k sobě justovanými (našavenými) kolimátory. Pyramidová chyba působí

tak, že kříž kolimátoru se zřetelně zvedne neb postaví šikmo; chyby v 90° a 45° úhlu posunou obraz kříže kolimátoru na stranu.

Objímka hranolu objímá těsně obě plochy trojúhelníkové i stěnu přepony a nekryje plochy odvěsnové. Hranol jest v objímce držen třemi upevňovacími šroubky, elastickým tmelem neb korkovými vložkami. Objímka je opatřena rukojetí s provrtaným spodním koncem, na který lze upevnit olovnici. Velmi praktické jsou objímky válcové s výřezem, který odkrývá odvěsnové stěny hranolu. Tyto objímky mají kryt otáčivý, kterým můžeme je úplně uzavřít, aby se nepoškodil skleněný hranol. Některé úhlové hranoly dají se upevnit na tyčovém stativu s krabicovou libelou. Tyčový stativ má při práci různé výhody, zvláště, že se neunavuje tolik ruka pozorovatelova.

Dvojitý úhlový hranol Bauernfeindův sestává ze dvou jednoduchých hranolů, které jsou položeny přes sebe ve společné objímce (obr. 380.). Jak z nákresu vyplývá, díváme se do jednoho (horního) hranolu blízko pravého úhlu přibližně rovnoběžně k přeponě. Při tom je pravá i levá visura kolmá na směr přímého pohledu. Touto kombinací hranolů sám pozorovatel bez pomocníka nalezne bod na přímce, jejíž konečné body jsou vytyčeny.

Velmi výhodné jsou též *pentagonální hranoly*, o jejichž funkci byla zmínka v kapitole o hranolech (obr. 381.).

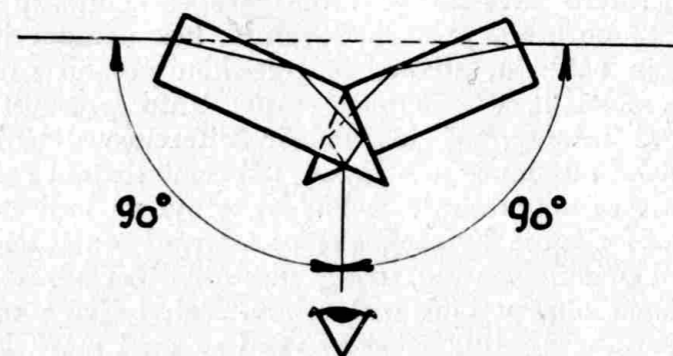


Obr. 381. Chod paprsků v pentagonu.

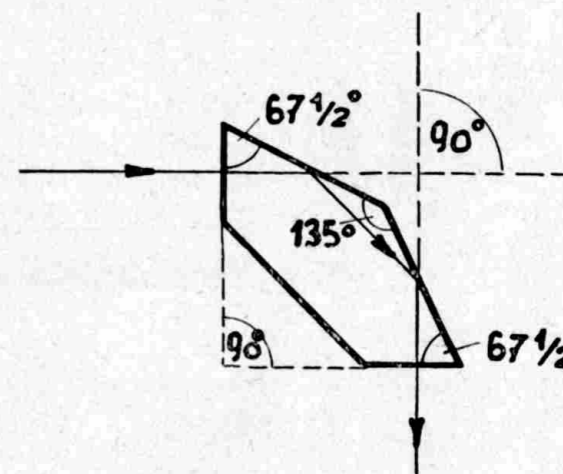
Úhlový hranol Hensoldtův nemá postříbřené plochy a neztrácí na jakosti i po dlouholetém používání. Protože odchylná světelných paprsků se děje několikerou totální reflekcí, jest obraz jasnější než u hranolů postříbřených. Hensoldtův hranol má však o 1 úhel více, jehož přesnost musí být dodržena a z těchto důvodů je značně dražší, než hranol Bauernfeindův.

Hensoldtovy úhlové hranoly se používají nejvíce v dvojité kombinaci. Pouzdro na ně jest však složitějšího tvaru. Jsou v něm (obr. 382.) hranoly tak uloženy, že tupé úhly přijdou nad sebe a

rovnoběžné stěny jednoho hranolu s rovnoběžnými stěnami hranolu druhého tvoří takový úhel, který je nejvýhodnější pro odstranění rušících pohyblivých obrazů.



Obr. 382. Chod paprsků Hensoldtovým hranolem.

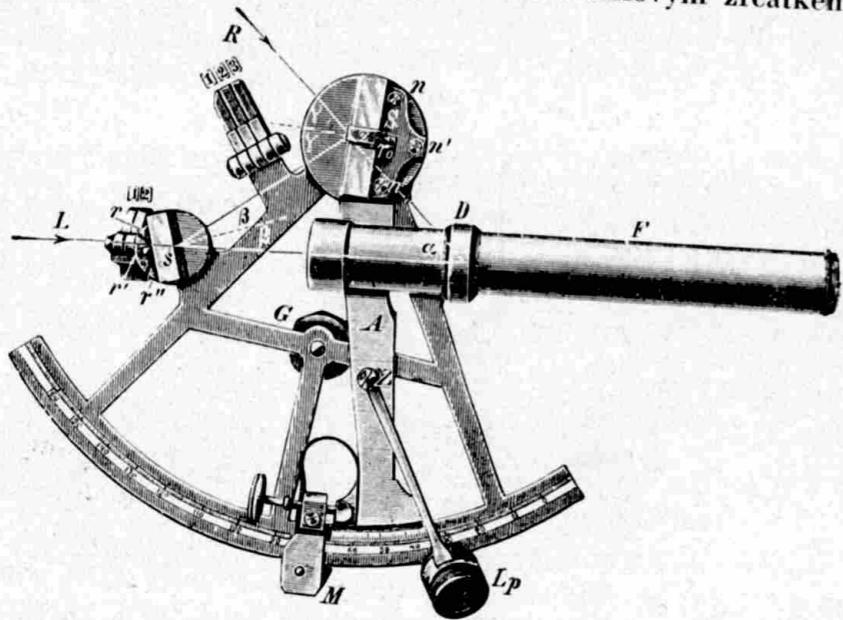


Obr. 383. Chod paprsků hranolem Wollastonovým.

Úhlový hranol Wollastonův je nejmodernějším, ovšem také nejdražším úhlovým hranolem. Jeho úhly jsou $67\frac{1}{2}^\circ$, 135° a $67\frac{1}{2}^\circ$, a dají se při výrobě kontrolovati běžnými skleněnými kalibry. Zorné pole tohoto hranolu je široké a jasné, poněvadž nejsou stěny postříbřeny, takže můžeme říci, že Wollastonův hranol v sobě spojuje výhody pentagonu a Hensoldtova hranolu. Kombinace těchto dvou hranolů se nedoporučuje, jelikož celek by byl příliš mohutný a nepohodlný.

Přístroje k měření horizontálních a vertikálních úhlů.

Sextant (obr. 284.). Přístroj k měření úhlů, který zaujímá v některém směru zvláštní postavení, jest sextant. Je to přístroj geografů a námořníků, protože dovoluje, bez pomoci již existujících měřicích základů, zjistiti geografickou polohu místa, ovšem pouze s přesností ± 1 zeměpisné míle. Tato přesnost odpovídá jedné úhlové minutě, což je noniová diference dělení sextantu. Měření vychází od slunce neb hvězd, při čemž sextant se drží volně v ruce. Stativ se nepotřebuje, neboť by nebyl na lodi stejně k potřebě, protože tato se kymácí. Při pozorování sextantem vyhledáme jeden cíl přímou visurou, druhý pak dvojitým odrazem zrcátka, takže spatříme obrazy cílů nad sebou. Pohybujeme noniem tak dlouho, až se obrazy dílů, mezi kterými se úhel měří, kryjí. Malé pohyby při držení sextantu neruší, pokud jenom cíle zůstanou v zorném poli. Relativní poloha obrazů k sobě se nemění točením sextantu; vlastnost, kterou má společnou s úhlovým zrcátkem.



Obr. 384. Sextant.

Sextant se dá vůbec vysvětliti jako úhlové zrcátko s proměnlivým úhlem mezi zrcátky. Jedno zrcátko je pevně spojeno s 60° kruhovým segmentem, opatřeným dělením. Druhé je upevněno na rameni otáčivém kolem osy ve středu kruhu, kterému výšeč přísluší. Na druhém konci ramene je nonius odpovídající dělení.

Měříme tedy vlastně úhel mezi zrcátky, ale číslování dělení segmentu je provedeno tak, že odečteme přímo úhel hledaný. Největší úhel, který sextantem můžeme měřiti, jest 120°.

Jelikož citlivost pouhého lidského oka nevystačí pro přesnější měření sextantem, jsou sextanty lepšího provedení opatřeny slabým dalekohledem. Do dalekohledu vnikají jednak paprsky přímé, vycházející z jednoho cíle a jednak paprsky dvakrát zrcátky odražené, vycházející z druhého cíle. V zorném poli dalekohledu překryjí se oba obrazy, takže je možno velmi přesně pozorovati, jak oba cíle splývají.

Theodolity a podobné přístroje.

Označení »theodolit« vzniklo asi ze třech slov a sice z anglického členu »the«, arabského členu »al« a arabského označení kruhu »hidad«. Slovně přeloženo znamená »ten ten kruh«. Slovo alhidáda zůstane kromě toho jako označení pro kruhovou součástku theodolitu, která je opatřena nonií. Naproti tomu používáme pro dělený horizontální kruh latinského slova »limbus«. V češtině se vžilo slovo *t e o d o l i t* a proto jej budeme nadále používat. Principiální rozdíl mezi theodolitem a sextantem je v tom, že sextantem pozorujeme oba cíle současně a držíme jej volně v ruce, kdežto theodolitem zaměříme na každý cíl zvlášť, takže theodolit musí býti naprosto stabilně postaven. Z toho důvodu patří ke každému theodolitu co možná solidní stabilní stativ.

Různé druhy theodolitů nedají se přesně roztríditi. Mluvíme o triangulačních theodolitech, resp. o theodolitech pro triangulace prvního, druhého a třetího řádu. Rozdíly jsou jenom v přesnosti čtení. Theodolit pro triangulaci prvního řádu musí umožniti měření úhlů nejméně na 2". Triangulační theodolity nemusí míti vertikální kruh, poněvadž vertikální úhly se při triangulaci neměří, ale poněvíc ho mají.

Tachymetrické theodolity neb zkrátka tachymetry jsou přístroje, které se dají používat jak pro triangulaci nižšího řádu, tak pro podrobné vyměření terénu, a k tomu měřicích základů, jako na př. polygonové tahy.

Tachymetrický theodolit musí míti zařízení pro optické měření vzdáleností, sestávající nejčastěji z dalkoměrných vláken v zorném poli dalekohledu. Kromě toho musí každý takový přístroj býti vybaven vertikálním kruhem.

Výraz »tachymetr« se používá ovšem často pro přístroje, speciálně konstruované pro podrobné vyměření terénu (tachymetrie). Takové přístroje značně ulehčují práci a jejich přesnost pro mě-

ření horizontálních a vertikálních úhlů není zbytečně veliká. Auto-redukční tachymetry jsou přístroje takové konstrukce, že jimi odečítáme přímo vodorovnou vzdálenost a výškový rozdíl vyměřeného bodu, bez používání logaritmických tabulek nebo jiných pomůcek počítacích.

Konečně používá se výraz tachymetr pro moderní přesné přístroje, kterými se dají měřiti vzdálenosti tak přesně nebo přesněji, než měřícím pásmem. O těchto přístrojích píšeme ještě ve zvláštní kapitole.

Pod názvem universální teodolity rozumíme přístroje — často s menší přesností — které jsou konstruovány jako tachymetrické teodolity, ale jsou vybaveny libelou na dalekohledu. Takovými přístroji dají se provésti menší nivelační práce. Malá *reversní* libela na dalekohledu teodolitu s vertikálním kruhem má vlastně jiný účel, a to snadnou kontrolu rektifikace indexové chyby a nazývá se z toho důvodu *rektifikační* libela.

Jinak rozdělujeme teodolity podle osového systému. Jednoduché teodolity mají horizontální kruh pevně spojen s třínožkou (obr. 408.) — osový systém jednoduchého teodolitu.

Repetiční teodolity mají dvojitou vertikální osu. Točíme-li zevní — repetiční osou, pak zůstane alhidáda s limbem spojena a točí se s ním společně. Točíme-li vnitřní — alhidádovou osou, pak zůstane limbus státi a alhidáda točí se samotna s dalekohledem (obr. 409.) [osový systém repet. teodolitu].

Teodolit s reiteračním kruhem (t. j. otočným přímo na tulejce, ložisko vert. osy) má sice jednoduchou osu, ale horizontální kruh dá se oproti třínožce sám otočiti buď jenom rukou, nebo tak zv. reiteračním šroubem. Alhidáda zůstane při reiteračním pohybu státi! (Rozdíl mezi reiterací a repeticí.) Veliké triangulační teodolity nemají repetiční osy, poněvadž dvojitá vrstva oleje mezi osami a tulejkou není výhodou pro stabilitu přístroje. Takové přístroje proto často jsou vybaveny reiteračním kruhem.

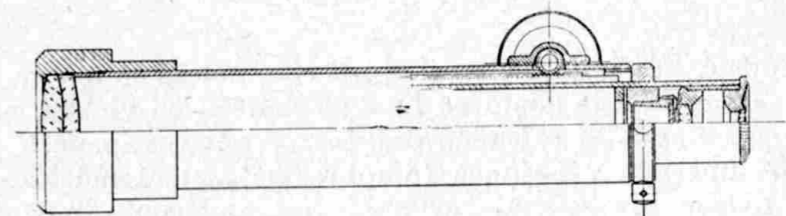
Reiterace je nutna, chceme-li vyměřiti skupinu směrů několikrát, po každé s jinou polohou kruhu. Totéž můžeme docílití repetičním teodolitem, ale mimo to můžeme takovým přístrojem měřiti úhly repetiční metodou, což reiteračním teodolitem nejde. Astronomické teodolity slouží v geodesii hlavně k určení astronomického azimutu (severního směru) pro orientování měření.

Jsou to ponejvíce teodolity mohutných rozměrů a mají v zorném poli dalekohledu několik stejně vzdálených vertikálních vláken pro několikanásobné pozorování průchodu hvězd.

Nejdůležitější součástky teodolitu.

1. Dalekohled.

U geodetických přístrojů používá se skoro bez výjimky astronomický dalekohled, který dává, jak známo, obrácený obraz. Jen v případech, ve kterých je nutna velmi rychlá orientace v okolí cíle, je přímý obraz nutný, čehož docílíme hranolovým zvrtným systémem uvnitř tubusu. Zvětšení dalekohledu řídí se podle přesnosti čtení horizontálního kruhu. V této otázce hraje ovšem stejně důležitou úlohu kvalita optiky a užitečný průměr objektivu.



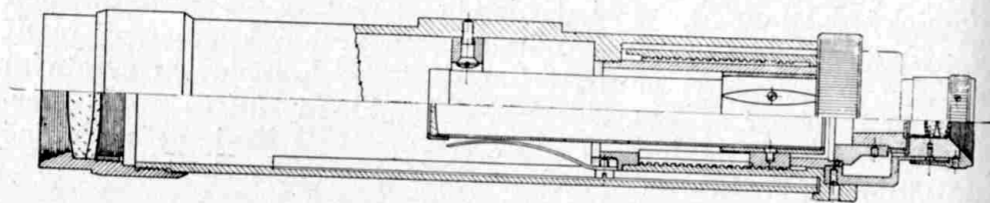
Obr. 385. Starý systém dalekohledu.

Pokud se týče zaostření obrazu (fokusování), rozeznáváme dva typy dalekohledu. Tak zv. starý dalekohled (obr. 385.) se zaostřuje tím, že se záměrná deštička i s okulárem přibližuje nebo vzdaluje od objektivu. Deštička je montována v tubusovém výtahu, který se pohybuje v tubusu pomocí pastorku nebo podobným zařízením.

Výhodou tohoto starého dalekohledu je poměrně jednoduchá optika při dobrém obrazu, nevýhoda však je, že prach a nečistota se dostanou na pohyblivou část dalekohledu, která se časem obrousí. Vedení tubusového výtahu se stane pak nejisté, čímž se také ztratí jistota polohy záměrné osy. Při optickém měření vzdáleností je u starých dalekohledů nutno počítati s tak zv. malou, nebo addiční konstantou.

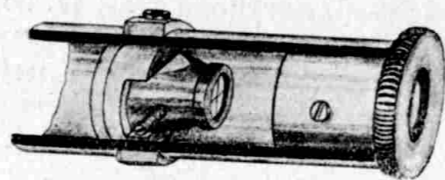
Tak zvaný nový dalekohled (obr. 386.), který je dnes již také dostatečně starý, má konstatní délku tubusu, to znamená, že je záměrná deštička v tubusu pevně montována. Obraz se zaostří fokusovací čočkou, která je uvnitř tubusu pohyblivá, pomocí prsténce nebo kolečka. U starých dalekohledů tohoto typu byla fokusovací čočkou slabá rozptylka, která málo měnila na principu dalekohledu. Dnešními novými dalekohledy je možno addiční konstantu odstraniti, ovšem ne úplně, poněvadž nový dalekohled není s teoretickou přesností analaktický. Odchyly nehrají ovšem praktickou

úlohu. Zvětšení takového dalekohledu se silnou rozptylkou je při krátkém tubusu poměrně veliké. Nový dalekohled je těsný proti vlhkosti a nečistotě. Vedení vodička pro fokusovací čočku je oboustranné a naprosto jisté. Uvedené výhody vykoupíme drahou, těžce korigovatelnou optikou a obrazem, který je při zaostření na kratší vzdálenost horší, než u starého dalekohledu.



Obr. 386. Nový systém dalekohledu.

V rovině, kde objektiv tvoří obraz cíle, nalézá se tak zv. nitkový kříž. Tento kříž je zhotoven buď ze skutečných vláken, nebo je rytý na planparalelní skleněné deštičce. V obou případech je nitkový kříž upevněn v objímce (diaphragma), která má kuželovitý tvar se dvěma broušenými rovnoběžnými plochami, jimiž je objímka vedena ve žlábků kruhové kovové deštičky. Tato deštička má vnitřní průměr tubusu a dá se otočiti pro svislé postavení kříže. Zevně tubusu na místě této deštičky je kroužek, který je s ní spojen připevňovacím šroubem. Šroub je veden prodlouženým otvorem v tubusu a musíme jej uvolnit, chceme-li točiti křížem. Kromě tohoto šroubu na horní nebo spodní straně tubusu jsou v kroužku nalevo i napravo rektifikační šrouby nitkového kříže, které drží svými hroty diaphragma na kuželovitých plochách, čímž tlačí diaphragma proti vedoucí deštičce (obr. 387.).

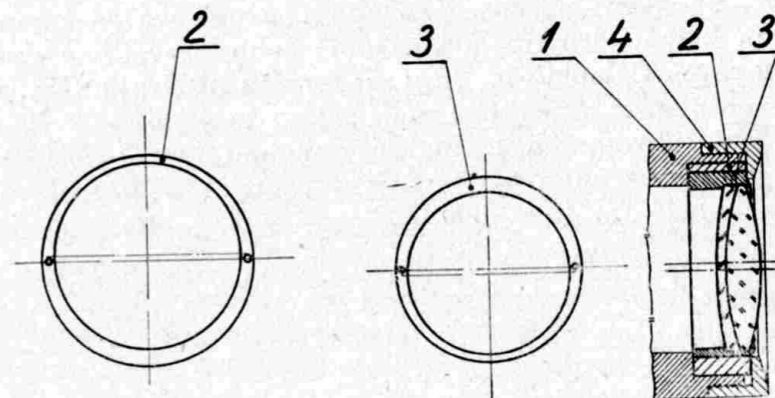


Obr. 387. Tubusový výtah s diaphragmem pro nitkový kříž a okulárem.

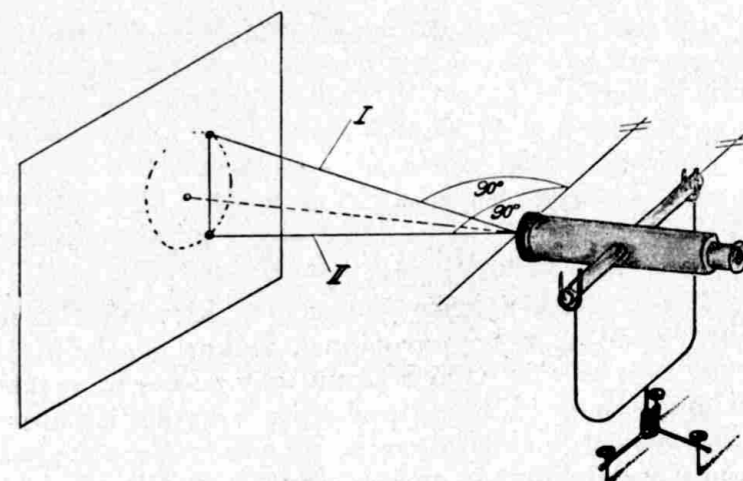
Tím jsme popsali ovšem jenom nejběžnější způsob upevnění nitkového kříže. U starších teodolitů najdeme diaphragma drženo vždy dvěma páry navzájem kolmých šroubů, umožňujících posun kříže ve vertikálním a horizontálním směru. Posun ve směru vertikálním měl u teodolitů starší konstrukce za účel rektifikovati indexovou chybu, kterou u skoro všech dnešních konstrukcí odstraníme jiným způsobem. Dá-li se rektifikovati kolimační chyba teo-

dolitu excentricky uloženým objektivem (obr. 388.), může býti kříž až na možnost otáčení pevně montován.

V tom případě je objektiv zasazen v mírně excentrické objímce a je otáčivý v předním konci tubusu. Při otáčení objektivů kolem dokola pohybuje se záměrná osa dalekohledu na kuželovém plášti, takže je vždycky možno najíti dvě polohy I. a II. záměrné osy kolmé na horizontální točnou osu teodolitu. Ovšem nesmí býti kolimační chyba větší než hlavní řez kuželem, čehož docílíme



Obr. 388. Objektiv uložený v excentru.

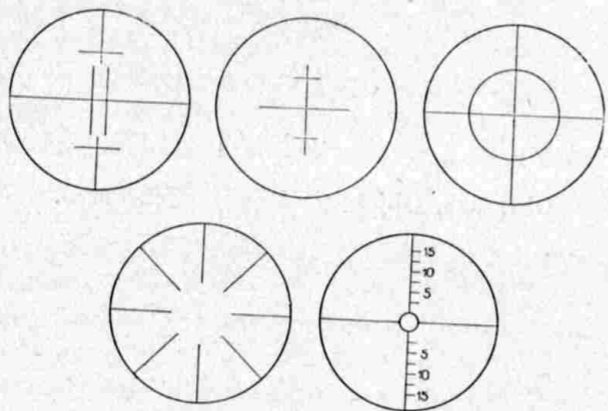


Obr. 389. Schema rektifikace pomocí excentricky uloženého objektivu.

snadno pečlivým mechanickým provedením. Excentricita objektivu nesmí býti příliš veliká, jinak reaguje poloha záměrné osy příliš mnoho na nejmenší posun objímky objektivu, což velmi ztěžuje rektifikaci. Firma Zeiss používala u fotogrametrického teodolitu slabě klínovou, malým šnekem otáčivou desku před objektivem pro

rektifikaci kolimační chyby. Tímto zařízením je možno odstraniti kolimační chybu s přesností $1/10''$. Nevýhoda tohoto zařízení je dodatečná ztráta světla dvěma odrážejícími plochami klínu. Excentr objektivu musí býti samozřejmě pro rektifikaci zadržen připevňovacím šroubkem nebo podobně.

Záměrný kříž, zhotovený ze skutečných vláken, má tři výhody. Neztrácí se světlo odrazem jako u skleněné deštičky, nedrží se prach a podobná nečistota v zorném poli a ohyb světla jest slabší, než u rytého kříže. Naproti tomu je takový kříž velmi choulostivý vůči mechanickému poškození, vlákna pavučinová se časem vytahnou, jsou křivá a roztřepaná. Kromě toho provádíme dnes ryté kříže s takovou dokonalostí, že u moderních přístrojů vlákna skoro vůbec nenajdeme. Ryté kříže mají mimo to ještě tu výhodu, že mohou býti libovolného tvaru. Čáry mohou uvnitř zorného pole končiti, deštičky mohou býti opatřeny centrickým kroužkem, stupnicemi a číslováním (obr. 390.).



Obr. 390. Různé záměrné kříže.

Materiál pro nitkové kříže jsou slabá, skleněná vlákna, velmi slabé stříbrné drátky, nebo pavučinová vlákna. Poslední jsou sice nejslabší, ale nejvíce náchylná k tomu, aby se časem vytáhla.

Na skleněných deštičkách jsou kříže vyryté diamantem nebo leptané fluorovodíkem. Kříže ryté diamantem jsou velmi slabé, stejnoměrné a v dalekohledu pěkně černé. Komplikovanější záměrné deštičky musí býti leptány. Při leptání je nutno počítati že se určitá část deštiček nepodaří. Čárky a čísla jsou napřed rytá pantografem nebo dělicím strojkem do vosku nebo speciálního laku a potom plynem fluorovodíku leptány. Čárky nejsou někdy dostatečně černé a musí býti zvláštní látkou zapuštěny. Tato látka může býti volena tak, že čárky při osvětlení deštičky se strany svítí. Takové deštičky používáme, chceme-li měřiti teodolitem také v noci.

Velmi pěkné a libovolně komplikované záměrné deštičky dají se také vyrobiti fotografickým způsobem. Ovšem musí býti řečeno, že při dnešním stavu zkušeností počet nepodařených kusů je veliký. Fotografická vrstva s křížem by sama vlivům vlhkosti podlehla a proto musí býti kryta druhou, přitmelenou broušenou deštičkou.

Pracujeme-li na slunci s přístrojem, jehož dalekohled je opatřen záměrnou deštičkou fotografovanou, nutno dbáti toho, abychom nikdy nenatočili objektiv dalekohledu proti slunci, neboť v okamžiku, kdy dopadají sluneční paprsky na objektiv, fotografická emulze záměrné deštičky se zničí, jelikož tato nachází se v ohnisku objektivu.

Jako okuláru dalekohledu používáme dnes bez výjimky různé modifikace Ramsdenova typu, u kterých je ohnisko na straně nitkového kříže mimo optický systém. U starých teodolitů najdeme ještě Huyghensovy okuláry, u nichž je nitkový kříž mezi oběma čočkami okuláru. Ramsdenův okulár je oproti nitkovému kříži ± 5 dptr. pohyblivý, aby bylo každému oku možno zaostřiti nitkový kříž. Buď jest okulár do zadního konce tubusu zašroubován jednoduchým nebo více pramenným závitem, nebo je zastrčen a veden šroubkem, který se pohybuje v šikmém zářezu tubusového konce. Tento zářez je potom krytý zevním pouzdrém, jež může býti opatřeno dioptrickým dělením, kterému odpovídá zářez na tubusovém konci jako index.

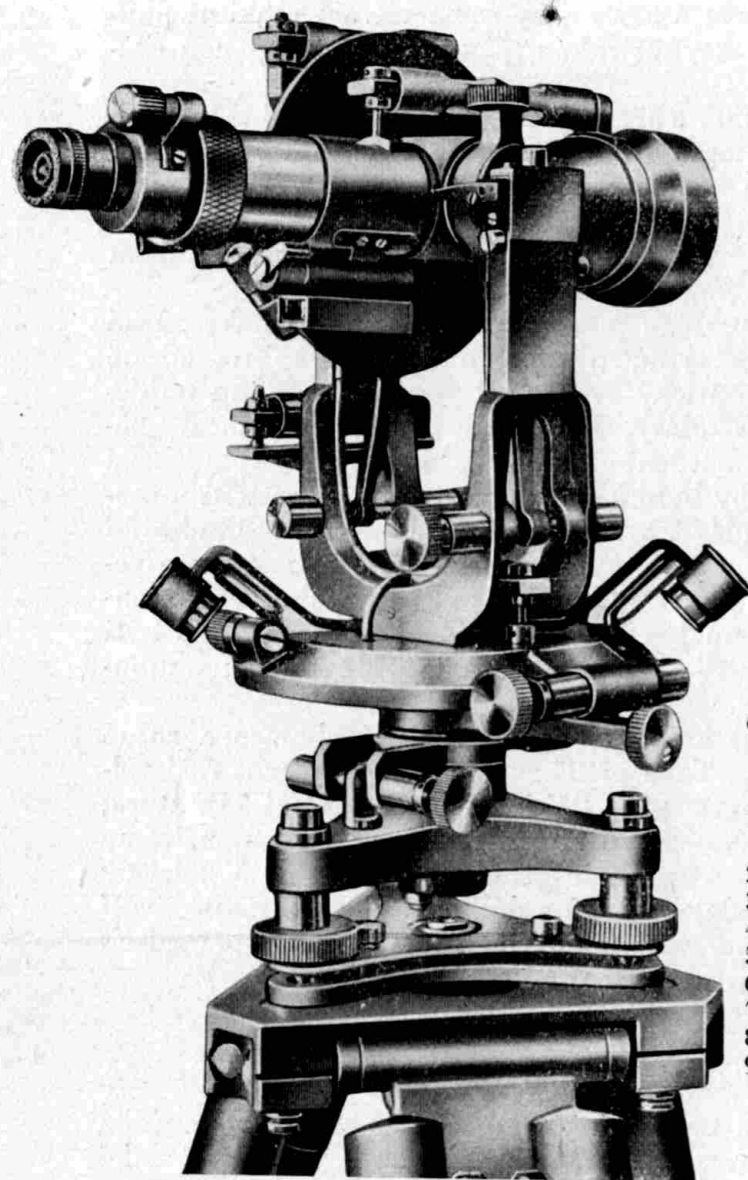
U okuláru má býti korigována chromatická aberace a zorné pole má býti vyrovnáno. Také příliš značný astigmatismus ruší velmi při pozorování. Protože při větších nárocích nestačí korektura, která je možná u jednoduchého Ramsdenova okuláru, používáme často takové systémy, u kterých je očníce, nebo očníce a kolektiv achromatické čočky. U dalekohledů s dálkoměrnou konstantou ruší nejvíce zkreslení obrazu, při odhadování lati. V těch případech používáme nejvýhodněji okuláry ortoskopické (Kellnerovy).

2. Nosič dalekohledu. (Obr. 391.)

U největšího počtu teodolitů je dalekohled centricky umístěn a dá se prokládati. Přírozený tvar nosiče je v těch případech velké U a točná osa dalekohledu je více méně k němu symetrická. Ložiska osy jsou výřezy na horních koncích nosiče, v horní polovině jsou výřezy svislé a dole pod 45° skloněné (obr. 392.).

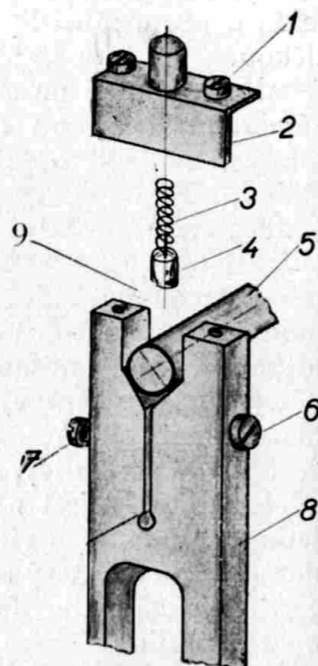
Tyto plochy skloněné jsou vlastními plochami ložiskovými pro točnou osu a jsou trochu vyklenuté. Tím je osa uložena jenom ve dvou bodech. Aby osa se nemohla pozvednouti, jsou její konce často tlačeny do ložisek pérujícími kolíčky, působícími shora.

Pro rektifikaci točné chyby osy (splnění podmínky: točná osa dalekohledu musí býti kolmá na vertikální osu) končí skloněné plochy jednoho ložiska ve vertikálním zárezu nosiče, který se dá šrouby



Obr. 391. Repetiční noniový teodolit s nočním osvětlováním,

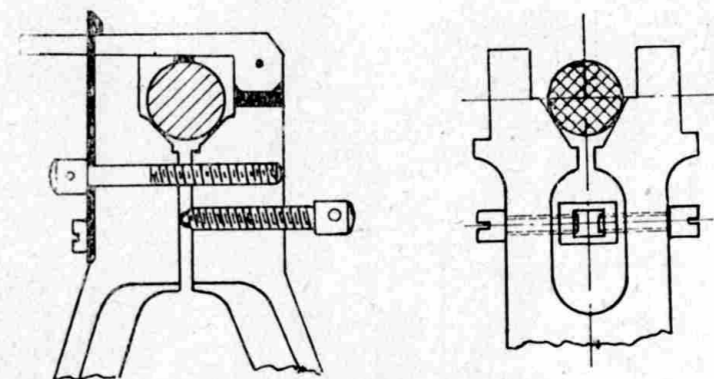
rozšířiti nebo zúžiti, čímž můžeme zvednouti nebo snížití jeden konec osy. Tento zárez může býti také horizontálně veden pod ložiskem; konstrukce, kterou nedoporučujeme.



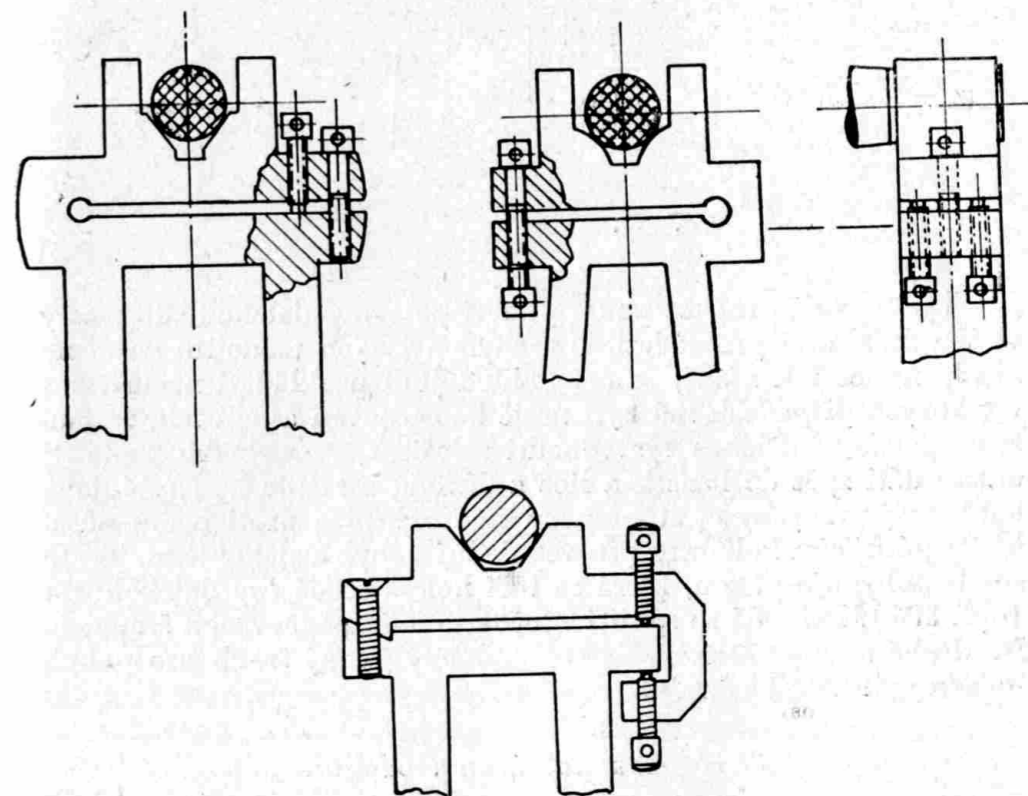
Obr. 392. Rektifikovatelné ložisko horizontální osy.

1. Připevňovací šroub ložiska krytu.
2. Kryt ložiska.
3. Zpružina.
4. Přitlačující kolíček.
5. Horizontální osa.
6. Táhnoucí rektif. šroub.
7. Tlačící rektif. šroub.
8. Nosič.
9. Výřez.

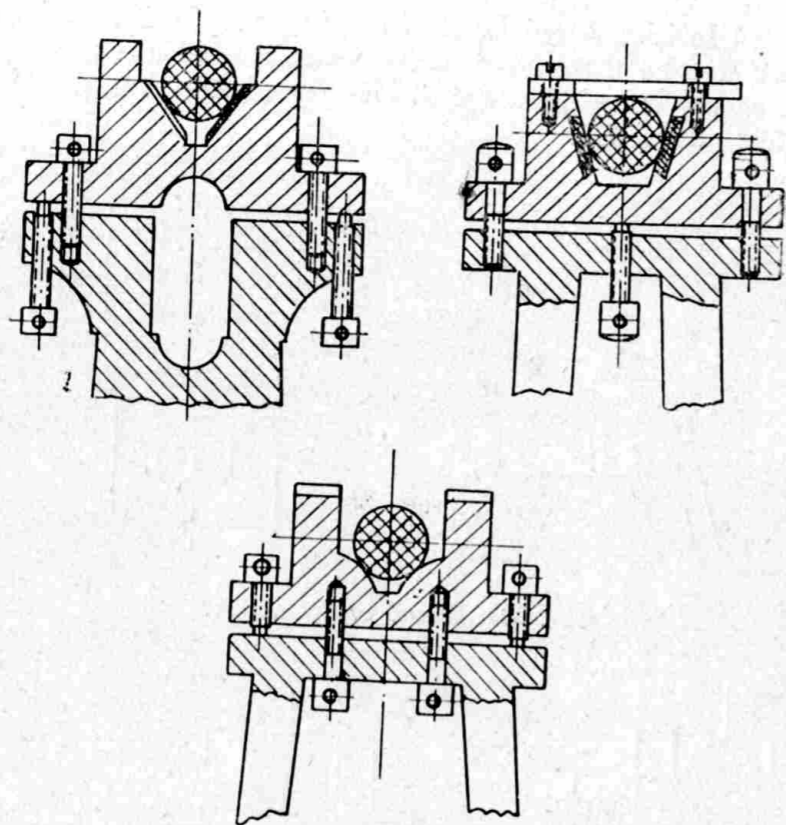
Válcová ložiska, která konce os úplně obepínají se také nedoporučují z toho důvodu, protože při rektifikačním pohybu jednoho konce osy se může vzepříti. Ukázky uložení horizontální osy na obr. 393., 394., 395.



Obr. 393. Různé tvary ložisek.



Obr. 394. Různé tvary ložisek,

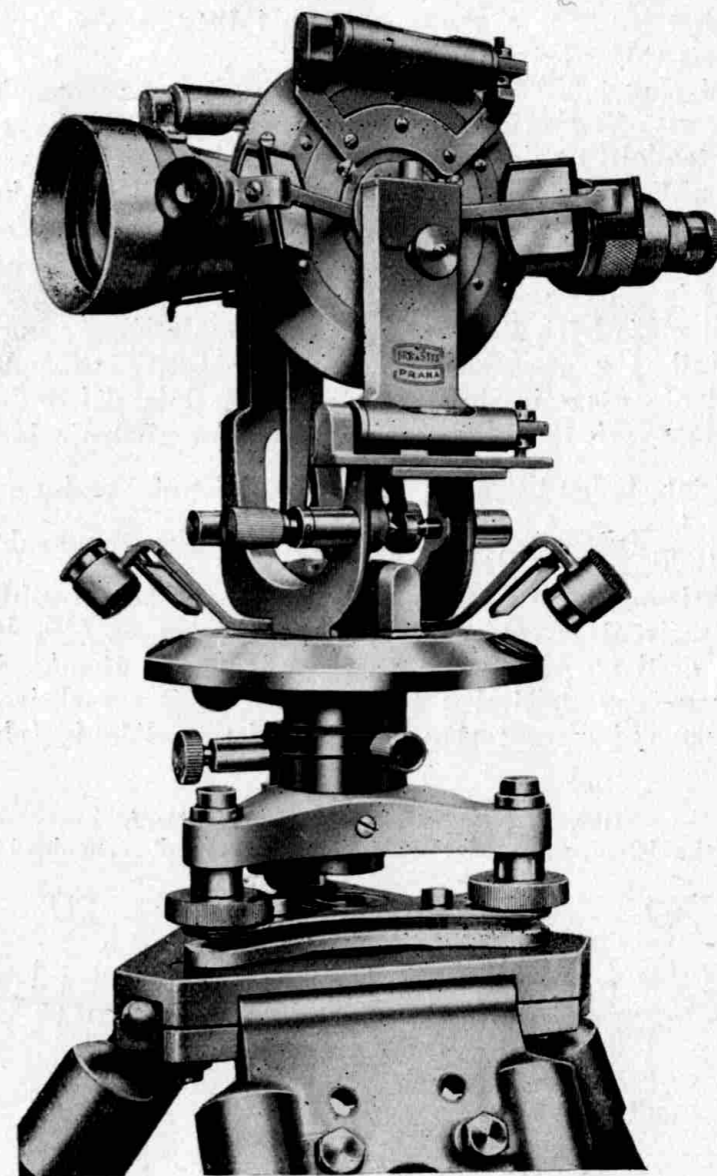


Obr. 395. Různé tvary ložisek.

Výška nosiče řídí se podle přední poloviny dalekohledu, který se jím musí dáti prokládati. U tachymetrických teodolitů najdeme někdy nosiče tak nízké, že dalekohled jimi prokládati nemůžeme; v takových případech má býti nosič konstruován aspoň tak, že můžeme dalekohled lehce vyzvednouti z ložisek, ve vzduchu proložit a zase dáti zpět do ložisek a sice z důvodu rektifikace. Nosič dalekohledu je vždycky opatřen jemným šroubem a proti němu působícím pérujícím kolíčkem pro vertikální pohyb dalekohledu. Tento šroub pohybuje pákou, která se točí kolem točné osy dalekohledu (obr. 396.). Páka dá se spojití s točnou osou upevňovacím šroubem. Na druhé straně nosiče nalézá se podobný jemný šroub pro pohyb indexu vertikálního kruhu.

3. Horizontální kruh teodolitu.

Horizontální kruh je, jak uvedeno, spojen s podstavcem teodolitu nebo s dutou repetiční osou, která je potom současně tulej-



Obr. 396. Repetiční noniový teodolit.

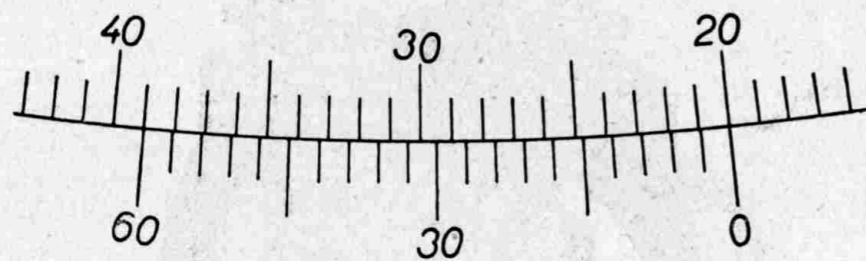
kou pro alhidádovou osu. U lacinějších přístrojů není kruh krytý, což obzvláště nedoporučujeme, je-li dělení provedeno ve stříbře. Tvrdší kovy, jako nikl, nebo pakfong, vzdorují více vlivům povětrnosti a prachu, ale není možno jemné dělení na nich s úspěchem provést. Je-li kruh krytý, musí býti okénka pro odečtení hermeticky zasklena, jenom u mikroskopických teodolitů může býti

otvor pod mikroskopem volný, není-li veliká mezera mezi mikroskopem a krytem. To je proto, poněvadž čistiti krytý kruh znamená rozebrati celý přístroj.

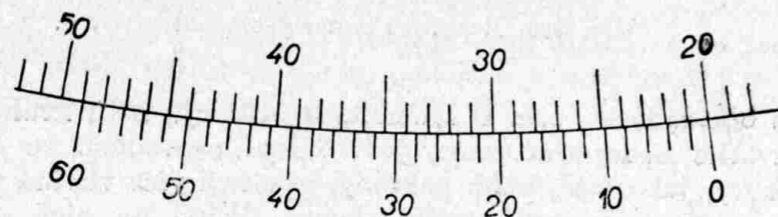
Dělení však může býti přímo v kovu kruhu. U lepších přístrojů je však zapuštěn stříbrný pásek, v kterém je dělení vyryto. Jedná-li se o teodolit noniový, musí míti stříbrný pásek přesně vytočený okraj, a dělení musí až k němu dosahovati. U mikroskopických teodolitů může býti stříbrný pásek ohraničen základním kovem kruhu; pásek může býti zapuštěn do rovné neb zkosené plochy kruhu, což je velikou výhodou.

Dělení může býti dle systému sexagesimálního ($^{\circ}$, stupně) neb centesimálního (g, grady). U speciálních přístrojů provádí se také někdy dělení sexagesimální, ale stupeň je dále dělen decimálně, jako u balonových teodolitů. Vojenské měřicí přístroje jsou děleny na dílce (dc). Jeden dílec je $\frac{1}{6400}$ celého obvodu kruhu a rovná se přibližně $\frac{1}{1000}$ (přesně $\frac{1}{1018,6}$) obvodu jednotkového kruhu. Podle obvodu horizontálního kruhu, podle přesnosti čtení a vzhledem na odečítání zařízení je celý stupeň ještě rozdělen na $\frac{1}{2}^{\circ}$, $\frac{1}{3}^{\circ}$, nebo $\frac{1}{6}^{\circ}$, celý grad na $\frac{1}{2}$ g, nebo na $\frac{1}{5}$ g. Celky a zlomky jsou přehledně naznačeny delšími a kratšími čárkami, respektive číslováním, což označujeme výrazem »charakteristika dělení« (obr. 397.).

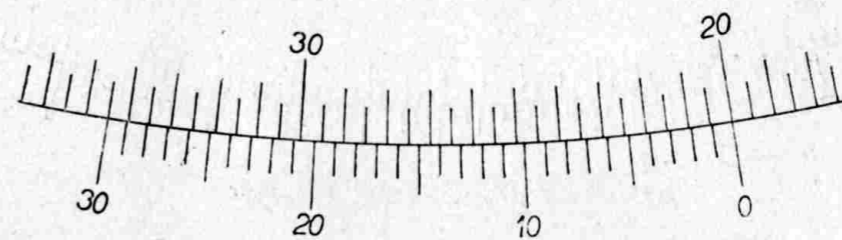
Obr. 397. Různé charakteristiky dělení.
(D ... jednotka dělení, n ... počet noniových intervalů, d' ... noniová diference.)



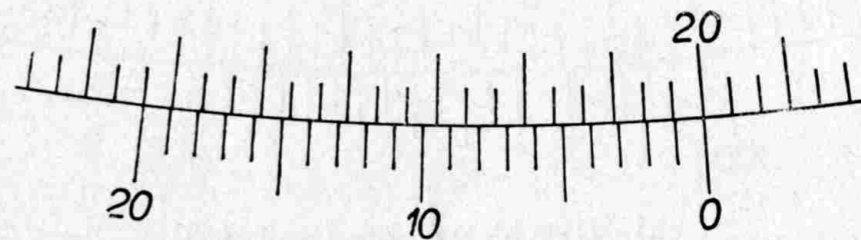
a) $D = 1^{\circ}$, $n = 20$, $d = 3'$



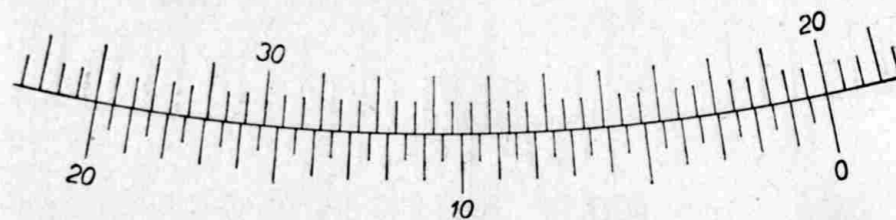
b) $D = 1^{\circ}$, $n = 30$, $d = 2'$



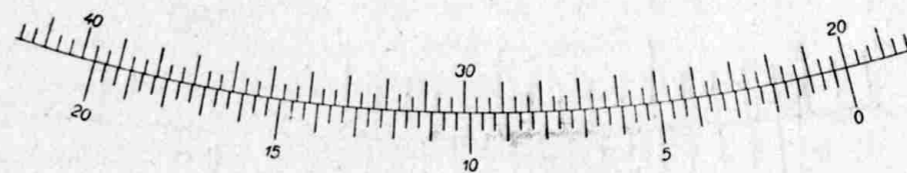
c) $D = 30'$, $n = 30$, $d = 1'$



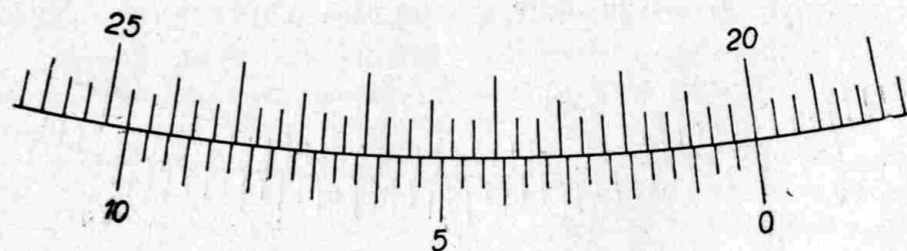
d) $D = 20'$, $n = 20$, $d = 1'$



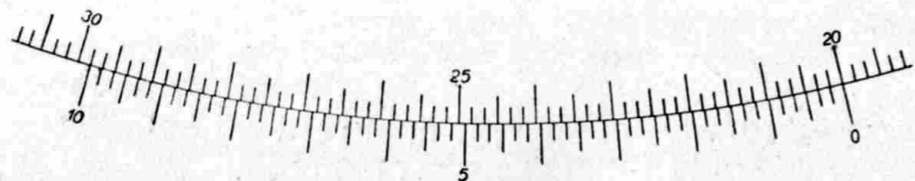
e) $D = 20'$, $n = 40$, $d = 30''$



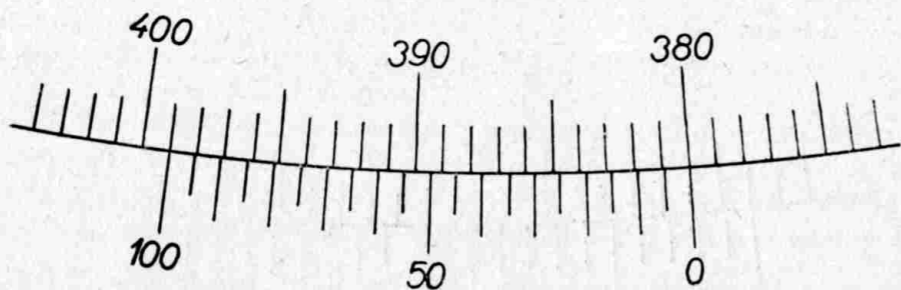
f) $D = 20'$, $n = 60$, $d = 20''$



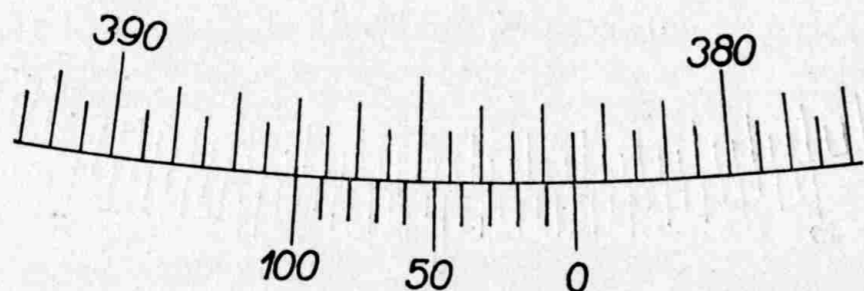
g) $D = 10'$, $n = 30$, $d = 20''$



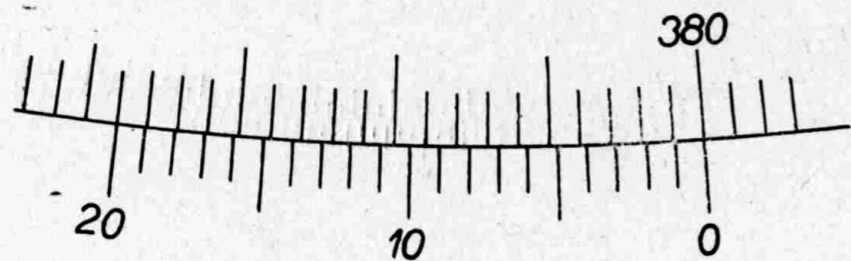
h) $D = 10'$, $n = 60$, $d = 10''$



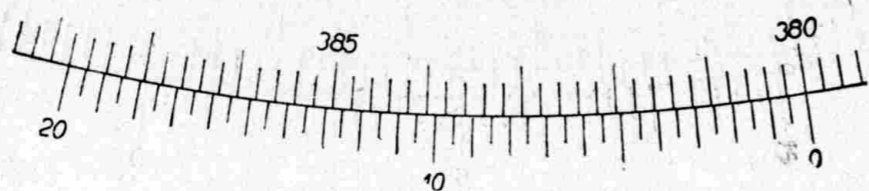
ch) $D = 1g$, $n = 20$, $d = 0.05g \ 5'$



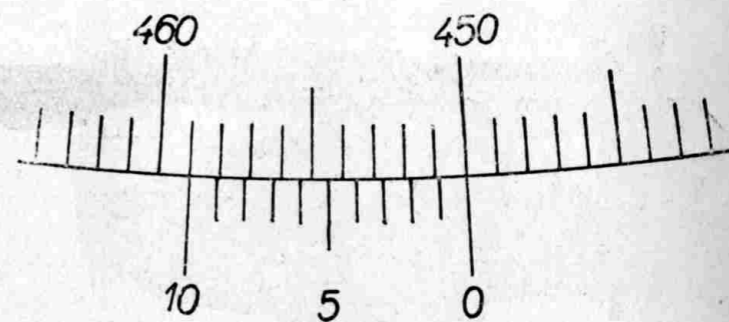
i) $D = 0.5g = 50'$, $n = 10$, $d = 0.05g = 5'$



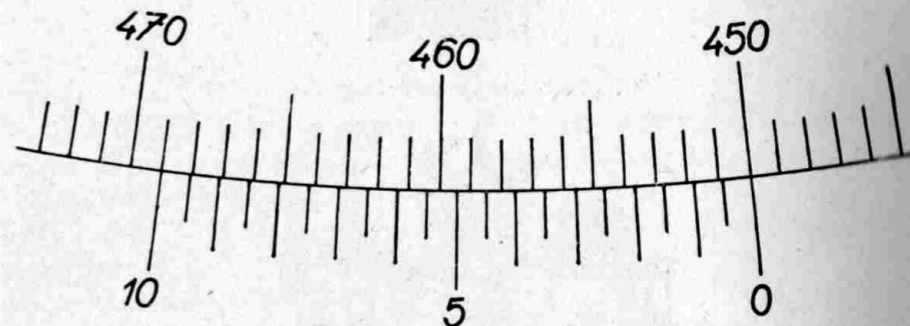
j) $D = 0.2g = 20'$, $n = 20$, $d = 0.01g = 1'$



k) $D = 0.2g = 20'$, $n = 40$, $d = 0.005g = 50''$



l) $D = 10 \text{ dc}$, $n = 10$, $d = 1 \text{ dc}$

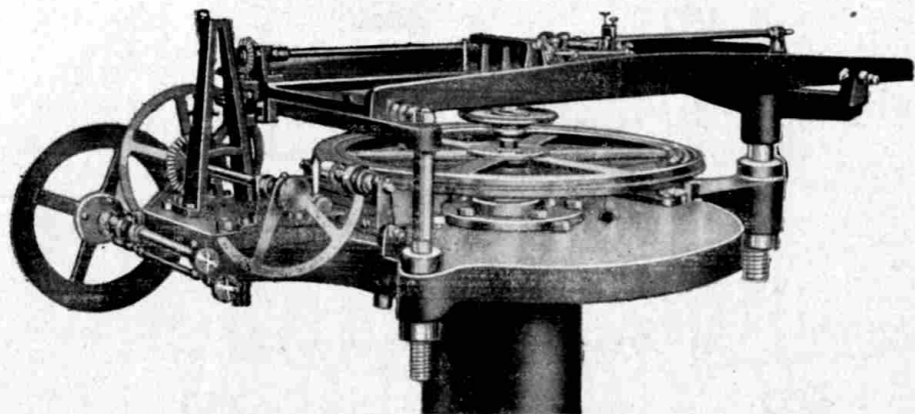


m) $D = 10 \text{ dc}$, $n = 20$, $d = 0.5 \text{ dc}$

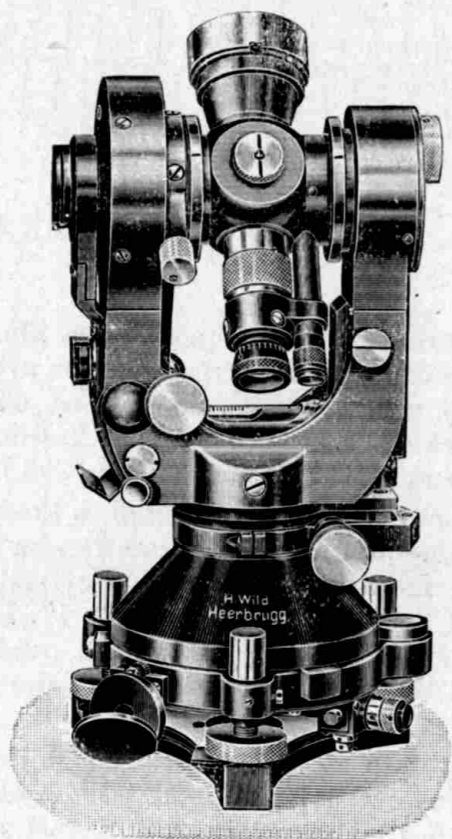
Dělení kruhů provádíme dělicím strojem, který se skládá z velikého, přesného ozubeného kola, na němž je při dělení centricky nasazen kruh, který chceme dělit, a ze šneku, ozubené kolo pohánějícího. Na ose šneku je nasazeno ozubené kolečko, které je točeno ozubeným segmentem, stále se točícím (obr. 398.).

Počet zubů tohoto segmentu určí úhel, o který se točí kruh při jednom otočení segmentu. V mezičase, ve kterém kruh stojí, vyryje automaticky ryjící mechanismus čárku. Nejvyšší přesnost, kterou firmy, vyrábějící dělicí stroje zaručují, je $\pm 1''$. Dělicí stroje nemají být vystaveny změnám teploty, otřásání a ostatním nepříznivým vlivům. Jsou velmi drahé a musí být tedy jako drahocennost ošetřovány.

Stříbrné pásy pro dělení musí být nejjemnějším leštícím materiálem vyleštěny na nejvyšší lesk, jelikož obzvláště u mikroskopických teodolitů i nejmenší škrábnutí ruší obraz dělení. Vlasově jemné rytí musí být zapuštěno černou barvou. Aby od vyleštěných kruhů nevznikly při čtení reflexy, stříkají se tyto stupnice zvláštním, průhledným lakem, který nejenom že vyleštěnou stříbrnou plochu chrání před oxidací, ale dává kruhu příjemnou matnost, ve které se dělení pěkně vyjímá.



Obr. 398. Přesný dělící stroj.



Obr. 399. Universální teodolit firmy Wild.

Obzvláště je důležité, aby horizontální kruh byl naprosto přesně centricky montován vůči vertikální ose. Není-li tomuto požadavku vyhověno, vznikne chyba, které říkáme »excentricita limbu« a jež

má při čtení v určitých polohách kruhu maximum a minimum a dva nulové body.

Některé firmy, jako Wild a j., vyrábějí teodolity se skleněnými kruhy (obr. 399.). Kruh je planparalelní skleněná deska ve formě prstenu, kde jedna rovná plocha je postříbřena a do vrstvy stříbra je ryto dělení. Hlavní výhodou těchto kruhů je, že kruh na místě rytí je průhledný a že je tím možno používatí odečítací mikroskopy pro procházející denní světlo. Takové mikroskopy mohou zřejmě zvětšovatí více než mikroskopy pro odražené světlo u kovových kruhů. Další výhodou je relativní citlivost skla proti vlivům teploty. O těchto teodolitech se skleněnými kruhy promluvíme ještě na jiném místě.

4. Vertikální kruh.

Vertikální kruh je opatřen dělením podobně jako horizontální kruh, avšak zpravidla hrubším, poněvadž požadavky na přesnost vertikálních úhlů jsou často menší. Vertikální kruh je spojen s dalekohledem a točí se s ním (obr. 391., 396.). U mikroskopických teodolitů je často vertikální kruh vybaven pouze nonií. Dělení je provedeno na rovné, zkosené neb válcové ploše. Tuto úpravu volíme tenkrát, chceme-li čísti na vertikálním kruhu a nechceme-li oko od okuláru dalekohledu mnoho vzdalovati. To ostatní platí jako u horizontálního kruhu.

5. Alhidáda.

Alhidáda je výraz pro odečítací zařízení na horizontálním kruhu. Tato může býti opatřena jedním nebo dvěma nonií, nebo jedním nebo dvěma odečítacími mikroskopy.

Velmi častá je konstrukce se dvěma nonií. Nonia nebo verniéry (podle vynálezce Vernière) jsou umístěny na dvou krátkých stříbrných páskách na alhidádovém kruhu, o 180° od sebe vzdálených. Neleží-li nulové čárky noniů přesně o 180° naproti sobě vůči vertikální ose, mluvíme o excentricitě alhidády, která způsobuje konstantní úchylku čtení na obou noniích.

Má-li nonius n intervaly, pak souhlasí celý rozsah nonia s $n - 1$ intervalem (u starých noniů někde s $n + 1$ intervalem) kruhového dělení. Jeden interval nonia je tedy o $d = \frac{D}{n}$ kratší než interval D kruhového dělení. D a d jsou samozřejmě úhlové hodnoty (obr. 397.).

Příklad: Kruh je dělen na $D = \frac{1^\circ}{3} = 20'$. Nonius má $n = 40$ intervalů. Noniová difference, t. j. nejmenší hodnota, kterou můžeme přímo čísti, je:

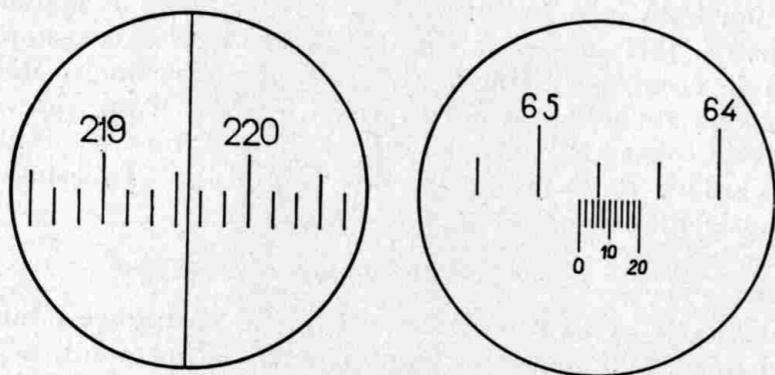
$$d = \frac{20'}{40'} = \frac{1'}{2} = 30''$$

Nulová čára nonia překročuje na příklad na kruhu hodnotu $112^{\circ} 40'$ a na noniu souhlasí dvacátá sedmá čárka (nulovou nepočítáme). Celkové čtení je tedy:

$$112^{\circ} 40' + \frac{27'}{2} = 112^{\circ} 53' 30''.$$

Příliš dlouhé nonia jsou velmi nepřehledné a je proto lepší drobnější dělení s kratším noniem. Odečítací lupa musí zvětšovat tolik, aby byla ve virtuálním obrazu délka noniové difference nejméně 0.05 mm. Čáry dělení a nonia mají být stejně silné a ne silnější než $\frac{3}{4}$ noniové difference.

Nonius má podobnou charakteristiku jako dělení pro snadné a přehledné čtení úhlových hodnot a je rovněž dělán na dělicím stroji tak, že je alhidádový kruh při dělení na stroji centricky upevněn.



Obr. 400. Zorné pole indexového a škálového mikroskopu.

Nosič dalekohledu je připevněn na alhidádovém kruhu. U mikroskopických teodolitů, kde vlastně alhidádový kruh není, je nosič a kryt limbu připevněn na kruhové desce, na kterou se rozšiřuje alhidádová osa. Odečítací mikroskopy jsou připevněny na nosiči. Držáky mikroskopů dovolují rektifikační pohyb radiálně a tangenciálně ke kruhu a mimo to malý posun mikroskopu podél jeho osy k zaostření mikroskopického obrazu. Délka tubusu mikroskopu dá se v malém rozsahu také změnit, chceme-li odstraniti chybu ve zvětšení mikroskopu.

Známe níže uvedené druhy odečítacích mikroskopů:

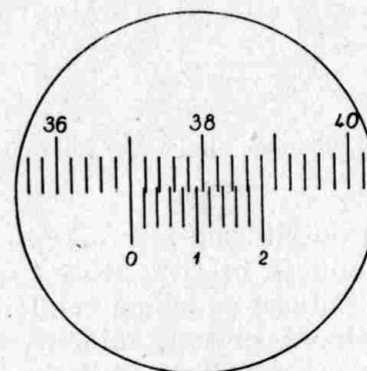
a) indexový mikroskop: na záměrné deštičce je jednoduchá čára, pomocí které odhadneme zlomky intervalu kruhového dělení, jež spatříme zvětšeny v mikroskopu. Používá se u tachymetrických

teodolitů z toho důvodu, protože mikroskop ulehčuje odečtení (obr. 400.);

b) škálový mikroskop: na záměrné deštičce je stupnice, jejíž celkový rozsah odpovídá jednomu intervalu dělení, jak jej vidíme v mikroskopu. Mezi stupnicovým dělením můžeme odhadnouti ještě desetiny škálové jednotky. Dělení kruhu je na př. na $\frac{1}{3}^{\circ}$, škála má 10 dílků, takže v tom případě můžeme přímo odečítati

$$\frac{20'}{10} = 2' \text{ a odhadnouti } \frac{2'}{10} = 12''.$$

Škálový mikroskop musí silně zvětšovat, takže v zorném poli vidíme jenom 3 až 4 zvětšené dílky kruhového dělení. Z toho důvodu musí být každá druhá čára dělení kruhu číslována, abychom zjistili směr točení, což provedení zdražuje. Práce se škálovým mikroskopem je velmi jednoduchá;



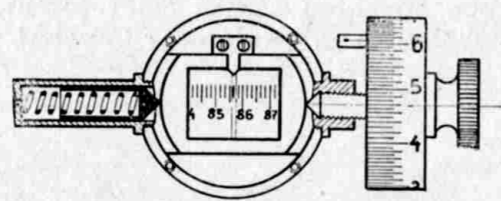
Dělení v dílečkách.

Obr. 401. Zorné pole noniového mikroskopu.

c) noniový mikroskop: má veliké zorné pole a zvětšuje málo, takže spatříme v mikroskopu větší počet intervalů kruhového dělení. Na záměrné deštičce mikroskopu je noniové dělení, takže všechny n intervaly odpovídají noniu $n - 1$ intervalu kruhového dělení, jak je vidíme v mikroskopu. Princip tohoto nonia v mikroskopu je tentýž, jako u nonia obyčejného, jenže čtení je pohodlnější. Stačí očíslovati každý desátý neb každý dvacátý dílek kruhu, dle zorného pole mikroskopu. Při stejné přesnosti čtení musí ovšem být dělení kruhu podrobnější než při používání škálového mikroskopu;

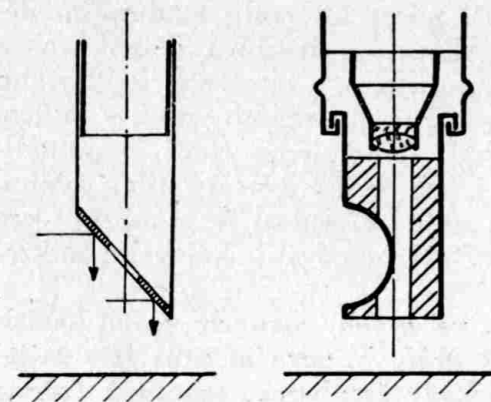
d) šroubový mikroskop: je ve svých různých specifikacích nejpřesnější prostředek pro čtení úhlů. V zorném poli je dvojité vlákno, které se dá mikrometrickým šroubem posunouti (obraz 402.). Jednomu otočení šroubu, jinak řečeno, stoupání závitu, odpovídá velikost kruhového dílku, jak jej vidíme v mikroskopu.

Nebo odpovídá tomuto dílku $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$ atd. celého otočení šroubu, nebo opačně několikanásobné otočení. V posledním případě vidíme v zorném poli mikroskopu kromě pohyblivého vlákna ještě slabou ozubenou deštičku. Zuby této deštičky jsou vybroušeny do závitu mikrometrického šroubu, takže pomocí těchto zubů můžeme počítati celá otočení mikrometrického šroubu. Jeden zub deštičky je označen jako nulová poloha vlákna. V prvních uvedených případech označuje jeden zub nulovou polohu nitky. Drobné úhlové hodnoty čteme na bubínku mikrometrického šroubu. Přesnost čtení u šroubového mikroskopu je 5" až 1". Zřejmě můžeme při tom vždy ještě odhadnouti uvnitř intervalu dělení na bubnu.

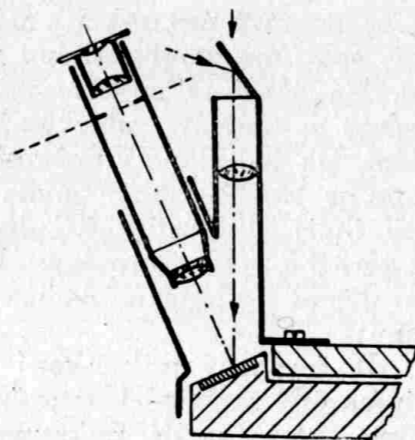


Obr. 402. Schema noniového mikroskopu.

Na spodním konci odečítacích mikroskopů mezi krytem kruhu a objektivem mikroskopu je otáčivý difusní osvětlovač, odrážející světlo na dělený kruh. Difusor je šikmá celuloidová deštička, uprostřed provrtaná ve válcové objímce otáčivě připevněná na spodním konci tubusu mikroskopu. Tato objímka může být vyplněna sádrou a šikmý výřez tvoří odrážející plochu (obr. 403.). U mikroskopů více zvětšujících může být vedle mikroskopu umístěn tubus pro osvětlení kruhu (obr. 404.).



Obr. 403. Osvětlovací difusory.

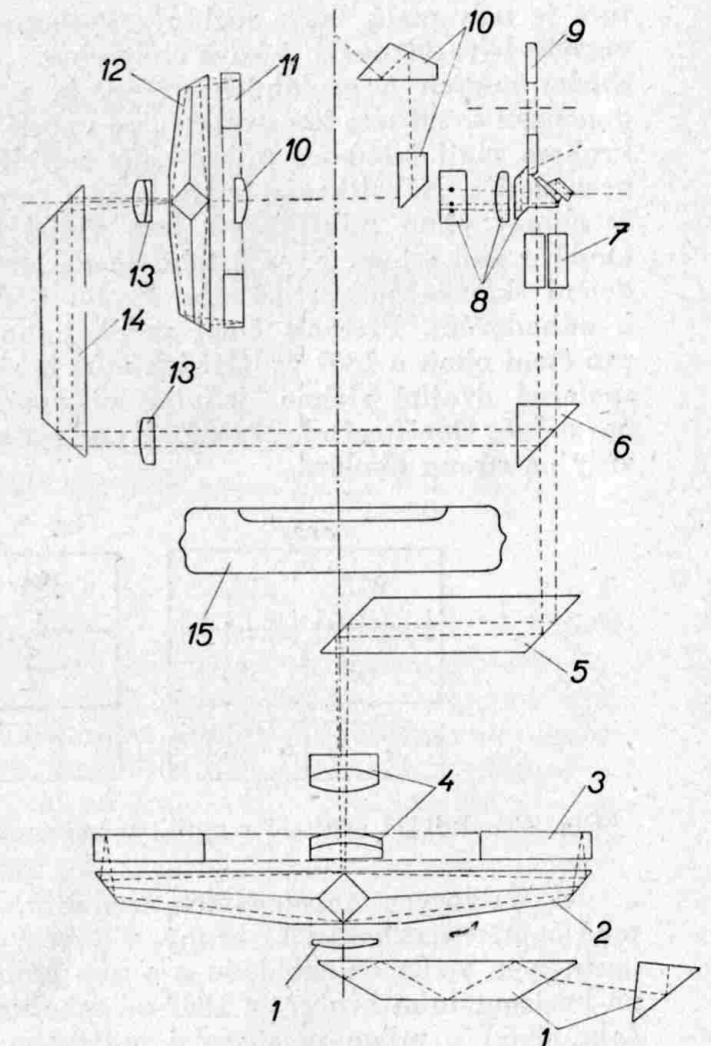


Obr. 404. Osvětlení stupnice pomocným zařízením.

Aby prostor pro difusor nebyl příliš nízký, nesmí být ohnisková vzdálenost objektivu mikroskopu příliš krátká. Zvětšení je omezeno délkou mikroskopu, která je dána výškou přístroje. Běremeli ohled na to, že okulárem můžeme zvýšiti sice zvětšení, nikoliv ale rozlišovací schopnost mikroskopu, pak z právě řečeného je jasné, že konstrukce mikroskopu v každém individuálním případě musí být pečlivě promyšlena, abychom docílili nejvyšší výkon a nenamáhalí oči pozorovatelovy.

Osvětlovací zařízení u přístrojů se skleněným kruhem je hranolový systém, který vede denní světlo ze zdola kruhem do mikroskopu. Vzdálenost mezi objektivem a kruhem není omezena z důvodů výše uvedených.

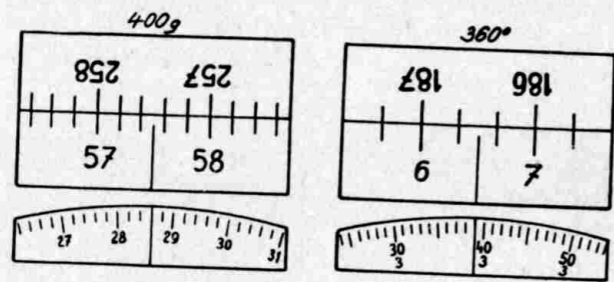
1. Osvětlovací systém horizontálního kruhu.
2. Spojovací hranol, pod horizontálním kruhem.
3. Skleněný horizontální kruh.
4. Objektiv mikroskopu.
5. Rhombický hranol.
6. Vypínací hranol.
7. Optický mikrometr.
8. Optický systém, vedoucí paprsky do odečítacího tubusu.
9. Stupnice optického mikrometru.
10. Osvětlovací systém vert. kruhu.
11. Skleněný vert. kruh.
12. Spojovací hranol vert. kruhu.
13. Objektiv mikroskopu.
14. Lichoběžníkový hranol.
15. Alhidádová libela.



Obr. 405. Optické zařízení univerzálního teodolitu fy Wild.

U Wildových universálních teodolitů ješť společný osvětlo-
vací hranol pro obě protilehlá místa odečtení na kruhu.

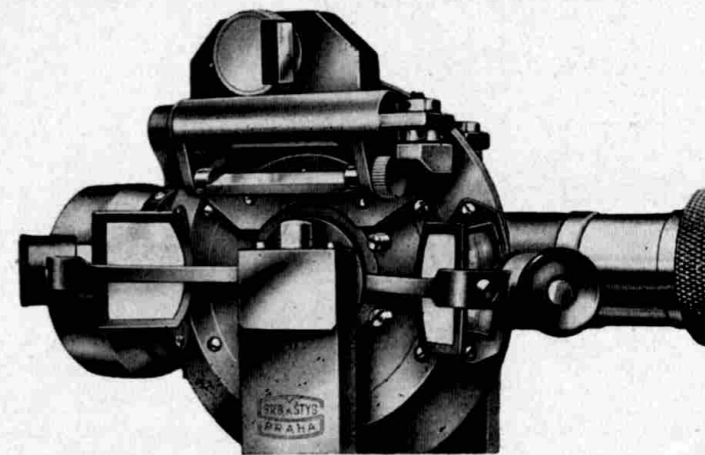
Kruh je postříbřen a odráží světlo zpět dolů vyjma čar dělení.
Paprsky z obou míst odečtení přibližují se navzájem uprostřed
kruhu a vnikají do společného objektivu mikroskopu. Objektiv je
umístěn ve vertikální ose teodolitu. Společný svazek paprsků je
veden dále v dutém rameni nosiče dalekohledu, projde optickým
mikrometrem, pravouhle se láme do horizontální osy dalekohledu,
pak ješť jednou do odečítací trubice, okulárem vedle tubusu da-
lekohledu (obr. 405.). Sčítáme-li celkovou cestu světla, zjistíme,
že celková optická délka mikroskopu je velká, ale že také vzdále-
nost objektivu od kruhu je větší než normálně. Numerická aper-
tura je tedy malá, takže rozlišovací schopnost, přes veliké zvětšení
nemůže býti dokonalá. I když obdivujeme Wildovu konstrukci jako
sbírku nových a geniálních myšlenek, není vyloučeno, že v bu-
doucnosti se od této konstrukce zase upustí. Teodolity se skleněným
kruhem mají šroubové mikroskopy neviditelně umístěné v rame-
nech nosiče. Několikanásobným lomem chodu paprsků je docíleno,
že obrazy obou mikroskopů jsou viděti v zorném poli jednoho
okuláru nad sebou. Kromě toho je na straně zorného pole viděti
dělení skleněného vertikálního kruhu pod indexem, který slouží
k odhadování. Přesnost čtení vertikálního kruhu je tedy menší,
pro čtení obou o 180° vzdálených míst horizontálního kruhu slouží
společné dvojité vlákno, jedním mikrometrickým šroubem posu-
novatelné. Odečítací okulár dá se podle polohy dalekohledu točiti
vždy na stranu okuláru.



Obr. 406. Příklad odečtení v optickém mikrometru u teodolitu fy Wild.

U Wildových universálních teodolitů, obr. 399., které jsou
také opatřeny skleněnými kruhy, vidíme v odečítacím mikroskopu
umístěném vedle dalekohledu a s ním se točícím, obě místa čtení
na horizontálním kruhu na 180° od sebe vzdálena těsně nad sebou
(obr. 406.) a mimo to stupnici optického mikrometru. Točíme-li
bubínkem optického mikrometru, pak posunou se oba obrazy dě-
lením proti sobě. Jestliže jsme docílili koincidence čar těchto

dělení, pak čteme drobné úhlové hodnoty na stupnici optického
mikrometru. Tímto zařízením se vylučují samo sebou vlivy alhi-
dádové a limbové excentricity. Teoretická přesnost těchto teodo-
litů je při malém průměru kruhu velká ($0.0001g \cong \frac{1}{3}''$) ovšem
můžeme říci, že tato přesnost je víceméně fiktivní, poněvadž oko
pozorovatelovo nemůže s jistotou konstatovati skutečné místo ko-
incidence. Docíliti velikou přesnost strojem malých rozměrů je vů-
bec záležitost problematická. Posuneme-li u Wildového teodolitu
vypínacím hranolem, pak spatříme v zorném poli odečítacího
mikroskopu místo dělení horizontálního kruhu úplně analogicky
dělení vertikálního kruhu.

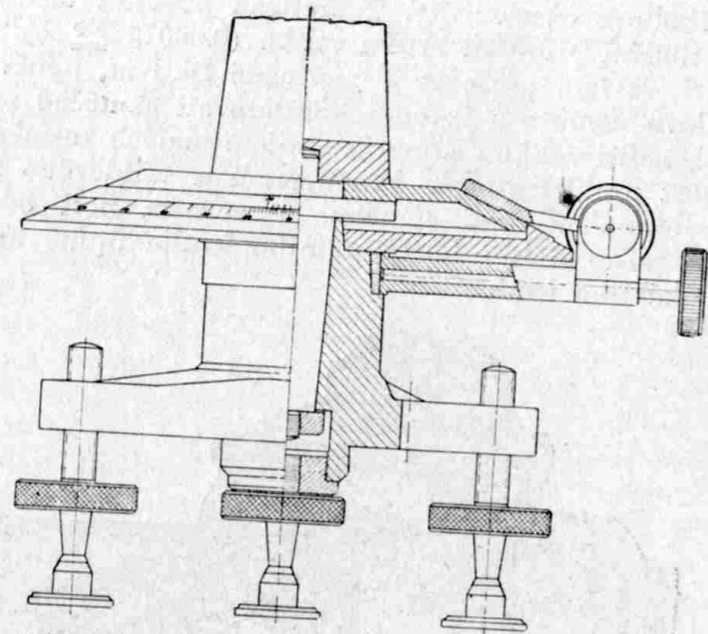


Obr. 407. Odečítací hranolový systém indexové libely.

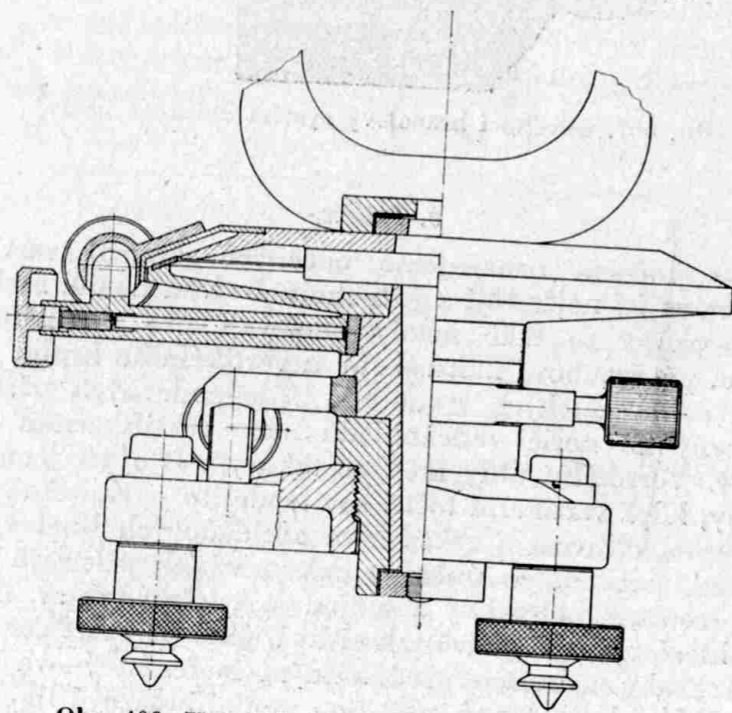
6. Index.

Tímto jménem označujeme odečítací zařízení vertikálního
kruhu, sestávající nejčastěji z jednoho neb dvou noniů. Malé odečít-
ací mikroskopy se také někdy používají pro vertikální kruh.
Přesné, na př. šroubové mikroskopy u vertikálního kruhu najdeme
jenom u astronomických teodolitů. U jednoduchých přístrojů je
index pevný na nosiči dalekohledu nebo rektifikačním šroubem
pohyblivý. Vertikální úhly měříme takovým strojem jenom tehdy
bez chyby, když vertikální točná osa teodolitu je skutečně svislá —
jinak řečeno, citlivost a rektifikace alhidádových libel vyjádří se
v přesnosti vertikálních úhlů. U dokonalejších přístrojů je index
jemným šroubem pohyblivý a spojen se zvláštní tak zv. indexovou
libelou, která má býti právě tak citlivá, jako přesnost čtení na ver-
tikálním kruhu a kterou před každým měřením znova ustavíme.
Je-li vertikální kruh krytý, pak jsou nonia, indexová libela a páka
pro jemný pohyb spojeny s krytem. Indexová libela může býti vy-

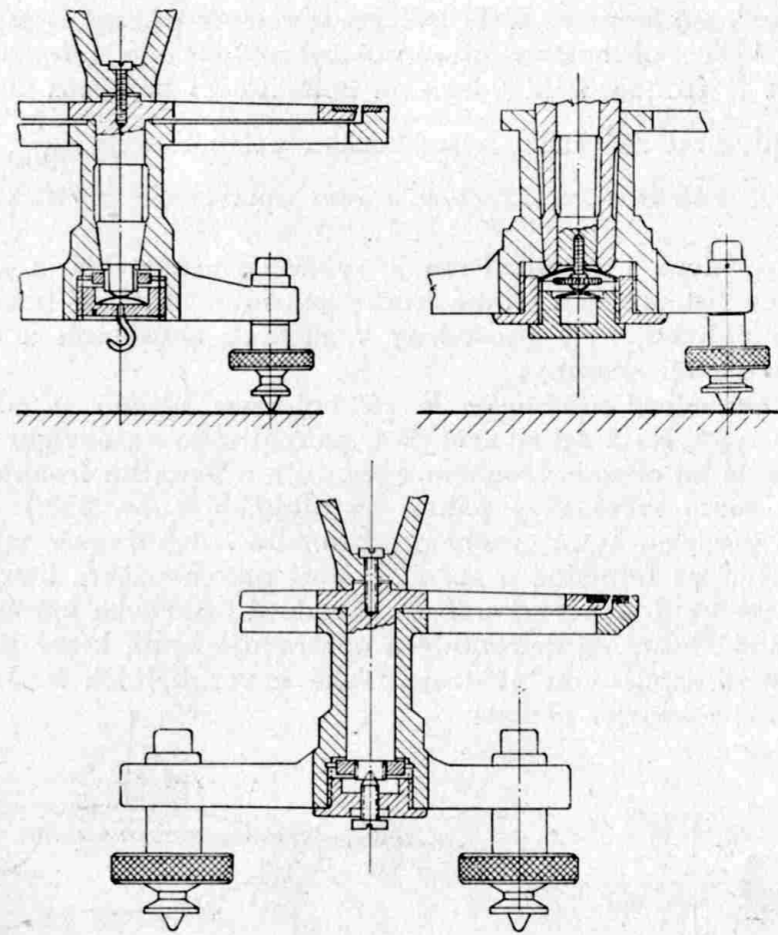
bavena pozorovacím hranolovým systémem, ke kterému se ještě vrátíme u nivelačních strojů (obr. 407.).



Obr. 408. Vertikální osa jednoduchého teodolitu.



Obr. 409. Uspořádání os u repetičního teodolitu.



Obr. 410. Různé způsoby zachycení axiálního tlaku kuželové nebo válcové osy.

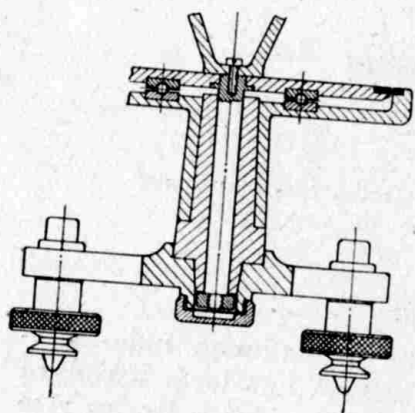
7. Vertikální osa.

Vertikální osa je, jak uvedeno, buď jednoduchá nebo dvojitá (obr. 408. a 409.) a je u většiny přístrojů kuželová. Kuželová osa má tu výhodu, že při jejím opotřebování si sedne o trochu více do tulejky a neztratí přesnost chodu. Pro ulehčení tlaku kuželové osy do tulejky používá se zejména u těžkých triangulačních teodolitů různých zařízení (obr. 410. a 411.). U některých přístrojů je do spodního konce zapuštěna ocelová koule, která leží na pérující podložce. Výška podložky dá se regulovati objímkou, ve které je umístěna. Při používání válcové vertikální osy musí nésti váhu alhidády kuličková ložiska, zachycující axiální tlak. Ložiska musí býti z nejlepší oceli a s největší přesností provedena. Válcová

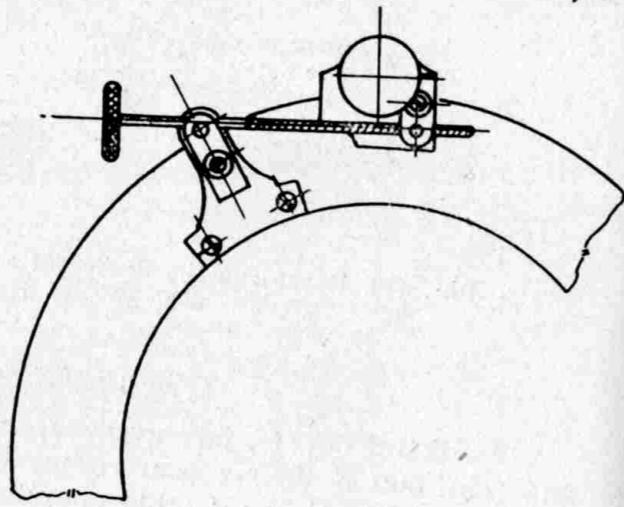
osa, používaná firmami Wild a Zeiss, u většiny přístrojů jest z nejlepší oceli a s ohromnou přesností vybroušena do tulejky. Tato přesnost je firmou Wild udána na hodnotu 1 : 4000, což znamená, že rozdíl mezi největším a nejmenším průměrem je $\frac{1}{4000}$ celého průměru. Válcová osa, která se časem opotřebuje, ztratí přesnost navždy.

Alhidádová a repetiční osa je vybavena ustanovkou a jemným pohybem. Ustanovky a jemné šrouby patřící k alhidádě nebo repetičnímu pohybu, byly provedeny v různých způsobech a dají se rozdělit na tři skupiny:

a) *Obvodové ustanovky*, které najdeme hlavně u přístrojů staršího typu, sestávají ze svěráčku, pohyblivého na obvodu kruhu, který se dá na obvodu šroubem upevnit a z jemného šroubu, který spojuje tento svěráček s pákou na alhidádě (obr. 412.). Jemný šroub a pérovka, která působí proti tomuto šroubu, může také být připevněna na alhidádě a svěráček nosí potom páčku, která zasahuje mezi šroub a pérovku. Tato obvodová ustanovka má za výhodu jednoduchost, ale deformuje a opotřebuje kruh, který je právě nejcitlivější součástí přístroje. Také u vertikálních kruhů byla obvodová ustanovka použita.



Obr. 411. Zachycení axial. tlaku u válcové osy.

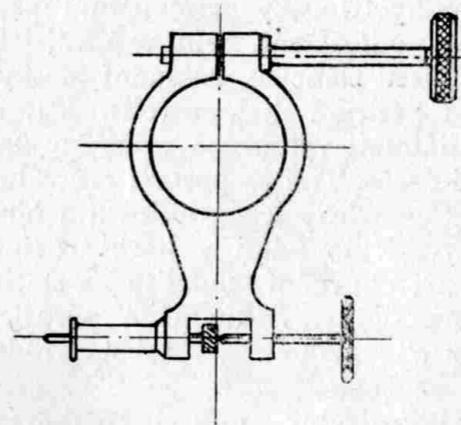


Obr. 412. Obvodová ustanovka.

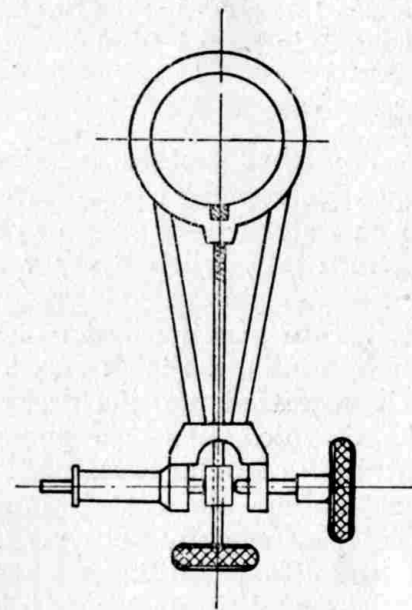
b) *Svěrací ustanovka* sestává z rozříznutého prsténce a ze šroubu pohodlně přístupného, který stahuje prstěnek tak, že se připevňuje na tulejce, na které je otáčivý. Páka připevněná na prstěnci vede k obvodu horizontálního kruhu a nese na konci jemný šroub a pérovku, které působí na páku spojenou s alhidádou. Jem-

ný šroub a pérovka mohou být opačně připevněny na krytu kruhu, tedy spojeny s alhidádou a působí přímo na zeslabený konec páky svírajícího prstence (obr. 413.).

Svěrací ustanovky nedeformují kruh a připevní se za tulejku, tedy na součástku méně citlivou. Upevňující tlak je stejnoměrný kolem dokola, takže nemůže osu decentrovati. Podle zkušeností je ale tento způsob ustanovení málo spolehlivý.



Obr. 413. Svěrací ustanovka.



Obr. 414. Centrální ustanovka.

c) *Centrální ustanovka*. Prstěnek, který se točí na tulejce, není rozříznutý, ustavující šroub působí radiálně k ose a přitlačí na tulejku brzdící podložku. Tato podložka je současně s prstěncem vytočena na soustruhu a má průřez přibližně čtvrtměsíčku. Ustavující šroub je veden v rameni, které nese jako u svěrací ustanovky jemný šroub a pérovku (obr. 414.).

Centrální ustanovky aretují pohyblivost velmi energicky a pohodlnost je v tom, že hlavice ustanovujícího šroubu je přímo u příslušného šroubu jemného. Upevňující tlak je ovšem jednostranný a lokální. Při pečlivém provedení nevznikají však z toho špatné následky pro funkci přístroje.

Oba konstruktivní způsoby, vhodně k tomu upravené, používají se také u vertikálního kruhu.

K svislému postavení vertikální osy patří alhidádové libely. Jsou to dvě na sebe kolmé, tak zv. křížové libely, nebo jenom

jedna, která je potom rovnoběžná k horizontální točné ose teodolitu. Výhodou je, když jmenovaná libela je umístěna centricky k vertikální ose, poněvadž odstředivá síla potom na ní nepůsobí. Starší teodolity, neb takové, kterými pozorujeme velmi skloněné visury, mají sázecí libelu přímo na horizontální točné ose. Veškeré libely teodolitu jsou rektifikovatelné a jejich citlivost se řídí dle přesnosti kruhu. Přesnost alhidádových libel má se přibližně rovnati přesnosti čtení horizontálních úhlů. Sázecí libela má býti asi dvakrát tak citlivá, rektifikační libela na dalekohledu o něco citlivější než indexová libela.

8. Podstavec.

Podstavec sestává z třínožky a z tulejky pro alhidádovou respektive repetiční osu. Stavěcí šrouby třínožky přijdou buď přímo na stativ a jsou potom vybaveny podložkami, nebo u novějších přístrojů sedí jejich hroty v radiálních žlábcích základní desky, do kterých jsou přitlačeny druhou pérující deskou (obr. 391. a 396.). Tato pérující deska tlačí radiálními výřezy na rozšíření stavěcích šroubů, majících tvar kulové úseče. Tím se postaví centrální závit uprostřed pérující desky vždy centricky k teodolitu a s ním také olovnice, která je pomocí kývajícího háku v horní rovině centrálního šroubu zavěšena, který při upevnění teodolitu na stativ se zašroubuje do centrálního závitu desky. Základní a pérující desky jsou spojeny volnými šrouby a nemohou se z toho důvodu od teodolitu oddělit.

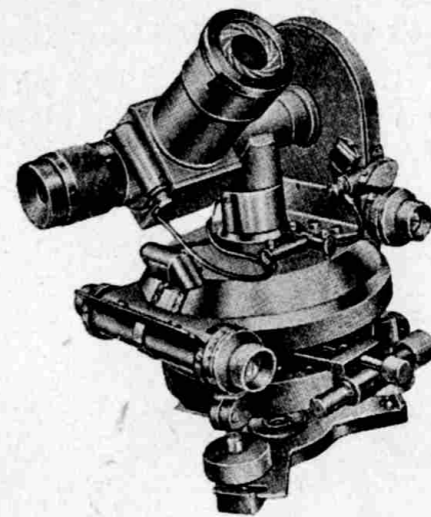
U teodolitů staršího druhu byl centrální šroub přišroubován na spodní konec tulejky vertikální osy a tvořil mechanické prodloužení této osy. Centrování a horizontování přístroje není při této konstrukci na sobě závislé, jelikož centrální šroub, nesoucí olovnici, se vykyvuje při korekturách v horizontování.

Podstavce pro čepové stativy najdeme dnes již jenom u starých neb méně přesných přístrojů. Přesné centrování (dostředování) není při tom možné. Pouzdro, které se upevní na čepu stativu, končí nahoře v kuličkovém ložisku horizontálního kruhu, a může se na všechny strany kolem něho skloniti. Kruh se horizontuje dvěma šrouby, které jsou se středním ložiskem v pravém úhlu a působí zdola nahoru. Naproti nim jsou pérující kolíčky, které také tlačí na spodní plochu kruhu. Vertikální osa takových přístrojů je často velmi krátká. U celé řady moderních přístrojů obsahuje podstavec optickou olovnici. Tato optická olovnice sestává z malého dalekohledu, jehož záměrná osa je přímé prodloužení vertikální osy teodolitu. Centrování pomocí této optické olovnice je velmi přesné, třeba na desetiny milimetru, ale velmi obtížné, jelikož při korekturách v horizontování vykyvuje záměrná

osa olovnice ještě o mnohem více, než výše uvedený dlouhý centrální šroub. Na záměrné deštičce olovnice je viděti kroužek, kterým musíme při centrování posunouti na obraz bodu, označeného na zemi, který spatříme ve vodorovně umístěném okuláru optické olovnice.

Balonové teodolity.

Balonové teodolity mají za účel sledovati papírové nebo gumové pilotovací balonky a tím zjistiti směr a rychlost pohybu vzduchu v různých výškách. Takový teodolit musí umožniti pozorování vysoko položených cílů. Z toho důvodu je pravidelně vybaven lomeným dalekohledem. Okulárový konec tohoto dalekohledu má polohu vodorovně točné osy a chod paprsků je uprostřed dalekohledu kolmo lomen úplně odrážejícím hranolem. Před objektivem bývá irisová clona, poněvadž velké přsvětlení ruší pozorovatele. Přesnost čtení takového teodolitu nemusí býti veliká a stačí často $0,1^{\circ}$ nebo 1 dc.



Obr. 415. Balonový teodolit.

Pro stálé pozorování cíle je výhodné, když horizontální a vertikální kruh je ozubený a je pohybován šnekem, jenž se dá vypnouti. Dělený buben šneku slouží pro odečtení zlomku stupňů, při čemž se celé stupně odečítají indexem. Zorné pole dalekohledu musí býti veliké, aby pozorovatel nezratil cíl, někdy rychle se pohybující. Důležitou součástí je mechanické hledí, aby pozorovatel mohl cíl zhruba najíti. Nitková deštička má centricky-symetrický tvar.

Balonové teodolity jsou často vybaveny nočním osvětlením, osvětlujícím nitkovou deštičku a stupnici, aby bylo možno pozorovat také v noci.

Odborné justování (seřízení) teodolitů.

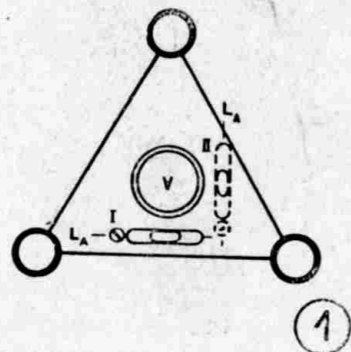
Při justování zde popsaném je nutno dodržeti uvedený postup. Popis vztahuje se na stroj Th. N. 25X firmy Srb a Štys. Odchytky platící pro jiné typy se snadno odvodí.

Několik značek:

VV	Vertikální osa
HH	Horizontální osa
ZZ	Kolimační osa
LaLa	Osa alhidádové libely
LiLi	Osa indexové libely
LzLz	Osa libely dalekohledu

1. Odstranění chyby vertikální osy (obr. 1.).

Podmínka: $LaLa \perp VV$. Upevníme stroj na stativu a točíme alhidádou tak, že jedna z alhidádových libel dostane se do směru dvou stavěcích šroubů.

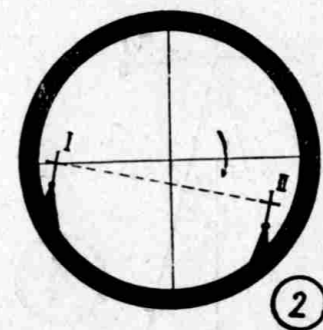


(La v poloze I.) Otáčením stavěcích šroubů docílíme ustavení libelové bubliny a pak přetočíme alhidádu o 180° . Bublina vyběhne, není-li libela rektifikována. Polovinu odchytky odstraníme pomocí stavěcích šroubů, druhou polovinu rektifikačním šroubem libely. Rektifikační zařízení libely skládá se z pevného šroubu a dvou matek, které kulovými plochami se opírají o nástavec libely. Musíme dáti pozor, abychom uvolnili vždy tu matici, která odpovídá směru žádaného pohybu bubliny a pak teprve utáhneme druhou, čímž se vyhneme poškození závitů. Na konci justování musí být obě matky pevně utaženy. Potom otočíme strojem o 90° (La

v poloze II.) a odstraníme celou výchylku pomocí třetího stavěcího šroubu. Točíme strojem opět do polohy I. a opakujeme celý popsaný průběh tak dlouho, až libela je ustavena v každé poloze alhidády. Tím způsobem rektifikujeme účelně libelu, která je k horizontální ose rovnoběžná. Potom můžeme rektifikovati druhou alhidádovou libelu jednoduše tak, že celou výchylku odstraníme pomocí jejího rektifikačního šroubu.

2. Svislá poloha nitkového kříže (obr. 2.).

Zaměříme horizontální nit kříže na libovolný, ale jasný bod, a to tím způsobem, že nit a cíl se přesně kryjí (poloha I.). Otočíme alhidádou pomocí jemného pohybu tak, až je viděti cíl na pravém okraji pole. Nestojí-li nitkový kříž svisle, odchýlí se pravý konec horizontální nitky od cíle, což znamená, že se dostane nad nebo pod cíl. Tato chyba dá se odstraniti natočením objímky nitkového kříže, a to tím, že odšroubováním odstraníme čepičku na okulárovém konci dalekohledu. Výřez, který vidíme podle polohy dalekohledu na dolní nebo horní straně okulárového konce, obsahuje šroub, který objímku nitkového kříže ustavuje. Uvolníme tento šroub a točíme nitkovým křížem opatrně ve správném smyslu. Výsledek justování kontrolujeme tím, že postup opakujeme. Zdařilo-li se justování, utáhneme opět upevňovací šroub a našroubojeme krycí čepičku.



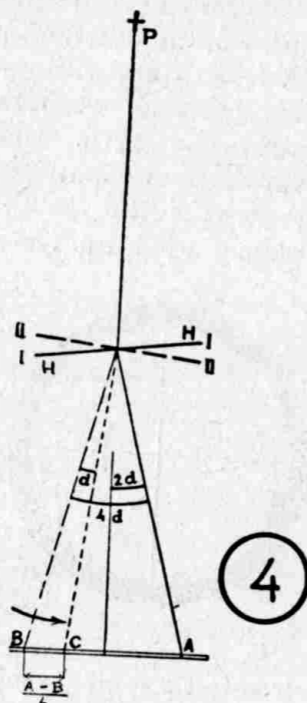
Při starších strojích tohoto typu krycí čepička se nedá zvlášť odstraniti a je nutno při nich odšroubovati celý okulár. K tomu cíli musíme napřed uvolniti šroubek na kraji krytu. Ke kontrole justování je nutno po každé okulárový konec znovu našroubovati, samozřejmě bez utahování upevňovacího šroubku. Ten utáhneme až po koncovém justování.

3. Odstranění kolimační chyby (obr. 4.).

Podmínka: $ZZ \perp HH$. Volíme jasný cíl P, který je co možno v horizontu přístroje, abychom vymýtili vliv horizontální osy. Za

přístroj umístíme rovněž v horizontu milimetrové měřítko asi ve vzdálenosti 10 m od přístroje. Zaměříme bod P co možno nej-
přesněji. Při tom musí být alhidáda utažena. Prokládáme daleko-
hled a odečteme na měřítku hodnotu A . Pak uvolníme alhidádu
a vrátíme se v této druhé poloze dalekohledu zpět na bod P . Pro-
ložíme dalekohled znovu a odečteme hodnotu B . Vzdálenost $A-B$
odpovídá čtyřnásobné kolimační chybě. Nyní je naším úkolem
kolimační osu o $\frac{(A-B)}{4}$ ve směru k A posunovati.

K tomuto účelu odšroubujeme krycí čepičku na okulárovém
konci dalekohledu, uvolníme onen rektifikační šroubek, který od-
povídá směru žádaného pohybu kříže a utáhneme druhý. Tyto
rektifikační šroubky vidíme ve dvou výřezech naproti sobě umístě-
ných, když napřed odstraníme krycí čepičku. Hledíme se vyhnouti,



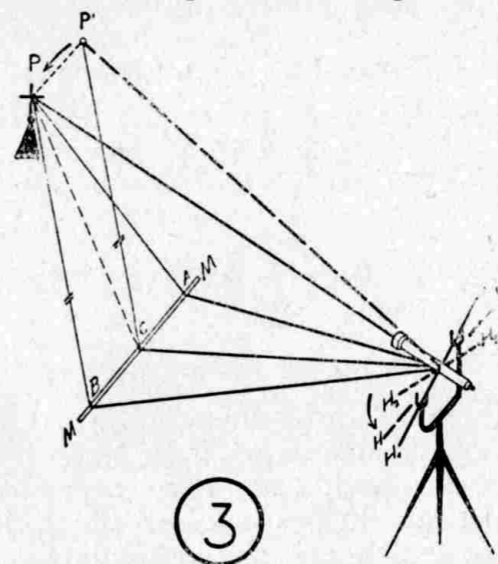
abychom neopatrnou manipulací šroubovákem tyto šroubky nepo-
škodili. Dočasný výsledek justování kontrolujeme okulárem. Poně-
vadž není jisté, zdali jsme neotočili tlakem šroubováku alhidádou,
opakujeme onen postup tolikrát, až body A a B splynou. Ke konci
musí býti rektifikační šrouby utaženy.

U starších konstrukcí zmíněných v bodu 2, jest opět nutno
upevňovací šroubek uvolniti a celou okulárovou objímku odšrou-
bovati. Rektifikační šrouby najdeme zase v příslušných výřezech.

Výsledek justování kontrolujeme provisorním našroubováním oku-
lárové objímky.

4. Odstranění chyby točné osy dalekohledu (obr. 3.).

Podmínka: $HH \perp VV$. Abychom se rychle přesvědčili, odpoví-
dá-li teodolit výše udané podmínce, zaměříme na dlouhou olov-
nici, která se zavěsí ve vysoké místnosti. Začneme horizontální visu-
rou a nakloníme dalekohled až k hornímu konci závěsu olovnice.
Ukáže-li se zde odklon visury od šňůrky olovnice, je chyba v točné
ose dalekohledu. Tuto odstraníme pomocí rektifikačních šroubů,
které jsou umístěny u jednoho ložiska dalekohledu. Chceme-li ko-
nec točné osy v tomto ložisku snížit dolů, uvolníme tažný šroub
a utáhneme tlačící šroub. Chceme-li tento konec vyzvednouti, po-
čínáme si naopak. Venku používáme následující přesnější metodu
(obr. 3.). Volíme co možno nejvyšší cíl P a skloníme visuru dolů
na měřítko MM , které jsme položili v horizontu přístroje asi ve
vzdálenosti 10 m. (Na př. na druhý stativ.) Na měřítku odečteme
hodnotu A , při tom má na př. točná osa polohu $H_1 H_1$, což zna-



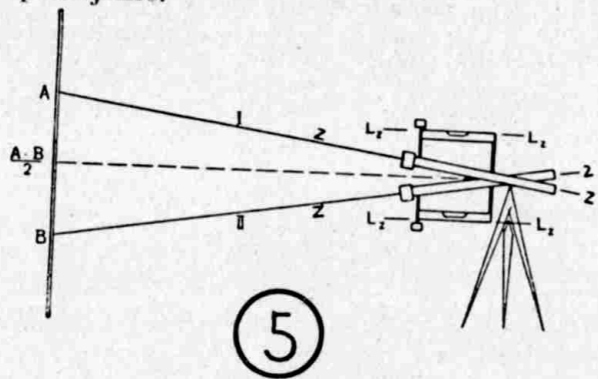
mená, že její pravý konec je vyšší než levý. Dále pak proložíme
dalekohled, při čemž točná osa přijde do polohy $H_2 H_2$, zaměříme
na bod P znovu a skloníme visuru znovu na měřítko. Při prvním
zaměření se pohybuje kolimační osa na př. v rovině doprava sklo-
něné, při druhém v rovině skloněné doleva, a to následkem šikmé
polohy točné osy. Nepřijdeme tedy zase na bod A , nýbrž na bod B .
Hledáme na měřítku střed této dráhy AB , t. j. bod C na měřítku.
Visuru C zvedneme na výšku bodu P a dostaneme se při tom do
bodů P' . Pomocí výše uvedených rektifikačních šroubů snížíme

nebo zvedneme příslušný konec točné osy dalekohledu tak, až se posune bod P' na bod P . Jinak řečeno, až nitkový kříž se kryje s bodem P . Tento postup opakujeme tolikrát, až A a B splynou. Předpoklad pro toto justování točné osy přirozeně je, že chyba ve vertikální ose již předem byla odstraněna.

5. Rektifikace reversní libely dalekohledu (obr. 5.).

Podmínka: $LzLz \perp ZZ$. Nastavíme asi ve vzdálenosti 100 m od stroje nivelační lať, na kterou zaměříme v první poloze dalekohledu. Při tom musí být libela dalekohledu přesně ustálena.

Na lati odečteme hodnotu A . Proložíme dalekohled, zaměříme na lať v druhé poloze dalekohledu, při čemž libela musí být zase přesně ustálena. Na lati odečteme hodnotu B . Hledáme aritmetický průměr odečtením A a B a zaměříme na lati hodnotu $\frac{A+B}{2}$ a odstraníme odchylky libely jejím rektifikačním šroubem. Tento postup pak opakujeme.



6. Odstranění indexové chyby.

Podmínka: Čtení na vertikálním kruhu při vodorovné visuře rovná se nule. Předpokladem rektifikace je, že libela dalekohledu je již bez chyby. Ustavíme ji a nastavíme pomocí jemného pohybu index na nulu. U teodolitů bez indexové libely je tím justování skončeno a musíme dáti pozor, aby vertikální osa při manipulaci se strojem zůstala přesně svislou, což stále kontrolujeme alhidádovými libelami. Jinak musíme svislou polohu vertikální osy korigovat stavěcími šrouby. U těchto strojů musí být protimatky šroubů, které pohybují indexem, na konci justování pevně utaženy.

U strojů s indexovou libelou nastavíme nulové odečtení, jak výše uvedeno, jemným pohybem indexu. Odchylku indexové libely odstraníme rektifikačním šroubem.

Není-li vybaven dalekohled teodolitu libelou, pak měříme vertikální úhel libovolného cíle v první a druhé poloze daleko-

hledu. Podle číslování kruhu mají být obě odečtení stejná nebo o 180° odlišná. Předpokládáme-li, že je indexová chyba, pak rovná se správný vertikální úhel v prvním případě přímo aritmetickému středu prvního čtení a diferenci druhého čtení k 180° . Správný úhel nastavíme indexovým pohybem při zaměření cíle v první poloze dalekohledu, čímž se indexová libela vychýlí. Výchylku odstraníme rektifikační libely.

7. Udržování strojů.

Nenechme nikdy stroj prachem znečistiti. Čistíme především optiku vlasovým štětečkem z prachu a eventuelní skvrny vyčistíme naprosto čistou jelenicí. Ztuha jdoucí šrouby očistíme nejprve benzinem a potom je znovu naolejujeme. Součástky stroje, které jsou vystaveny prachu, nesmí vykazovati stop oleje.

Jakkoliv poškozený stroj dejte ihned odborníkovi k opravě. Nepoužívejte k opravě stroje noží nebo nevhodných šroubováků a pečujte o to, aby přiložená souprava náradí byla vždy na místě. Za slunných dnů má být stroj chráněn proti slunci vhodným chráněním a při dešti gumovým plátnem.

Každý stroj po několika letech si zaslouží generální prohlídky a doporučuje se zaslati jej do továrny. Jelikož jsou všechny stativy normalisovány, není třeba je zasílati, nejsou-li poškozeny.

Kompasy, busoly a busolové teodolity.

Pojmy kompas a busola mají skoro stejný význam a používáme proto prvního neb druhého názvu podle zvyku. Na kompasech, kterých používáme k orientování na moři i na cestách, dále k zjištění směru geologických vrstev, je ovšem základem dělení spíše růžice s hlavními a vedlejšími světovými stranami. Naproti tomu u busol zůstal z růžice jenom severní bod jako nulový bod dělení. U geodetických magnetických přístrojů používáme vesměs názvu busola.

Hlavní podstata všech orientačních neb magnetických přístrojů je magnetická strelka, t. j. malý tyčový magnet, co možná s malým třením, uprostřed otáčivě uložený. Směr rovnováhy kývající se magnetické strelky je směr silokřivek zemského magnetismu. Moment, který chce nastavit strelku do tohoto směru, je přímo úměrný síle magnetického pole strelky, druhé mocnině její délky a úhlu úchyly, pokud tento úhel je malý. Matematicky vyjádřeno

$$M_m = k \cdot l^2 \cdot m \cdot \alpha$$

M_m	· · · · ·	magnetický moment,
l	· · · · ·	délka magnetky,
k	· · · · ·	konstanta,
m	· · · · ·	intenzita magnetické strelky,
a	· · · · ·	úhel výchylky,
M_t	· · · · ·	tření v ložisku.

Jelikož první tři členy pravé strany vzorce se nemění při dané strelce, je jasno, že při velmi malé výchylce úhel magnetického momentu je také nepatrný. Tento moment nemůže přemoci tření v ložisku, takže vždy určitá výchylka od správného ustálení strelky. Magnetický moment rovná se potom momentu tření

$$M_m = k \cdot l^2 \cdot m \cdot a = M_t$$

Tuto výchylku nemůžeme úplně odstraniti, nýbrž jenom zmenšiti a sice jak patrně ze vzorce

$$a = \frac{M_t}{k \cdot l^2 \cdot m}$$

- a) zmenšením tření v ložisku (M_t),
- b) zvětšením magnetismu m ,
- c) zvětšením délky magnetky, což obzvláště působí, jelikož ve vzorci je délka magnetky l zdvojnásobena.

Intenzita magnetismu strelky je omezena její hmotou a jejím materiálem. Také délka magnetky je omezena rozměry přístroje. Jelikož délkou a silou magnetky zvětšuje se také její váha a tím tlak a tření v ložisku, je nutno pro každý zvláštní případ dimenzovati strelku tak, aby výsledek byl co možná dokonalý.

1. Kompasy.

Nejjednodušší kapesní kompas se skládá z krabice kulatého tvaru uzavřené sklíčkem, ve velikosti asi kapesních hodinek. Uprostřed dna nachází se jehla, na níž kývá magnetická strelka. Strelka dá se aretační pákou zaretovati (vyzvednouti) tak, že je přitlačována na sklo pouzdra. Na dně pouzdra je umístěna růžice a mimo ní ještě dělení ve stupních, takže se koncem magnetické strelky z této dá odečítati.

Deklinační odchylka, která se ovšem časem a místem mění, může býti na stupnici naznačena (obr. 416.).

U kapesních kompasů orientuje se hlavně podle strelky a šipek růžice. Kompasy v lepším provedení mají rovnou spodní hranu pouzdra, která slouží k nakreslení čar na mapě. Pro použí-

vání v noci je severní konec strelky světové strany na růžici, jakož i deklinační odchylka, označen světélkující hmotou.

Kapesní kompas může býti vybaven též průzorem pro zjištění směru stanoviště k vzdálenému bodu. Takový kompas obsahuje vlastně už veškeré charakteristické součástky busolového měřicího přístroje v nejjednodušším provedení. Velmi rozšířený reprezentant tohoto druhu kompasů je orientační busola (obr. 417.).



Obr. 416. Malý kapesní kompas.



Obr. 417. Orientační busola.

Tato busola je složena ze solidního pouzdra, opatřené šikmou hranou, která je asi 5 cm dlouhá a dělena na milimetry. Dělení růžice je provedeno na celuloidové desce, která je oproti pouzdru otáčivá, ale jejíž nulová poloha se dá nastavit. Magnetka má tvar šipky s kruhovým koncem, který je vyplněn světélkující hmotou. Světélkujícímu kroužku odpovídá světélkující kruhová značka na celuloidové deštičce. Tato značka je už posunuta o hodnotu deklinace. Hlavní světové strany jsou označeny. Kryt busoly se postaví při otevření kolmo a má ve svých okrajích šterbiny jako průzor. Magnetická strelka se desaretuje (uvolní) při otevření pouzdra automaticky. Některá provedení jsou opatřena sklopným zrcátkem pod 45°, aby bylo možno při pozorování průzorem současně čísti dělení na růžici.

Podobné systémy busol jsou někdy opatřeny zařízením, umožňujícím připevniti je na fotostatív a dají se používati v kolmé rovině pro zjištění svahu.

Přesnost všech typů stačí pro orientování na speciálních mapách v měřítku 1 : 25.000 až 1 : 75.000.

2. Geologické kompasy (obr. 418.).

Geologické kompasy jsou umístěny v pouzdře čtvercového tvaru. Strana tohoto se přímo srovnává se směrem geologických

vrstev, nebo slouží k visírování. Kompas dá se postavit do svislé polohy a slouží potom k určení sklonu vrstev. K tomu účelů je ve víku kompasu otáčivé kyvadlo, jehož indexová značka pohybuje se po stupnici výškového dělení. Číslování výškového dělení kompasu bývá udáno v horách (jedna hora = 15°) a sice v opačném směru chodu hodinových ručiček. Naznačeny jsou hlavní světové strany a sice sever a jih normálně, ale východ vlevo a západ vpravo.



Obr. 418. Geologický kompas při použití.



Obr. 419. Sázecí busola.

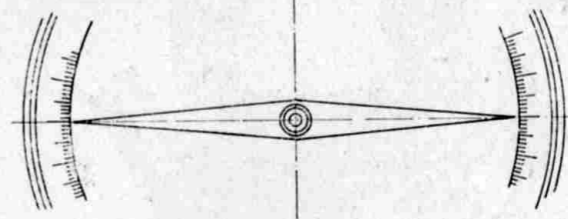
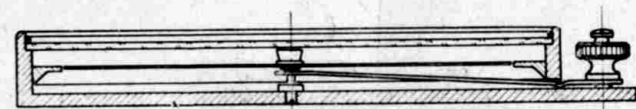
3. Záměrné busolové přístroje

dají se připevnit na stativ. Komplikovanější dají se také vodorovně nastavit stavěcími šrouby. Záměrné zařízení je buď průzor se štěrbinou a vláknem v rámečku, který se dá při dopravě sklap-

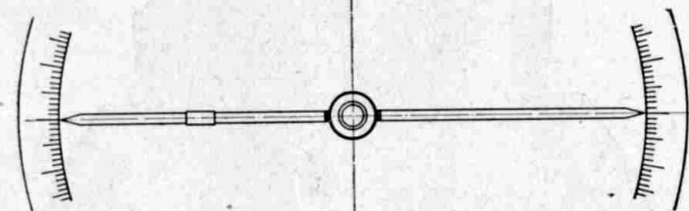
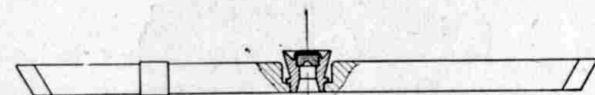
nouti, nebo průzorná trubka, nebo malý záměrný dalekohled. Průzory jsou někdy konstruovány tak, že při zamíření je možno současně pozorovati kývající se kruh spojený s magnetickou střílkou.

4. Sázecí busoly pro teodolity (obr. 419.).

Tyto busoly sestávají z krabice, kryté skleněnou deskou, v které je umístěn dělený kruh a hrot pro magnetickou střílku. Zevně jsou připevněny nožky s výřezy, pro nasazení na horizontální osu teodolitu nebo na dva šrouby, na stranách nosiče dalekohledu. Nožky musí býti tak vysoké, že docílíme dalekohledem dostatečný sklon.



Obr. 420. Řez skříní stolního kompasu.

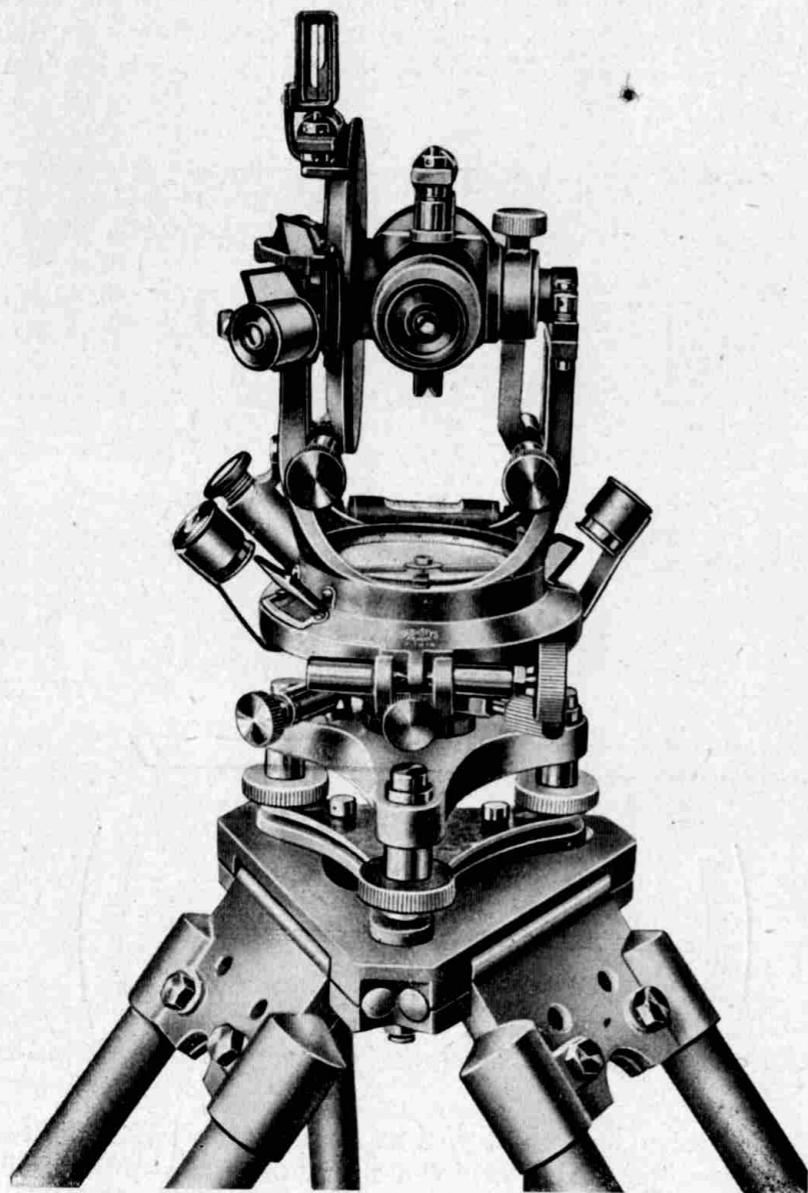


Obr. 421. Nožová střílka s posuvným závažím pro vyrovnání inklinace.

Průměr děleného kruhu řídí se podle rozměrů teodolitu. Čím větší, tím přesnější. Kruh je dělen na stupně nebo půlstupně. Plocha magnetické střílky může býti vodorovná (obr. 420.). Dnes dáváme však přednost magnetkám nožovým (obr. 421.), jelikož jejich

tření se vzduchem je větší, čímž se rychleji ustálí odečítací korekce. Magnetky musí být velmi čistě provedeny a mezera mezi nimi a kruhem má být co možná malá (0,1—0,2 mm). Přesnost měření závisí hlavně na právě uvedených podmínkách.

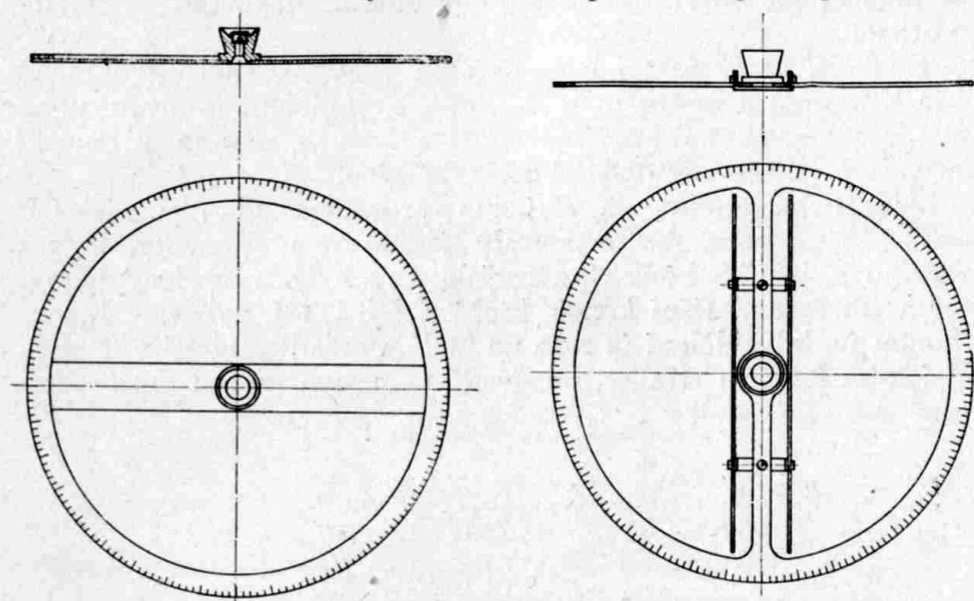
Dělený kruh je orientován tak, že spojovací čára jižního a severního bodu je přesně rovnoběžná k vertikální rovině, v které se pohybuje kolimační osa dalekohledu. Přesnost čtení u sázecích busol je asi 3'.



Obr. 422. Busolový teodolit.

5. Teodolity se zasazenou busolou.

U takových teodolitů (obr. 422.) nalézá se busola přímo nad alhidádou na dně nosiče dalekohledu. Je jasno, že při tom musíme čísti vždy na stejném místě stroje, jinak by nosič pozorovací magnetky případně rušil. Z tohoto důvodu používáme zde tak zv. Schmalkaldtovy busoly, u které je dělený kruh spojen s konci magnetky a kývá se s ním (obr. 423.). Odečítáme pevným indexem na dělení kruhu. Index je umístěn na pohodlně přístupném místě



Obr. 423. Střelka s děleným kruhem.

Obr. 424. Dělený kruh s párem magnetických střelek.

nosiče, nad nímž je upevněna silně zvětšující lupa. Používati připravené lupy u normální magnetické střelky by bylo neskonné, poněvadž lupa by musila být otáčivá kolem obvodu busoly. Nevýhodou je, že tlak na hrot ložiska, způsobený vahou takovéto střelky, je větší. Materiál pro kruh musí být co možná lehký. Doporučujeme konstrukci, u které jsou použity dvě magnetické střelky (obr. 424.), kde zůstane můstek s otvorem pro nasazení ložiska, čímž se ušetří dodatečné centrování, nutné u konstrukce, při které je přímo magnetka na místě můstku (obr. 423.). Dvě slabé magnetky jsou na každé straně můstku připevněny tak, že jejich roviny jsou svislé. Tím je docíleno výhodné tření se vzduchem a o něco silnější magnetický moment.

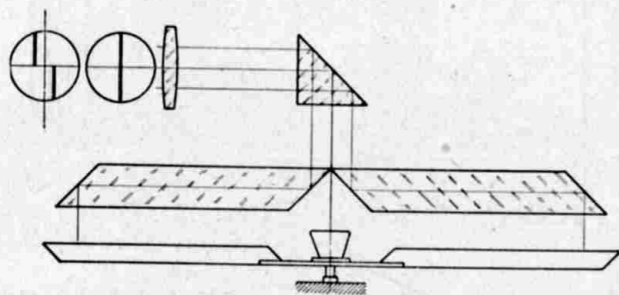
Přesnost Schmalkaldtových magnetických střelek může být při pečlivém provedení až 1'. Schmalkaldtový kruh dá se samozřejmě podobně aretovat jako pouhá magnetická střelka.

6. Teodolity s orientační busolou.

Magnetická strelka je umístěna v krabici podélného půdorysu a může se jenom kývati v rozsahu několika stupňů. Účel této busoly není, při libovolné visuře, odečítati magnetický severník (azimut), jako u výše popsaných, nýbrž orientovati horizontální kruh teodolitu tak, aby směr nulové čáry tohoto kruhu souhlasil s magnetickým severem. Je-li kruh tak orientován, pak můžeme čísti magnetické severníky přímo na limbu. Magnetku před tím zaretujeme.

Teodolit, který je takovou busolou vybaven, slouží tedy také dobře k měření azimutu jako teodolit se Schmalkaldtovou nebo sázecí busolou, naopak měření mohou býti o mnoho přesnější, poněvadž přesnost orientační busoly je větší.

Magnetická strelka je stejného provedení jako u sázecích busol. Z kruhového dělení zůstaly jenom dva segmenty, kolem severního a jižního bodu. Stačí však, aby byly naznačeny jenom sever a jih čarou. Jižní konec krabice bývá též vybaven lupou. Výhodou je, když dělení je ryto na malém zrcadle, nacházejícím se pod jižním koncem strelky, poněvadž je potom možno pozorovati přesné ustavení strelky bez paralaxy.



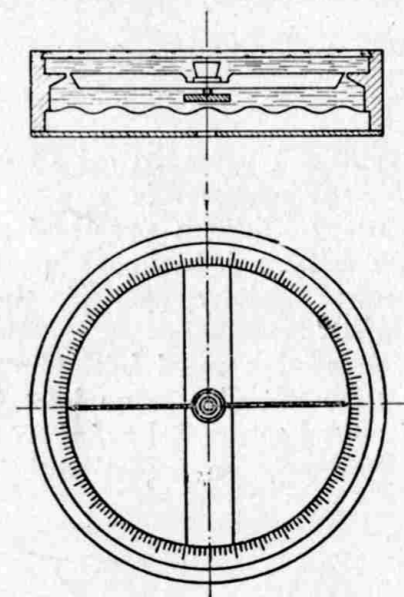
Obr. 425. Chod paprsků v optické busole.

Rektifikační podmínkou orientační busoly je, aby spojovací čára jižní a severní značky byla rovnoběžná k vertikální rovině, v které se sklání kolimační osa dalekohledu. Tuto rektifikaci docílíme buďto malým otáčivým posunem celé busoly, nebo posunem značky (indexu) uvnitř pouzdra. Mnohem dokonalejší orientační busolu získáme tím, že nesrovnáváme jeden konec strelky s indexem, nýbrž oba konce strelky mezi sebou. K tomu účelu slouží hranolový systém, podobný tomu, který se používá u nivelačních neb indexových libel (obr. 425.).

Pomocí tohoto hranolového systému spatříme oba konce strelky v zorném poli pozorovacího okuláru tak, že jejich obrazy jsou odděleny vlasovou čarou. Je-li busola ustálena, splývají obrazy

obou konců v jednu silnou tmavou čáru. Vychyluje-li se strelka, pak pohybuje se obraz jednoho konce nalevo, obraz druhého napravo, takže pozorujeme dvojnásobnou výchylku strelky, kterou vidíme zvětšenou okulárem.

Tato optická busola dá se ustáliti s největší přesností, jelikož sebemenší úchylka jeví se oku jako rušení dojmu hladké čáry. Při nejlepším provedení, zejména ložiska, solidního a otrásání prostého postavení teodolitu, docílíme přesnost odečtení až 10".



Obr. 426. Busola s kapalinovou náplní.

7. Busoly s kapalinovou náplní.

Oproti předcházejícím jsou výhodné tím, že nemusí se při jejich nepoužití magnetka aretovat, aniž by toto mělo velký nepříznivý vliv na lůžko a jehlu magnetky a tudíž i na její celkovou přesnost. Všeobecně se u této konstrukce používá magnetické strelky t. zv. systému Schmalkaldtova, při čemž kotouč (růžice) je zhotoven z průhledného materiálu (celon a pod.), aby stupnici, která je vytvořena na okrajích kotouče, bylo možno prosvětlení světélkující hmotou, nacházející se na dně skříně a tak tuto použití pro potřebu i v noci (obr. 426.).

Další jejich výhoda spočívá v klidném chodu magnetky, při malém jejím počtu výkyvů. Jako náplně bývá používáno velmi zředěného glycerinu, petrolinu a pod. Dno skříně u této konstrukce musí býti přizpůsobováno roztažlivosti kapaliny při různých teplo-

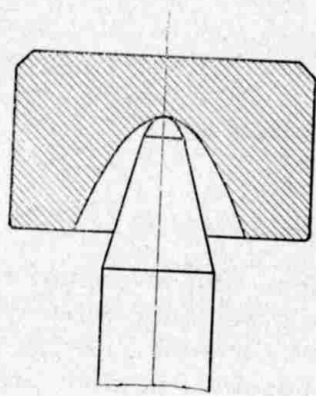
tách. Bývá provedeno z vlnitého plechu. Při plnění používáme ohřáté kapaliny asi na 50°. Je třeba u této konstrukce si povšimnouti, že jehla magnetické střelky není připevňována na dně krabice, nýbrž na zvláštním nosiči, který je od krycího skla neproměnlivě vzdálen, za tím účelem, aby magnetka z jehly při změně teploty nevypadla.

Materiál magnetických střelek.

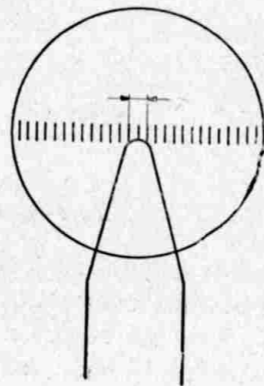
Magnetické střelky jsou zhotovovány z tak zv. magnetické oceli a při nákupu je vždycky výhodné jakost oceli na trvanlivost magnetismu vyzkoušeti.

Za tím účelem tyčinku o průměru asi 10 mm a délce 20 cm, anebo pásek potřebně silný zmagnetujeme a po té pověsíme vodorovně na hedvábnou nit v klidném prostředí a pozorujeme pak, jak se mění její sklon během jednoho týdne. Čím méně se v té době tyčinka z vodorovné polohy vychýlí, tím je magnetismus permanentnější (trvalejší).

Jehly magnetických střelek musí býti zhotoveny z oceli nejjemnozrnnější a to z toho důvodu, že na hrot jehly jsou kladeny ty největší požadavky pokud se opotřebování týče, při čemž celková přesnost magnetické střelky je na trvanlivosti jehly zcela závislá.



Obr. 427. Správný tvar lůžka a jehly magnetické střelky.



Obr. 428. Optické zkoušení správného zakulacení jehly.

Další důležitý materiál je ten, z kterého zhotovujeme lůžka magnetických střelek. U přesných střelek to bývají syntetické kameny, achát a nebo safír. Synthetické (umělé) proto, jelikož tyto jsou naprosto stejnorodé, což pro přesnost magnetických střelek je podmínkou. Stávalo se často, že lůžko střelky, které bylo

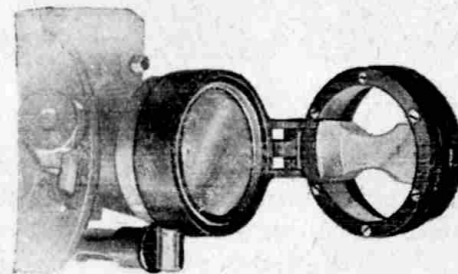
zhotoveno z achátu nebo safíru přírodního, obsahovalo nepatrné kazy nebo žilky, což mělo za následek, že výbrus lůžka nebyl proveden dokonale a magnetická střelka při spuštění (desaretování) na jehlu měnila svoje správné uložení, při kterémžto provedení přesnost magnetky potom pochopitelně nevyhovovala. Správný tvar lůžka a jehly je vyznačen na obr. 427.

Broušení jehly řídí se dle velikosti a váhy magnetické střelky. U magnetických střelek krátkých a lehkých brousíme jehlu do hrotu, kdežto při použití magnetických střelek větších hrot jehly mírně zakulatíme. Toto zakulacení, které se nedá předpisovati, určujeme zkouškou. Velikou úlohu hraje v tomto přizpůsobování jehly požadovaná citlivost magnetické střelky. Když jsme zjistili vyhovující poloměr zakulacení jehly, změříme tento mikroskopem (obr. 428.) a podle vyhovujícího vzoru kontrola velikosti zakulacení jehly je pak u dalších jehel snadná.

Přesné tachymetry — optická dálkoměrná zařízení.

1. Dálkoměrná zařízení s použitím achromatického klínu.

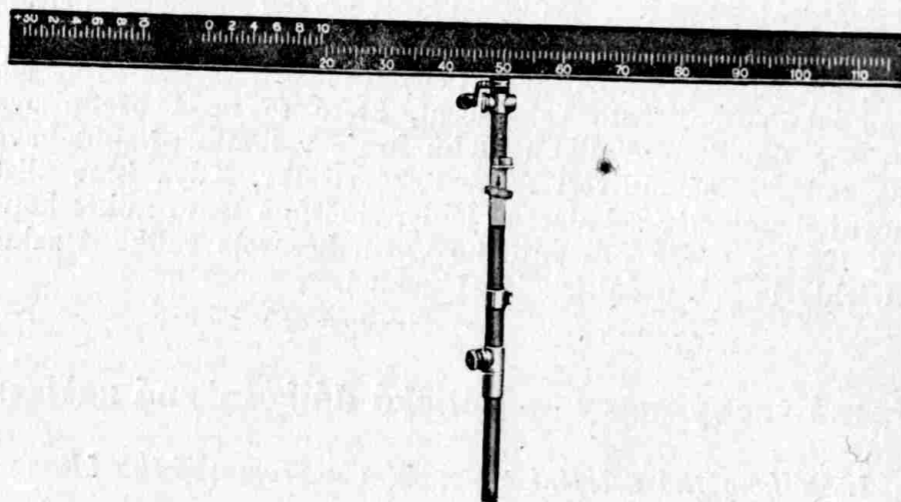
Tato zařízení jsou buď zhotovována jako nástavce na teodolity nebo jsou na teodolitu přímo připojena. Skládají se skoro ve všech případech z jednoho nebo dvou achromatických klínů, zařazených před objektivem do chodu paprsků.



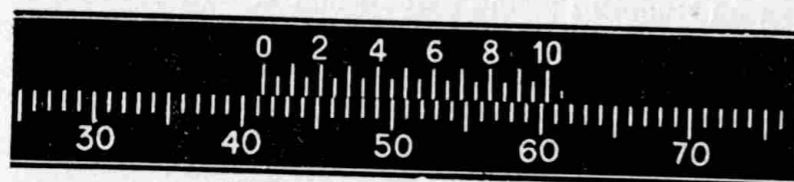
Obr. 429. Objímka s dálkoměrným klínem.

Před objektivem teodolitu se nasadí objímka (obr. 429.), která obsahuje achromatický klín, kryjící polovinu plochy vstupní pupily. Klín se dá odklopiti. Objímka se nasadí tak, aby směr klínu byl vodorovný. Paprsky vycházející z prostoru předmětu, vnikají částečně přímo do objektivu teodolitu, pokud objektiv není zakryt klínem, a částečně vnikají do objektivu klínem. Pro lepš

porozumnění představíme si, že směr pohybu světla je opačný, to znamená, že paprsky vycházejí ze záměrného obrazu. Svazek paprsků vycházející z jednoho bodu zorného pole, mění se objektivem do svazku rovnoběžného. Polovina je klínem uchýlena. Odchýlené paprsky svírají konstantní úhel s paprsky neuchýlenými a jsou určeny velikostí klínu.



Obr. 430. Měřicí latě.



Obr. 431. Obraz lati v dalekohledu.

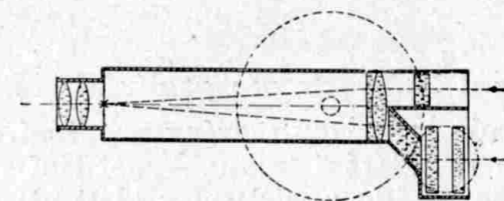
Při měření tímto zařízením používáme přesnou vodorovnou latě, která je postavena na stojanu (obr. 430.). Představíme-li si, že první polovina uvedených paprsků vychází z jednoho bodu dělené lati, druhá polovina z jiného bodu, pak je jasno, že v dalekohledu vidíme oba body společně, jinak řečeno, spatříme dvojitý obraz lati. Odchylující (dálkoměrný) úhel klínu je vždy volen tak, aby jeho tangenta se rovnala jedné setině. Vzdálenost, o kterou oba obrazy jsou proti sobě posunuty (obr. 431.), je tedy jedna setina vzdálenosti nebo velikosti posunu v centimetrech a rovná se vzdálenosti lati od klínu v metrech. Dělení lati je centimetrové a na jednom konci je umístěn nonius. V dalekohledu odečítáme noniem jednoho obrazu na dělení druhého. Nonius má 20 dílků, takže je možno na lati odečísti dvacetiny centimetru, které odpovídají pěti

centimetrům ve skutečné vzdálenosti. Při tom můžeme ještě odhadnouti $\frac{1}{2}$, to znamená 2.5 cm ve vzdálenosti. Addiční konstanta, t. j. vzdálenost klínu od točné osy dalekohledu, je odstraněna posunem nonia v $\frac{1}{100}$ této vzdálenosti na lati.

Dělení lati je provedeno na invaru, který prakticky nemá koeficient roztažnosti. Zbytek tohoto koeficientu je používán pro kompensaci tepelných vlivů na skleněný klín. Latě je vybavena libelou pro vodorovné postavení a průhledítkem pro postavení kolmo na visuru. Na zasouvacím stojanu lati je krabicová libela pro jeho svislé postavení a dělení pro odečítání výšky lati nad zemí. Stojan a kostra lati jsou z lehkého materiálu.

2. Autoredukční tachymetry Zeiss-Bosshardt.

Jako v právě popsaných dálkoměrných zařízeních měříme tímto přístrojem vzdálenosti dvojitým obrazem vodorovné lati, který spatříme v dalekohledu. Jak uvedeno, byla tangenta dálkoměrného úhlu u jednoduchého klínu konstantní a rovnala se $\frac{1}{100}$. U autoredukčního tachymetru »Redta« dle Bosshardt-Zeisse rovná se tangenta $\frac{1}{100}$ jenom při vodorovné visuře. Při skloněné visuře zmenší se tangenta dálkoměrného úhlu s cosinusem vertikálního úhlu. Není tedy nutno stonásobnou hodnotu odečtenou na lati násobiti cosinem vertikálního úhlu, nýbrž čtení na lati v cm udá nám přímo vodorovnou vzdálenost lati od stanoviště přístroje.



Obr. 432. „Redta“ (Zeiss-Bosshardt), schema.

U dalekohledu »Redta« je spodní polovina objektivu kryta hranolem, který svazek rovnoběžných paprsků (představíme-li si zase opačný chod světla) vycházejících ze spodní poloviny objektivu paralelně snižuje, aby prošly dvojitým klínem, umístěným ve zvláštním prostoru před objektivem pod optickou osou. Klíny jsou otáčivé kolem osy, rovnoběžné k ose dalekohledu a jsou poháněny ozubeným převodem, vycházejícím od ozubeného vertikálního kruhu a sice tak, že každý z těchto klínů se otočí o úhel α a každý v jiném smyslu, točíme-li dalekohledem o vertikální úhel α . Základní polohu mají klíny při horizontální visuře dalekohledu a působí společně odchylku osového směru $\frac{1}{100}$. Při skloněném daleko-

hledu vyzdvihuje se vertikální složka odchylky jednoho klínu a vertikální složka odchylky druhého klínu a souhrn horizontálních složek je pak menší a sice je přesně:

$$\frac{1}{100} \cdot \cos \alpha.$$

Každý klín je sám pro sebe chromaticky korigován. Největší přesnost je nutná při provedení ozubení koleček převodu, což tento stroj velmi zdražuje.

Před horní polovinou objektivu je umístěna kolem vertikální osy otáčivá planparalelní deštička, která horní svazek paprsků rovnoběžně posune v rozsahu 2,5 mm. Vodorovná lať má dělení dvoucentimetrové a je opatřena noniem dvacetidílkovým. Nonius tedy dovoluje odečísti vzdálenosti na 10 čm a na bubnu uvedené planparalelní deštičky, kterou docílíme koincidence mezi čarou dělení a nejbližší čarou nonia, můžeme ještě odečísti centimetry ve vzdálenosti.

Další výhodou »Redty« je, že podobně jako u Wildového universálního theodolitu, odečítací mikroskop kruhů je umístěn vedle tubusu dalekohledu. Přístroj je konstruován tedy k tomu účelu, aby práce byla i při rychlém měření co možná nejrychlejší a nejsnadnější. Chceme-li ovšem současně zjistiti výškové rozdíly, je přece nutno odečítati na vertikálním kruhu a použítí počítacích pomůcek, čímž výhoda drahého dálkoměrného zařízení částečně odpadá.

3. Autoredukční tachymetr pro používání vertikální latě.

Takové přístroje byly konstruovány na přání odstraniti počítání při detailním vyměřování terénu. Vypočítání vodorovné vzdálenosti a výškového rozdílu z odečtení na lati při používání logaritmického tachymetrického pravítka a při používání tabulek trvá nejméně dvakrát tak dlouho jako měření samo. Jak známo, je nutno používatí následující vzorec při tachymetrickém měření a při skloněné visuře

$$D = (100 l + c) \cdot \cos \alpha^2$$

$$V = (100 l + c) \cdot \sin \alpha \cos \alpha.$$

Při čemž znamená: *D* . . . vodorovnou vzdálenost,

V . . . výškový rozdíl,

l . . . délku na lati,

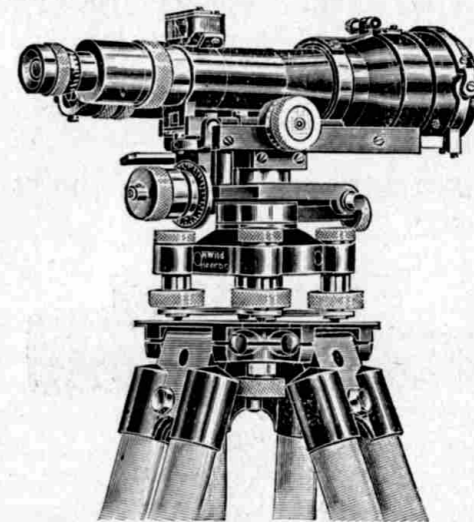
c . . . addiční konstantu,

α . . . vertikální úhel.

Addiční konstanta je sice skoro u všech moderních přístrojů prakticky odstraněna, ale odečtení a počítání s úhlem *α* je ztížení práce.

Firma Fennel konstruovala přístroj »Hamme-Fennelův autoredukční tachymetr«, který využívá jenom polovinu zorného pole dalekohledu pro pozorování cíle. V druhé polovině se zobrazují hranolovým systémem dvě křivky diagramu, který je umístěn v ložisku vodorovné otočné osy dalekohledu a které jsou vypočítány tak, že jejich radiální vzdálenost od základního kruhu, který je viděti jako úsek na vertikální hraně hranolu v zorném poli, se rovná vzdálenosti dálkoměrných nití násobené $\cos \alpha^2$ respektive $\cos \alpha \cdot \sin \alpha$ výškového úhlu. Odečítáme na lati tímto úsekem redukovanou vzdálenost a přímo výškový rozdíl. Multiplikační konstanta pro vzdálenost je jako obvykle 100 pro výšku 20.

Jiné systémy pro odečtení vzdálenosti používají pohyblivé nitě nebo ručičky, které se při sklonu dalekohledu k sobě blíží a které jsou poháněny křivkovou vačkou.



Obr. 433. Přesný nivelační stroj fy Wild.

Nivelační přístroje:

Úlohou nivelace je při zeměměření určití přesný výškový rozdíl v terénu. Nivelace je nejpřesnější prací v geodesii, což se již vyjadřuje v předpisech přesnosti: při délce nivelačního tahu jeden km je dovolena chyba 1 mm při technické nivelaci 10 mm.

Nivelační přístroje zjistí nám přesně vodorovnou rovinu, kterou odečítáme na centimetrové lati, výškový rozdíl mezi horizontem přístroje a stanovištěm latě.

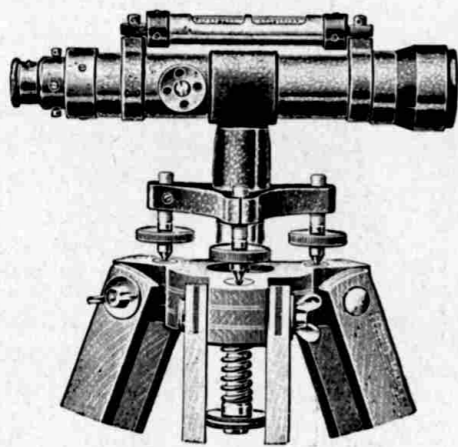
Řadíme-li na sebe taková měření, můžeme určití výškový rozdíl libovolně od sebe vzdálených bodů. Nivelační přístroj musí tedy míti dvě důležité součástky: dalekohled, kterým na lati čteme

a s ním spojenou nivelační libelu, která nám zaručuje vodorovnost visury. Podle přesnosti rozeznáváme: *Přesné nivelační stroje*, vyznačené velkým zvětšením dalekohledu (30—40×) a zařízením, které umožňuje přímo čísti milimetry a desetiny milimetrů výšky na centimetrové lati (obr. 433.).

Toto zařízení je silná planparalelní deska, umístěná před objektivem, která snižuje visuru v rozsahu až na jeden cm. Dále *nivelační přístroje pro obyčejná měření a malé nivelační přístroje*.

Pro dalekohled nivelačních přístrojů platí, co jsme psali o dalekohledu teodolitu. Také třínožka (podstavec) je stejná, jenže u nich najdeme častěji čepové stativy. Vertikální osa nivelačních přístrojů s ustanovkou a jemným pohybem je velmi podobná jako u teodolitu, který nemá repetiční osu, zejména, když nivelační přístroj je vybaven horizontálním kruhem. Hlavní rozdíl mezi teodolitem je v tom, že dalekohled se nedá sklonit, nebo jen v malém rozsahu, a že veškerá rektifikační zařízení mají za hlavní účel docílit vodorovnou visuru. Vodorovná točná osa, existuje-li vůbec, je často redukována na hrotové ložisko.

Podle konstrukce rozeznáváme velký počet typů, z kterých hlavní zde uvádíme.



Obr. 434.

1. Nivelační přístroj s pevným dalekohledem a pevnou libelou.

Tento nivelační přístroj (obr. 434.) se nastaví jenom třínožkou. Rektifikační podmínky jsou: osa libely má být kolmá k vertikální točné ose a rovnoběžná k záměrné ose dalekohledu. K tomu účelu musí být libela rektifikovatelná a také kolimační osa musí se dáti rektifikovati posunem nitkového kříže ve vertikálním směru. (Opak

teodolita.) Výhodou tohoto typu je poměrně jednoduchá a stabilní konstrukce, nevýhody jsou obtížná rektifikace a zdoluhavé nastavení stroje. Poslední je z toho důvodu důležité, jelikož nivelační stroj stojí při měření jenom krátký čas na jednom stanovišti, kterých je mnoho.

2. Nivelační přístroj s přeložitelným prstencovým dalekohledem, sázecí libelou bez elevačního šroubu.

Tubus dalekohledu objímají dva prstence s naprosto stejným průměrem, s kterými se dalekohled vkládá do polokroužkových nebo jehlových ložisek nosiče. Na horní volnou plochu prstenců se nasazuje sázecí nivelační libela. U tohoto typu je první nevýhoda předcházející konstrukce odstraněna. Přístroj dá se rektifikovati s jednoho místa a s jedním stanovištěm latě a sice, dalekohled v normální neb opačné poloze a libela v normální neb opačné poloze. Každé odečtení možno pečlivě kontrolovati, ale druhá nevýhoda — zdoluhavé nastavení — zůstala.

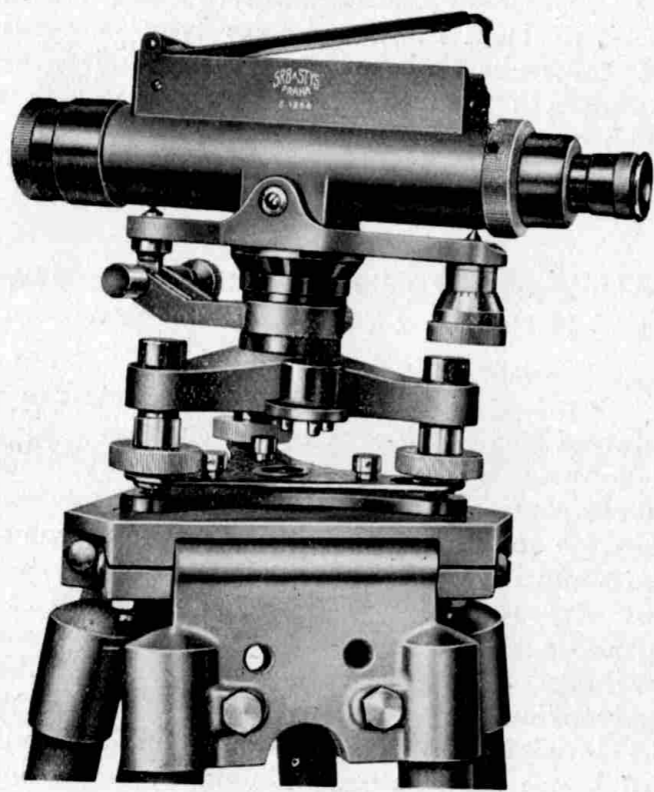
3. Nivelační přístroj s elevačním šroubem a s libelou, která je spojena s dalekohledem (obr. 435.).

Tento typ nivelačních přístrojů je velmi rozšířen a oblíben. U něho není nutno vertikální osu postavit s velkou přesností a pro toto nastavení stačí krabicová libela, spojená s třínožkou nebo nosičem dalekohledu. Ovšem je nutno při práci nastavit libelu dalekohledu elevačním šroubem před každým odečtením. Starší nivelační přístroje tohoto typu měly vodorovnou točnou osu dalekohledu na předním konci nosiče, tedy v určité vzdálenosti od vertikální osy. Při uvedeném nastavení libely zvedl se nebo klesl horizont dalekohledu, ovšem o nepatrný rozdíl. U novějších přístrojů je nevýhoda odstraněna tím, že točná osa dalekohledu je uprostřed, tedy přímo nad osou vertikální. Na předním konci dalekohledu je elevační šroub. Na zadním konci je pérující sloupek, tlačící přední konec dalekohledu dolů na hrot elevačního šroubu.

Tím, že dalekohled je ve svém středu uložen, je rameno, na které působí elevační šroub, dlouhé pouze jednu polovinu staré konstrukce. Aby působení elevačního šroubu nebylo veliké, musí být stoupání šroubu jemné. Tento způsob je obzvláště používán u přístrojů, u kterých jsou rozměry třínožky a nosiče dalekohledu redukovány na minimum. Nivelační libela je spojena s dalekohledem tak, že její osa se dá nastavit rovnoběžně k ose dalekohledu rektifikačním zařízením. Diaphragma je válcová objímka, kterou sice můžeme při rektifikaci točit pro svislé postavení kříže, ale nemůžeme křížem posouvat. Rektifikační podmínku, aby

osa libely byla rovnoběžná se záměrnou osou dalekohledu, můžeme vyplnit jenom rektifikací libely. Výhoda je v tom, že rektifikace je velmi trvanlivá. Libela je uzavřena v pouzdře, které je kryto skleněnou deskou. Objímka libely je bílá, aby tepelné paprsky nepůsobily na bublinu. Pro pohodlnější pozorování libely je pouzdro vybaveno sklopným zrcátkem, v kterém vidíme libelu s místa okuláru.

Nevýhoda těžkého nastavení přístroje byla tedy u tohoto typu odstraněna. V následujícím popíšeme ještě několik typů přístrojů, u kterých byla dosažena rychlá a přesná rektifikace z jednoho stanoviště.

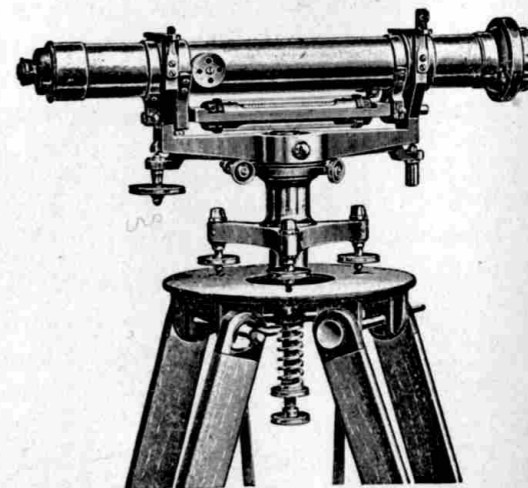


Obr. 435. Nivelační stroj.

4. Nivelační přístroj s prstencovým dalekohledem, se sázecí libelou a s elevačním šroubem.

Tento druh spojuje výhody přístrojů, které jsme popsali pod 2.) a 3.) a byl dlouho nejdokonalším typem nivelačních přístrojů. Dnes se používá již z toho důvodu málo, poněvadž sestává z třech součástí: z podstavce, z dalekohledu a ze sázecí libely, které ne-

jsou kompaktně spojeny. Prstence dalekohledu a sázecí plochy libely se časem opotřebují, následkem prachu, který se tam při práci dostane.



Obr. 436.

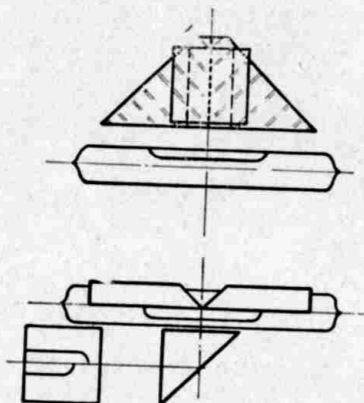
5. Nivelační přístroj s otáčivým dalekohledem, reversní nivelační libelou a s elevačním šroubem (obr. 436.).

Takové přístroje můžeme označiti za nejdokonalejší druh. Reversní libela má dvě rovnoběžné osy, to znamená, dvě mezi sebou rovnoběžné tangenty, na dva vybroušené oblouky v libelové trubici naproti sobě ležící. Tato rovnoběžnost, docílená správným umístěním dělení na obou stranách, musí býti provedením zaručena a není-li, nedá se žádným způsobem rektifikovati. Rektifikační podmínky tohoto typu jsou: podélná točná osa dalekohledu musí se rovnati záměrné ose. Mezi sebou rovnoběžné osy libely musí býti rovnoběžné k záměrné ose dalekohledu. Pro rektifikaci první podmínky musí býti kříž ve svislém a vodorovném směru pohyblivý, buď křížícími se páry rektifikačních šroubů, nebo dvojitou excentrickou objímkou. Používání excentru naprosto nedoporučujeme, jelikož konstrukce je drahá a rektifikace obtížná a jenom dobrým odborníkem proveditelná. Uvedená rektifikační podmínka (centrování osy) se kontroluje tak, že zaměříme na libovolný cíl, který se při točení dalekohledu nesmí hnouti oproti kříži. Pro vyplnění druhé podmínky je jeden konec reversní libely vybaven rektifikačními šrouby. Podmínka se kontroluje tím, že ustálíme libelu v jedné poloze, otočíme ji i s dalekohledem na druhou stranu, v kteréžto poloze zase musí býti ustálena. Není-li, odstraníme polovinu výchylky elevačním šroubem, druhou polovinu rektifikací libely.

Dalekohled je v nosiči uložen tak, že jím můžeme točiti kolem jeho podélné osy. Úhel, o který můžeme točiti dalekohledem, je přesně 180° , takže kříž se postaví také v druhé poloze svisle. Chod v ložiskách dalekohledu má být plynulý.

6. Nivelační přístroje s reversní (dvouosou) libelou, která je vybavena hranolovým systémem (obr. 437.).

Tento hranolový systém sestává ze dvou symetrických hranolů, které jsou nastaveny nad libelou tak, že jejich hrana padá do symetricky libely. V hranolech zrcadlí se polovina obou konců bubliny tak, že jejich obrazy se spojují na místě dotyku obou hranolů,



Obr. 437. Libela s pozorovacím hranolovým systémem.

jak je viděti na obr. 361. a 437. Společný obraz se zrcadlí ještě jednou v pozorovacím hranolu, aby byl pohodlně viděti z místa okuláru. Libela je správně ustálena, když čtvrtkruhové okraje do polokruhu splývají. Výchylku bubliny vidíme v hranolu dvojnásobně jako vzdálenost čtvrtkruhových okrajů. V tom je hlavní výhoda hranolového systému. Při stejné citlivosti stačí tedy poloviční vybroušený radius. Při kratším radiu menší citlivosti libela se rychleji uklidňuje a je také značně lacinější. Ve skutečnosti je přesnost ještě větší, poněvadž srovnání obou okrajů bubliny je snadnější, než srovnání okrajů s vyrytým dělením na trubici libely.

U nivelačních přístrojů používáme tohoto hranolového systému také pro reversní libely. Skleněná tělesa libel nejsou samozřejmě opatřena dělením, nýbrž jenom orientačním křížkem, označujícím přibližně střed. Někdy provádíme mimo délky bubliny ještě čárky, které v hranolovém systému jsou též viděti a musí splývat, čímž se zjistí správná poloha hranolového systému vůči

libele. V druhé poloze libely vidíme bublinu skrze náplň, jelikož hranolový systém je v té poloze pod libelou.

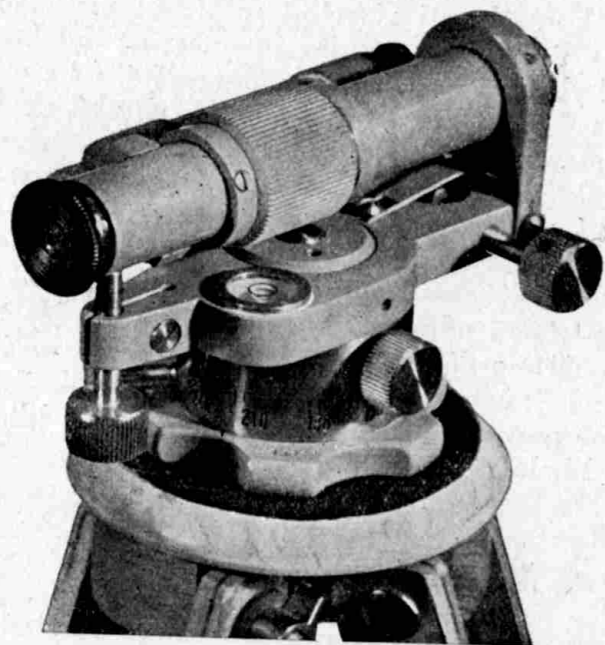
U přístrojů s takovou libelou přijde k uvedeným rektifikačním podmínkám ještě další: Poloha hranolového systému vůči libele musí být taková, aby protilehlé osy libely, touto polohou dány, byly rovnoběžné. Jak před tím uvedeno, jsou tyto libely v poslední době označeny dvěma čárkami, jejichž splýváním v hranolovém obrazu správná poloha se zjistí. Ovšem musíme se v tom případě spolehnouti na správné umístění čar. Pro objektivní kontrolu těchto poměrů je nutno, abychom si opatřili vodorovnou visuru, což je možno kontrolovati různými měřicími metodami. Zeissový přístroje jsou vybaveny biaxiálním (dvouosým) dalekohledem, aby tato kontrola byla možná z jednoho stanoviště. Část okuláru dá se vyjmouti a nasaditi do krytu objektivu. Ze zbytků okuláru se stane objektiv a přesazená část okuláru s objektivem dohromady dává okulár. Předpokládáme-li, že by osy libely byly konvergentní, pak je po přesazení okuláru směr konvergence opačný. Tím způsobem jsou čtyři různá odečítání na lati možná a sice: Dalekohled normálně montován a při tom libela na pravo nebo nalevo. Aritmetický střed všech čtyř čtení odpovídá vodorovné visuře. Na tento aritmetický střed zaměříme dalekohledem. Rektifikaci provádíme jednak skloněním libely vůči dalekohledu jejím rektifikačním šroubem, nebo posuneme pouzdro hranolového systému vůči libele a sice tak dlouho, až se libela přesně ustálí v obou polohách.

Malé nivelační přístroje.

Tyto konstrukce slouží hlavně pro účely stavitelů, stavebních inženýrů a mají být lehké a pohodlně nositelné. Za tím účelem bylo se strany vyrábějících firem mnoho řešení a tak najdeme někdy nivelační stroje, u kterých dalekohled je pohyblivě uložen a postaví se pomocí kyvadla vodorovně, nebo malé dalekohledy, montované na tyčovém stativu, u kterých vidíme v zorném poli kromě cíle libelu, takže můžeme v okamžiku ustálení bubliny odečísti na lati. Přesnost takových přístrojů stačila jenom pro nejpřimitivnější účely a nemohly se proto z tohoto důvodu v praxi rozšířiti.

Před několika lety uvedla na trh německá firma Krause kapsní nivelační přístroj, který lze namontovati na normální foto-stativ, jehož malé rozměry při poměrné přesnosti překvapily tentokrátě svět odborníků. Přístroj má tři stavěcí šrouby, pevný dalekohled a libelu a obraz se zaostruje pomocí postranního knoflíku, spojeného s kolečkem pohybuječím okulárovým tubusem.

V poslední době vzbudil pozornost odborníků kapesní nivelační přístroj pražské firmy Srb a Štys. Přístroj je v rozměrech o něco větší než přístroj Krausův, je tedy pohodlnější v obsluze a zvětšení dalekohledu je větší ($8,5\times$). Obraz se zaostruje ryhovaným prstěncem a také jinak je tvar přístroje kompaktní a uzavřený. Přístroj je vybaven malým děleným kruhem s příslušným noniem. Kruh je sám o sobě otáčivý a dá se nastavit tak, že je možné při měření nebo vytyčování nastavit odečtení nulové, nebo provést několikrát nezávislá měření úhlů. Přesnost čtení je $30'$, možno odhadnouti $15'$.



Obr. 438. Kapesní nivelační přístroj.

Přístroj není vybaven stavěcími šrouby, poněvadž docílená svislost osy postavením stativu vystačí pro veškeré účely. Dalekohled dá se sklonit elevačním šroubem a je spojen s nivelační libelou, kterou je nutno nastavit před každým odečtením.

Návod k odbornému justování nivelačních přístrojů.

Uvádíme typ nivelačního přístroje NN S. Š. s elevačním šroubem a libelou spojenou s dalekohledem.

Odchyly rektifikace, nutné u jiných typů, dají se snadno odvodit. Postup rektifikace:

Některá označení:

- VV = vertikální osa,
- ZZ = kolimační osa (osa záměrná),
- La = tangeční rovina krabicové libely,
- $LzLz$ = osa libely na dalekohledu.

1. Odstranění chyby vertikální osy.

Podmínka: VV = svislá. V prvé řadě vyjustujeme krabicovou libelu, která je na třínožce přístroje. Justujeme ji pomocí dalekohledové libely. K tomu účelu se dalekohled po uvolnění upevňovacího šroubu postaví do směru dvou stavěcích šroubů třínožky. Nastavení dalekohledové libely upravíme elevačním šroubem. Potom otočíme dalekohledem o 180° , odstraníme polovici nyní vzniklé výchylky libely na dalekohledu, stavěcími šrouby třínožky, k nimž je dalekohled rovnoběžný; druhou polovici výchylky odstraníme elevačním šroubem dalekohledu. Nyní otočíme dalekohledem o 90° a odstraníme celou úchytku libely třetím stavěcím šroubem. K odstranění existujících zbytků neopravených chyb je nutno popsán způsob celý opakovati tak dlouho, až dalekohledová libela stojí v nulové poloze v každém postavení dalekohledu. Pak je možno otáčeti dalekohledem kolem dokola, aniž by se bublina libely pohybovala.

Vertikální osa VV stojí nyní kolmo. Výběh krabicové libely musí býti teď úplně odstraněn. Krabicová libela spočívá ve středu na kuličkovém lůžku své podložky a je přidržována třemi tažnými šroubky, jež tlačí okraj libely dolů. Má-li se bublina libely posunovati ve směru jednoho ze šroubků, pak musíme tento šroubek uvolniti a oba zbývající šroubky utáhnouti. Tak docílíme snadno toho, aby se bublina postavila úplně soustředně ke kruhu vyrytému na skle libely. Při tom je nutno dívati se na libelu kolmo se shora, abychom odstranili paralaxu.

2. Svislé postavení nitkového kříže.

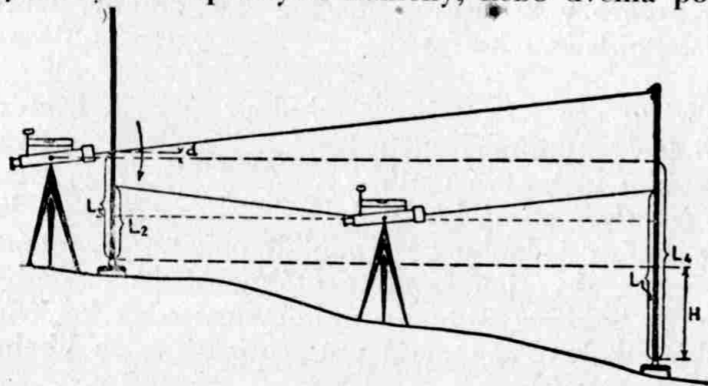
Nejjednodušeji přezkoušíme přesně svislé postavení vertikálního vlákna pomocí volně zavěšené olovnice v klidné místnosti a tak umístěné, aby se šňůra jasně odrážela od stěny. Postavení vodorovného vlákna nitkového kříže přesně přezkoušíme, když zaměříme na jasně viditelný, ostře definovaný cíl a pak otáčíme horizontálním jemným pohybem a necháme cíl projíti celým zorným polem. Tato zkouška je analogická zkoušce, prováděné u teodolitů. Při zjištění, že nitkový kříž není ve správné poloze, odšroubujeme okulárový klobouček. K tomu je nutno uvolniti nejprve zajišťovací šroubek, k němuž se dostaneme otvorem ve fokusovacím krouž-

ku. Zajišťovací šroubek úplně vyšroubujeme. Po odšroubování okulárového kloboučku objeví se diafragma. Diafragma je umístěna v krátkém tubusovém nástavci a je zajištěna šroubkem. Uvolníme tento zajišťovací šroubek, okraj objímky clonky uchopíme prsty a opatrně natočíme v potřebném směru. Pak utáhneme zajišťovací šroubek, našroubujeme okulárový klobouček a přezkoušíme, jak byl kříž vyjustován. Když se justování úplně nezdařilo, je nutno celý postup opakovat. Teprve, když kříž je správně umístěn, zašroubujeme otvorem ve fokusovacím kroužku vnější zajišťovací šroubek a pevně jej utáhneme.

Je nepravděpodobné, že jednou justovaný kříž se rozjustuje. Poněvadž přístroje opouštějí vždy továrnu přesně seřízené, bude velmi zřídka nutno provádět toto justování.

3. Seřízení libely na dalekohledu.

Podmínka: *LaLa* je rovnoběžná se *ZZ*. K tomu potřebujeme mít určenu přesně vodorovnou záměrnou osu. Opatříme si ji ne přímo nivelováním dvou posic měřické latě ze středu. Obě postavení latě mají být od sebe 8d—100 m vzdáleny a zajištěny buďto ze země vyčnívajících špičatými kameny, nebo dvěma podložnými



Obr. 439.

deskami. Nejdříve postavíme přístroj přesně do středu mezi obě stanoviska latí nebo, lépe řečeno, tak, aby obě stanoviska byla stejně od přístroje vzdálena. Postavíme na obě stanoviska niveláčnické latě a odečítáme při přesně horizontované libele. Přesto, že záměrné přímky jsou vzhledem k chybné poloze libely nakloněny, dostaneme rozdílem odečtených měření příslušný výškový rozdíl obou stanovisek bez chyby, díky stejným vzdálenostem přístroje od měřených bodů. Jsou-li L_1 a L_2 obě odečtené hodnoty na latích, máme

$$H = L_1 - L_2.$$

Potom postavíme přístroj blízko jednoho z obou stanovisek (na

př. II.). Niveláčnické přístroje dovolují měření ještě na vzdálenost 2.5 m. Odečtení latě na bodu II. můžeme považovat vzhledem ke krátké vzdálenosti za přesné, t. j. zanedbáváme malou odchylku d . K tomuto měření L_3 připočteme dříve měřený výškový rozdíl H .

$$L_4 = L_3 + H$$

a odečtení na lati stanoviska I se nastaví na hodnotu L_4 . Tím dostaneme výchylku libely, kterou odstraníme libelovým justovacím šroubkem. Již vzhledem k tomu, že jsme zanedbávali hodnotu d , je nutno poslední zaměření provádět znovu tak dlouho, až dostaneme na lati I odečtení

$$L_4 = L_3 + H$$

bez jakéhokoliv nastavování elevačním šroubkem.

Chceme-li justování provést s největší přesností, doporučujeme opakovat nivelování ze středu a překontrolovat tak výškový rozdíl H a případně provést příslušnou korekci.

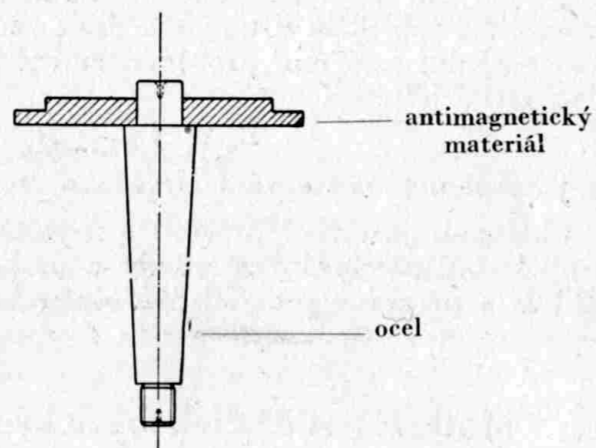
Materiál měřicích optických přístrojů, volba a zkoušení.

Nejčastějším vhodným materiálem pro shora uvedené je vysokokvalitní bronz, ocel, mosaz, hliník a ostatní lehké kovy (duraluminium, elektron, hiduminium, magnuminium a pod.). Záleží vždy pouze na okolnostech, v jakém poměru volbu materiálu provedeme, jelikož neexistuje předpis, podle kterého bychom se při volbě materiálu řídili. Největší péči ve volbě materiálu vyžadují stroje busolové, o nichž se zmiňujeme. Tyto musí být celé zhotoveny z antimagnetického materiálu vyjma případů, kdy osa busoly se stotožňuje s osou přístroje, takže vertikální osa přístroje může být zhotovena z oceli. Upozorňujeme však obzvláště, že toto se vztahuje pouze na vlastní osu bez upevňovacího kotouče.

Zmíníme se současně o oceli tak zv. antimagnetické, která svůj název snad má z toho důvodu, že nedá se zmagnetisovat, avšak jelikož obsahuje určité množství niklu a chromu, je proto podle našeho rčení (působí na střelku) magnetická a pro přístroje busolové nepoužitelná. Slitina bronze, kterou pro náš účel, t. j. zhotovování součástí busolových, použijeme, musí být složena pouze z kovů elektrolyticky přečištěných. V mnohých případech nevěnuje se volbě tohoto antimagnetického materiálu potřebná péče a teprve při dohotovení výrobku se pak zjistí, že střelka je necitlivá, to znamená, že není dostatečný počet výkyvů a při vychýlení se ustálí

vždy na jiné místo. Závady hledají se pak v tupé jehle a vlastním lůžku střelky.

Antimagnetičnost materiálu, která pro přístroje busolové s přesností odečtení magnetické střelky již na 6' je postačitelná, zjistíme pro dílenskou potřebu dostatečně přesně tímto způsobem: Materiál očistíme drátěným kartáčem a nejméně na 10 minut ponoříme do 20% roztoku louhu za účelem dokonalého očištění.



Obr. 440.

Po vyjmutí z roztoku a usušení snažíme se předmět dobrým permanentním magnetem zmagnetisovat tím způsobem, že obta-hujeme předmět magnetem, při čemž magnetem opisujeme křivku podobnou kruhu. Pak s materiálem, s kterým jsme tuto proceduru provedli, přiblížíme se k dobré magnetické střelce, dlouhé nejméně 150 mm, uložené ve skříni v podobě obdélníku a sklem uzavřenou a dobrou lupou pozorujeme, zda-li se střelka vychýlila. Podle veli-kosti vychýlení vyznačíme pak jakost materiálu pokud se týče anti-magnetičnosti.

Součástky, jako aretace střelky, aretační šroub a vlastní pouzdro busoly musí být u přesného busolového přístroje z ma-teriálu, který na střelku v délce 150 mm ani z části nereagoval. Z materiálu, který střelku vychýlil (nejvýše 0.5 mm) zhotovujeme potom součástky, které jsou více vzdálené magnetky.

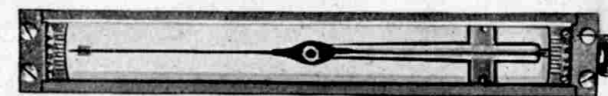
Někdy se však stane, že přesto, že volili jsme materiál, který plně při zkouškách předchozích vyhovoval, při složení přístroje magnetická střelka vykazuje velké úchytky a tudíž nevyhovuje.

Důvody mohou být:

2. špatné lůžko střelky,
1. tupý hrot jehly,
3. nedostatečné zmagnetování střelky.

Když jsme všechny tyto elementy přezkoušeli a shledali v po-řádku, mohou být eventuelní závady ještě v následujícím:

a) Při řezání závitu v samotné busolové skříni a nebo v její největší blízkosti ulomila se nepatrná část závitníku nebo vrtáku na jeho břitu. Tato část, tak malá, že jsme tuto okolnost ani ne-pozorovali, způsobila závadu, která se projeví nepřesností střelky. V tomto případě je nejvýhodnější znovu provést u podezírané části zkoušku na antimagnetičnost způsobem již vysvětleným a tuto nahraditi novou, správně vyzkoušenou. Z praktického hlediska do-poručujeme vůbec prováděti u důležitých součástí zkoušku na anti-magnetičnost dvakrát. Jednou u materiálu před opracováním, po druhé u úplně již opracovaného předmětu před olakováním, stří-břením, tedy před konečným smontováním.



Obr. 441.

Konečně se může vyskytnouti u přesného busolového přístroje ještě jedna nepředvídaná závada, kdy magnetická střelka přesto, že jsou veškeré předpoklady pro správnou funkci střelky, nevyhovuje, a to v případě, kdy skříň magnetické střelky uvnitř lakujeme.

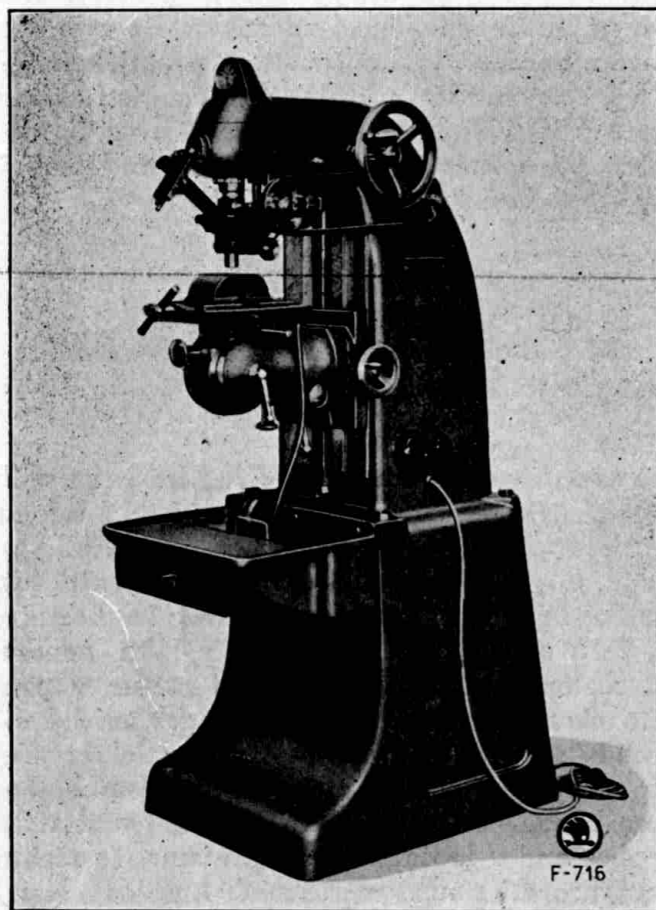
Při použití laku za studena se stává, že horní vrstva laku uschne tak, že u spodní vrstvy výpary z laku nemohou odejít. Tyto potom rozleptávají materiál, jsoucí s ním v přímém styku, při kterémžto chemickém procesu vzniká galvanický článek, jehož indukční proudy působí nepříznivě na magnetickou střelku.

Totéž se opakuje i v případech, kdy místo olakování skříně tuto vylepíme bílým kartonem a rozleptávání materiálu způsobují chemikalie, obsažené v lepidle. Upozorňujeme, že těchto eventualit je třeba se vyvarovati pouze u přesných busolových přístrojů, kde požadovaná přesnost odečtení magnetické střelky je nejméně 6'.

Materiál součástek, které pak musí pokud možno zachovávatí stále svůj tvar a rozměry (osy, šnekové ústrojí okuláru, saničky a pod.), zkoušíme přímo na opotřebování, které oproti zkouškám podle Brinella, Rockwella neb Vickerse má mimo jiné tu velkou výhodu, že princip zkoušení tímto způsobem je nejvíce přibližný skutečnosti, kde materiál se za určitých okolností opotřebí, t. j. znehodnotí. Uvádíme popis a postup zkoušek na tomto novodobém přístroji Škoda-Savin. Podle výsledků, docílených na tomto přístroji, volíme pak vhodnou jakost materiálů, uvedených již na začátku této kapitoly.

Novodobý způsob zkoušení materiálu na opotřebení.

V technice jest dosud uplatňován názor, že je možno podle tvrdosti materiálu usuzovati na jeho odolnost proti opotřebení; tedy čím vyšší jest číslo tvrdosti, tím větší jest odolnost výrobku proti opotřebení.

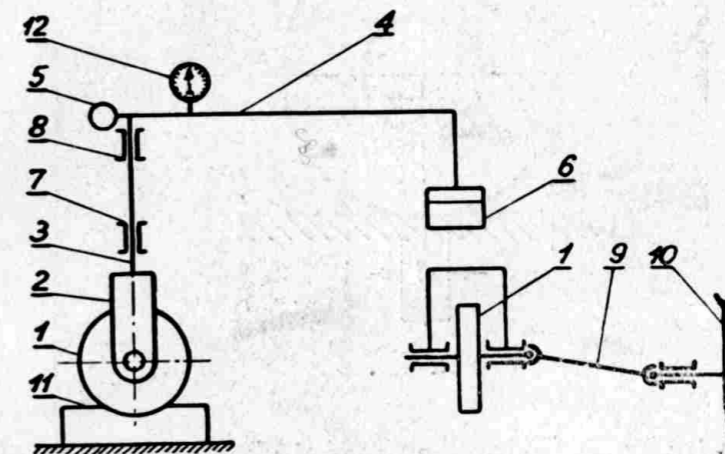


Obr. 442.

Ve skutečnosti není však žádné zákonité souvislosti mezi tvrdostí a odolností proti opotřebení, což bylo prokázáno zkouškami různých badatelů. Stejně není známa souvislost opotřebení s jinými mechanickými hodnotami materiálu. V praxi se stále naráží na případy, kdy výrobky s vysokými čísly tvrdosti dle Brinella, Vickerse neb Rockwella mají mnohem menší odolnost proti opotřebení, než stejné výrobky s podstatně nižšími čísly tvrdosti.

Opotřebení kovového předmětu pod vlivem tření je obvykle prováděno dvěma hlavními způsoby; přesouváním částic materiálu na povrch předmětu a odtrháváním jich od tělesa. Všeobecná metoda vhodného zkušebního stroje na opotřebení má se tudíž co nejvíce shodovati s tímto procesem.

Na tomto podkladě byl Škodovými závody v nedávné době zhotoven stroj typu Škoda-Savin — obr. 442.



Obr. 443.

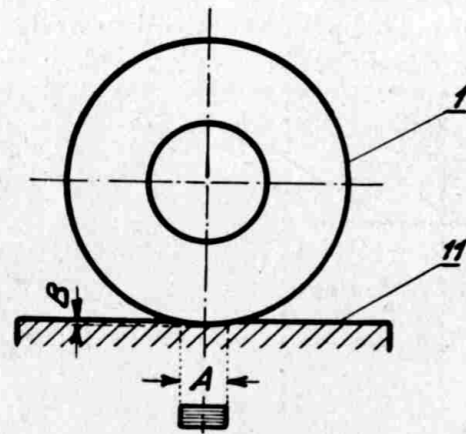
Popis tohoto stroje dle schema na obr. 443. je následující:

Kotouček 1 z tvrdého kovu Widia XX, (t. j. z karbidwolframu) o Φ 30 mm a šířce 2,5 mm jest uložen v ložiskách třmenu 2. Na kotouček působí váha závaží 6, prostřednictvím páky 4, otočné kolem osy 5 a táhla 3, které jest uloženo v pouzdrech 7 a 8. Toto závaží spolu s uvedeným mechanismem působí na kotouček tlakem 15 kg. Kotouček 1 jest poháněn pomocí elektromotoru 0,5 HP, uloženého ve stojanu stroje. Převod od motoru ke kotoučku děje se řemenicí 10 a dále Hook-ovým kloubem 9. Zkoušený předmět 11 chladí se při zkoušce proudem vhodné tekutiny (půlprocentní roztok K_2CrO_4 [chroman draselný] v destilované vodě), dopravované pumpičkou, uloženou ve stojanu stroje.

Kotouček 1 vybrousí na zkoušeném předmětu 11 malé prohloubení ve tvaru válcového segmentu, jehož délka »A« (obr. 444.) se po ukončení (na př. po 3000 i více otáčkách kotoučku) změří mikroskopem, pohyblivě upevněným na boku stroje. Podle této délky se zjistí v tabulkách objem prohloubení v tisícinách krychlového milimetru, a tímto číslem se udává míra odolnosti materiálu proti opotřebení (otírání).

Zkoušky lze však aplikovati i na stálý objem prohloubení, jinak řečeno: na stálou hloubku vybroušeného segmentu. V tom

případě se stroj zastaví tehdy, když ručička hloubkoměru 12 (obr. 443.), který jest ve stálém spojení s kotoučkem; dosáhne předem určené hloubky »B« (obr. 444.). Odolnost proti opotřebení stanoví se pak otáčkami kotoučku, které ukáže počítadlo v okamžiku zastavení stroje.



Obr. 444.

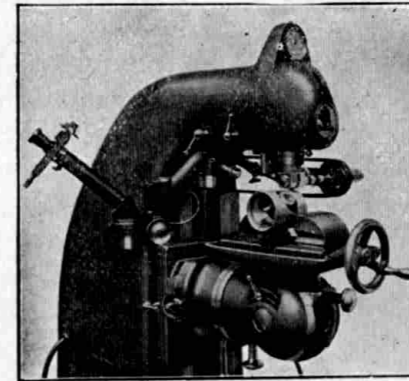
Na stroji »Škoda-Savin« lze provést zkoušku opotřebení rychle a se zaručenou vysokou přesností, při čemž je používán nejen pro zkoušení materiálových vzorků, ale též hotových výrobků bez jejich znatelného porušení. Z četných případů uvádíme na obr. 445. zkoušku automobilového pístu, na obr. 446. zkoušku spirálového vrtáku a na obr. 447. zkoušku hřídele s ozubenými koly pro obráběcí stroj.

Přesnost a spolehlivost funkce stroje a widiového kotoučku lze kdykoliv zjistit na etalonu, jež bývá vždy se strojem dodán. Těmito etalony jsou zpravidla koncové měrky firmy *Johansson* (Švédsko) neb jiných vedoucích firem. Charakteristikou jejich jest stejná odolnost proti otírání měrných ploch v kterýchkoliv místech i v hloubkách; tato odolnost se nemění s dobou, t. j. materiál těchto etalonů nepodléhá stárnutí. Odchytky číselných výsledků jednotlivých zkoušek nepřevyšují na nich střední aritmetickou hodnotu o +6%, ale zpravidla bývají mnohem nižší.

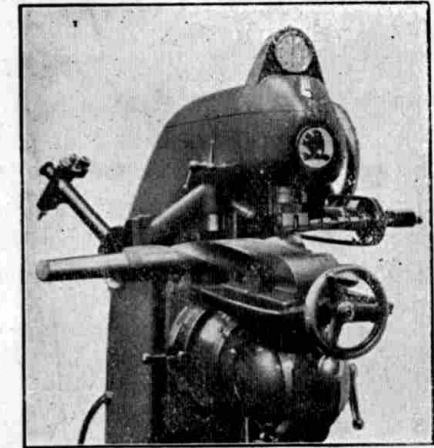
Základním faktorem zkušebního kotoučku jest jeho stálá brusná schopnost, prokázaná na etalonu periodicky prováděnými zkouškami při stálých podmínkách.

Vlastní opotřebení tohoto kotoučku při správném jeho ošetřování bývá zcela nepatrné. Na př. po vykonaných 6,000,000 pracovních otáčkách — což odpovídá minimálně 2000 zkouškám různých kalených ocelí — zmenšil se jeho průměr jen o 3 μ .

Odchytky číselných výsledků jednotlivých zkoušek, provedených v různých místech povrchových vrstev výrobků od jejich střední aritmetické hodnoty, svědčí o rozdílném složení a stavu částic této vrstvy.



Obr. 445.



Obr. 446.

Vybroušením materiálu do různých hloubek a opakováním zkoušek na těchto předmětech po uplynutí určité doby lze sledovat změny odolnosti proti otírání povrchových vrstev widiovým kotoučkem v závislosti na hloubce a zjistit stupeň jejich sklonu k stárnutí.

Celkové množství materiálu, vybroušeného widiovým kotoučkem, slouží nejen k charakteristice odolnosti proti opotřebení, ale též k posouzení napětí povrchových vrstev.

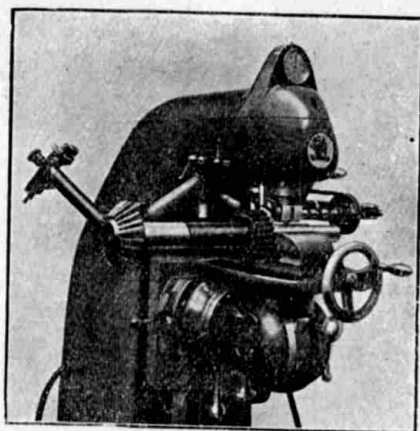
Četnými zkouškami byla dokázána přímá souvislost mezi velikostí otírání a stupněm napětí povrchových vrstev, což souhlasí se známým faktem, že vnitřní napětí materiálu má vliv na jeho specifický odpor řezání.

Rozdíly v tvrdosti vznikají vlivem různého povrchového opracování a projevují se u stejného materiálu zpravidla souhlasně s hodnotami jeho opotřebení. Avšak při vzájemném porovnání různých materiálů mezi sebou přichází se k dávno známému faktu, že někde při stejné hodnotě tvrdosti jsou hodnoty opotřebení různé a že na př. menší tvrdosti odpovídá mnohem větší odolnost proti opotřebení. Není žádných důvodů, aby se pochybovalo o těchto rozdílech mezi tvrdostí a opotřebením. Zkoušky tvrdosti, t. j. odpor povrchových vrstev materiálů proti vnikání cizího tělesa (na př. diamantu u Vickerse), probíhají za úplně jiných podmínek, než zkoušky odolnosti proti opotřebení těchto povrchových vrstev pod vlivem toho či jiného druhu tření.

První případ představuje stlačení zkoušeného materiálu statickým tlakem kolmo k povrchu diamantu, s malým tangenciálním pohybem částic materiálu. Takto vytvořený důlek navykazuje obvykle značnějšího porušení materiálu a také se při těchto zkouškách nevyskytují třísky.

Při všech zkouškách tvrdosti neprojeví se téměř vliv napětí v povrchových vrstvách.

Ve druhém případě, t. j. při zkouškách odolnosti povrchových vrstev proti opotřebení, nastává značné přemístění částic materiálu a jeho přetvoření v nejdrobnější prášek; na př. vybrušování důlku widiovým kotoučkem. Při těchto zkouškách nastává tudíž uvolnění vnitřních sil, jež napomáhají rozpadávání materiálu.



Obr. 447.

Fysikální zjevy praktického opotřebení materiálu mají tedy velmi málo společného s tím, co se pozoruje při zkoušení tvrdosti. Zjevy otírání povrchových částic materiálu na různých dnes existujících strojích a aparátech pro zkoušení opotřebení shodují se všeobecně se způsoby opotřebení třecích ploch ve strojích, nehledě na rozmanitost těchto způsobů. Přímá závislost tvrdosti s odolností proti opotřebení na tovarech jest možna jen tehdy, jsou-li vyrobeny z materiálu *téhož původu a složení*, který byl stejně termicky a mechanicky zpracován, jinak řečeno v případě hromadné výroby.

Zkouška tvrdosti nezaznamenává rozdíly napětí povrchových vrstev a proto nemůže dáti správný názor o odolnosti proti opotřebení; touto zkouškou není také normálně možno zachytiti zmetek, zaviněný tepelným zpracováním nebo broušením po kalení.

Vysoká přesnost práce stroje Škoda-Savin umožňuje též jeho použití ke zjištění změn složení nejtěsnějších povrchových vrstev vý-

robků, které vzniknou v těchto vrstvách vlivem tepelného a konečného mechanického opracování. Takové změny bylo dosud možno zjistiti pouze použitím fyzikálních metod, které vyžadovaly dlouhé doby a značných nákladů.

Zvláštní pozornosti zasluhuje zmíněná již možnost použití stroje pro badání vlivu doby stárnutí na změny v povrchových vrstvách. Celá řada přesně provedených zkoušek prokázala na některých litých výrobcích s opracovaným, hladkým povrchem a na předmětech z legovaných ocelí, tepelně a mechanicky opracovaných, podstatné zhoršení odolnosti proti opotřebení po uplynutí doby 1 až 5 měsíců; u jiných bylo naopak konstatováno nevelké zlepšení a konečně některé materiály nevykázaly skoro žádných změn.

Na základě opakovaných měření opotřebení povrchových vrstev zkoušených materiálů v jejich různých hloubkách jest možno zcela spolehlivě posouditi:

1. vliv neopatrného ostření rezných nástrojů na snížení jejich výkonů;
2. vliv leštění a různých podobných způsobů konečného opracování povrchu kalibrů a jiného měřicího náradí na jejich opotřebení;
3. stav (stabilní nebo labilní) povrchových vrstev přesně opracovaných výrobků a možné podstatné změny jejich odolnosti proti opotřebení během nejbližších týdnů a měsíců po definitivním zhotovení (kalibrovaný drát, válce automobilových a leteckých motorů, duše dělových hlavních, pouzdra a různé vodící plochy, třecí povrchy různých přístrojů a strojních agregátů vůbec).

Strojem Škoda-Savin určují se druhy materiálů a též i způsoby jejich tepelného zpracování (normalisace, kalení, napouštění, umělé stárnutí), jakož i jejich konečné mechanické opracování (broušení za mokra a za sucha, leštění, lakování, honing, naklepávání atd.), které vykazují nejpriznivější výsledky s hlediska nejmenšího a stabilního opotřebení. Dle této metody jest možno vyšetřiti kvalitu výrobků s nitrovanými, pochromovanými a jinými povlaky.

Stroje Škoda-Savin používá se všeobecně při zkoušení rozmanitých druhů materiálů, jako karbidů, tvrdých slitin, veškerých druhů lité, kované a válcované oceli, bronze, lehkých kovů i jejich slitin atd. Odolnost oproti opotřebení zjistíme vždy v absolutních číselných hodnotách.

Četnými zkouškami se zjistilo, že sebe menší změna složení chladící tekutiny má vliv na výsledky zkoušek. Proto lze tímto strojem prováděti přesné porovnávací zkoušky různých tekutin, jako olejů, emulsí a pod., jichž se používá k mazání a chlazení nástrojů a výrobků při jejich mechanickém zpracování.

Stroj Škoda-Savin, jehož původ je čistě tuzemský, znamená novodobý přínos do stávajících zkušebních metod kovových materiálů.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY:

- Berek, Grundlagen der praktischen Optik, Berlín - Lipsko 1930,
Blein, Optique Géométrique, Paříž 1913,
Bouasse, Cours de physique IV. Optique, Paříž,
Czapski, Theorie der optischen Instrumente nach Abbe,
Lipsko 1904,
David, Photographisches Praktikum, Halle 1921,
Elementary optics, War Dept. Washington 1921,
Eppenstein - Czapski, Grundzüge der Theorie opt. Instrumente, Lipsko 1924,
Gleichen, Lehrbuch der geom. Optik, Lipsko 1902,
Gleichen, Theorie der modernen opt. Instrumente, Stuttgart 1911,
Gleichen - Klein, Schule der Optik, Stuttgart 1914,
Henker - Pistor, Einführung in die Brillenlehre, Weimar 1927,
Herzberger, Strahlenoptik, Berlín 1931,
Helmholtz, Hdb. d. physiolog. Optik, Lipsko 1867,
Chrétien, Calcul des combinaisons optiques, Paříž 1928—29,
v. Koenen, Geometrische Optik (Hdb. d. Physik) Berlín 1927,
König, Fernrohre und Entfernungsmesser, Berlín 1937,
Kučera, Nástin geometrické optiky, Praha 1915,
Mazuir, Traité de téletrie, Paříž 1931,
Nachtikal, Technická fysika, Praha 1937,
Novák, Fysika, Praha 1921,
Novák, Praktická fotografie, Brno 1926,
Pariselle, Les Instruments d'Optique, Paříž 1929,
v. Rohr, Die binokularen Instrumente, Berlín 1907,
v. Rohr, Die optischen Instrumente, Lipsko 1911,
v. Rohr, Theorie und Geschichte des phot. Objektivs, Berlín 1889,
Ryšavý, Nižší geodesie, Praha 1933,
Steinheil - Voit, Handbuch der angewandten Optik I.,
Lipsko 1891,
Strouhal - Novák, Optika, Praha 1919,
Teisler, Fotografický objektiv, 1912,
Weinfurter, Mikroskopická technika, Praha 1924,
Wood, Physical optics, New York 1934.

REJSTŘÍK.

- Aberace** (vada) sférická 64 n.
adaptace oka 226
afakie 237, 241
achromat (achromatický objektiv) 63 n.
akomodace 227 n., 236 n., 275
alhidáda 311
altitelemetr 166
analýza spektrální 25
anastigmat (objektiv) 87 n.
anastigmatický 68
anisotropie 278
Angström 12
apertometr 201
apertura číselná 199 n., 208
aplanat 85
apochromat 205
astigmatismus 66, 243 n.
astigmatismus oka 256, 253 n., 268
autokolimátor 184
autoredukční tachymetr pro vertikální
 lat 342
azimut astronomický 296
Balsám kanadský 63, 193
barvení preparátů 193
barvy spektrální 10
Beck, R. a J. 89
bělima 224
binokulární vidění 137
bod analaktický 126
bod blízký 227 n., 236, 238 n.
bod daleký 227, 234 n., 236, 239 n.
bod hlavní 58
bod uzlový (nodální) 57
Bosshardt-Zeiss 341
busola 329 n.
busola optická 336
busola orientační 331, 336
busola sázecí 333
busola s kapalinovou náplní 337
busolové přístroje záměrné 332
Camera lucida 198
camera obscura 74
citlivost libel 281
clona irisová 78
clona světelnosti (aperturní) 71
clona zorná (clona zorného pole) 71, 120
Corning Glas Works 27
Čáry Fraunhoferovy 24 n.
číslo Abbého 27
čočka asférická 65
čočka cylindrická 60 n.
čočka dvojvydutá (bikonkávní) 56
čočka dvojpupklá (bikonvexní) 56
čočka Fresnelova 53
čočka frontální 203 n.
čočka fokusovací 126, 298
čočka krajinářská 85
čočka kulová (sférická) 51 n.
čočka oka 224 n.
čočka ploskovydutá (plankonkávní) 56
čočka ploskovypuklá (plankonvexní) 56
čočka představná 94, 181
čočka spojná 52
čočka rozptylná 52
čočka tenká 59
Dalekohled Cassegrainův 177
dalekohled Galileův 171
dalekohled Gregory-ův 177
dalekohled Herschelův 178
dalekohled holandský 171
dalekohled hvězdářský 176
dalekohled lovecký 127 n.
dalekohled Newtonův 178
dalekohled nový 297
dalekohled nůžkový 138
dalekohled panoramatický 138 n.
dalekohled pomocný 123
dalekohled pro dva mířiče 144 a 185
dalekohled starý 297
dalekohled teodolitu 297
dalekohled terrestrický 128
dalekohled úhlový 138
dalekohled zenitopanomatický 143
dalekozrakost 236, 239, 259, 275
dálkoměr fotokomory 159 n.
dálkoměr invertní 162
dálkoměr koincidenční 162 n.
dálkoměr orto-pseudo-steroskopický 167

dálkoměr s pevnou měř. značkou 152 n.
dálkoměr s pohyblivou měř. značkou 156
dálkoměr (výkonnost) 170
dálkoměrná zařízení 339
decentrace skla 274
dekalumen 96
délka úsečková 262
délka vlny světla 9 n.
délka tubusu mechanická 196
délka tubusu optická 197
desky fotograf. ortochromatické 80
desky fotograf. panchromatické 80
deštička planparalelní 42
deštička záměrná 300
dělení 306 n.
dělení centesimální 306
dělení kruhu 306
dělení sexagesimální 306
deviator 157 n.
diaphragma 298
diasporometr 158, 160
diference noniová 311
difrakce 72
difusor osvětlovací 314
difusní lom a odraz světla 19
dioptrie 56, 233
disperse anomální 22
disperse částečná 27
disperse normální 22
disperse střední 27
disperse světla 21 n.
distorse 69
distorse brýlového skla 242
dílec 120
duhovka 224 n.
dvojice zrcadel 31 n.
dynametr Ramsdenův 114
Efekt Purkyňův 226
elipsa Tscherningova 243
epidiaskop 107 n.
episkop kulový 105
epizrcátko 209 n.
ericiskop 278
éter světelný 9
exentricita alhidády 311, 317
exentricita limbu 310
exposice 75
Fata-morgana 11
filtry barevné 94
filtry barevné (u mikroskopu) 192
fluorit 205
fokometr 265
fotometr 96 n.
frekvence 10
Geodetické stroje (udržování) 329
Goerz 87
Greenough 214
Hák Snellenův 231
hlavice úhlová 288
hledáček Adamsův 93
hledáček brilantní (Adamsův) 93
hledáček Newtonův 92
hledáček rámečkový 92
hledáček zrcadlový 93
hloubka obrazová 82
hloubka ohniska 81 n.
hranol Abbéův 41, 134
hranoly centrální 164 n.
hranol dle Porro 37 n., 129 n.
hranoly (justáž) 185
hranol Lemanův 41 n., 135
hranol pentagonální 292
hranol penta-střečkový 135
hranol pětiboký (pentagonální) 38
hranol pravoúhlý 36
hranol rhombický 39
hranol Schützův 331 n.
hranol Schmidtův 134
hranol střečkový 32, 40 n., 132
hranol úhlový Bauernfeindův 290
hranol úhlový dvojitý 291 n.
hranol úhlový Hensoldtův 292
hranol úhlový Wollastonův 293
hranol Wollastonův 138 n.
hranol Wollastonův dvojitý 141
hranol vzpřimovací (Wollastonův) 40
hypermetropie 236, 239, 259, 277
hypermetropie senilní 227 n., 239
Chance Brothers 27
charakteristika dělení 306
chyba indexová (teodolit) 298 a 328
chyba kolimační (teodolitu) 298, 325
chyba pyramidová 291
chyba točné osy (teodolitu) 302 n., 327
chyba ve vertikální ose 324, 351
chromatismus 62 n.
chromatismus sekundární 63
chromoptometrie 278
Iluminátor 210
iluminátor promítacího přístroje 95
imerse homogenní 205
imerse vodní 205
imerse bromnaftalinová 205
index lomu absolutní 14 n.
index relativní 14 n.
index (u teodolitu) 317
intensita světelná 95 n.
invar 341
Jas 98
justáž binokulárního dalekohledu 146 n.

justáž dalekohledu 179, 185
justáž nivelačních přístrojů 344, 350
justáž (teodolitu) 324 n.
Kazivec 305
klín 35
klín achromatický 35
klín dálkoměrný 339
kmitočet 10
kolektiv 117
kolimátor justážní 179 n., 186
kolimátor záměrný 181 n.
koma 65
kombinace Porro 37 n., 214
komora dírková 75
komora světlá 198
kompas 329
kompas geologický 331
kompas kapesní 330
kondenzátor kardiovodivý 213
kondenzátor mikroskopu 190 n., 194 n., 207 n.
kondenzátor promítacího přístroje 99
kondenzátor pro temné pole 212 n.
kondenzátor paraboloidový 212
konstanta geodetického stroje 125
konvence o znaménku úseček 45
konvergence 271
korekce aktinická 81
korekce fotografická 81
korekce visuelní 81
krátkozrakost 234, 240, 258, 276
kroužek dioptriový 123
kruh horizontální (u teodolitu) 304
kruh skleněný 311, 315
kruh vertikální 311
kryt kruhu (teodolit) 305, 317
kříž nitkový 300
kříž nitkový (rektifikace) 325, 351
kříž záměrný 287, 300
kříž zrcadlový 290
kříž fotografický 301
Lať invarová 341
lať vodorovná 340
Le Chatelier 219 n.
Leitz 197
leptání křížů záměrných 300
letikulár 235
libela 279 n.
libela dalekohledu (rektifikace) 328
libela (dělení) 283
libela komorová 282
libela krabicová 285
libela křížová 285
libela s hranolovým systémem 283, 348
libela s konstantní bublinou 282

libela nivelační (rektifikace) 352
libela rektifikační 296
libela reversní 280, 296, 347
libela sázecí 285, 346
libela stolní 284
libela trubcová 279
libeloměr 280
libely (vybroušení) 281
libely (výroba) 281
limbus 295, 310
lumen 95
lupa Brewsterova 188 n.
lupa Codingtonova 189
lupa Fraunhoferova 188 n.
lupa Stanhopeova 189
lupa Steinheilova 189
lupa Visolett 189
lupa Wilsonova 188 n.
lupa Wollastonova 188 n.
lůžko magnet. stělký 338 n.
Magnetka nožová 333
magnetka s kruhem 335
magnetka (závady) 353 n.
materiál (zkoušení) 353
meniskus rozptylný 56
meniskus spojný 56
metalografie 194, 219
metoda mlhová 277
metoda objektivní 275
metoda subjektivní 275
metoda šterbinová 277
Meyer 86, 87, 89, 92, 93, 94
mikrofotografie 196, 218
mikrofotokomparátor 221 n.
mikrometr okulárový 197
mikrometr optický 316
mikron 10
mikroprojekce 196
mikroskop binokulární 214 n.
mikroskop indexový (u teodolitu) 312
mikroskop noniový (u teodolitu) 313
mikroskop odečítací (u teodolitu) 312
mikroskop odečítací, zvětšení 315
mikroskop podle Le Chateliera 219 n.
mikroskop škálový (u teodolitu) 313
mikroskop šroubový 313 n.
mikrotom 193 n.
mohutnost čočky 56
mohutnost optická vrcholová 262
moment magnetický 329 n.
monochromat 205
myopie 234 n., 240, 258, 275
Nástavec projekční 109
neutralisování 263 n.
Newtonův vzorec 55

nivelační přístroje 344 n.
nivelační stroj kapesní 349
nonius 311
nosič dalekohledu 301 n., 312
Objektiv achromatický 203 n.
objektiv apochromatický 203 n.
objektiv dalekohledu 135
objektiv excentrický 299
objektiv imersní 201, 205
objektiv periskopický 85
objektiv Petzvalův portrétní 87 n.
objektiv projekční 101 n.
objektiv semiapochromatický 205
objektiv symetrický 85
objektiv Taylorův (triplet) 88
objímka libely 284
obraz reálný (reálný) 29, 46, 49
obraz skutečný 28, 46, 49
obraz virtuální (virtuální) 28 n., 46, 49
obraz zdánlivý 28 n., 46, 49
ocel antimagnetická 353
odchylka nejmenší (v hranolu) 24
odraz světla úplný (totální) 15
ohnisko čočky 52
ohnisko zrcadla 46 n.
ohnisková vzdálenost přední 57
ohnisková vzdálenost zadní 57
ohyb světla (difrakce) 72
oko ametropické 123 n.
okulár fluorescenční 200
okulár Gaussův 185
okulár Huygensův 118 n., 197, 206, 301
okulár Kellnerův 119, 301
okulár kompenzační 203, 206
okulár mikroskopu 290 n.
okulár mikroprojekční 222
okulár orthoskopický 119
okulár periplanatický 206
okulár Ramsdenův 118 n., 206 n., 301
okulár širokoúhlý 119
okulár teodolitu 301
olej cedrový 205
olovnice optická 322
optika fyzikální 12
optika geometrická 12
optotyp 231
osa alhidádová 320
osa cylindrická 320
osa repetiční 320
osa vertikální 319
osvětlení (exposice) 75
osvětlení kruhu 314
osvětlení plochy 96
otvor relativní (poměrný) 77
Paprsky gama 11

paprsky infračervené 11 n., 209
paprsky osově (paraxiální) 62, 65
paprsky ultrafialové 11 n.
paprsky X 11 n.
paralaxa dalekohledu 120
paralaxa dálkoměru 155
Parra-Mantois 27
Porro 37 n., 214
pentagon 292
perioda 10
periskop s velkým zvětšením 138
periskop tankový 145
periskop zrcadlový 145
perspektiva fotografická 83
Petzval 87 n.
plastika celková 151
plastika specifická 151
plocha sférická 65
podmínka sinusová 203 n.
podstavec teodolitu 322
pole zorné střední 71
poloměr zakřivení libel 280 n.
pomůcky k vytyčování konstant. úhlů 287
posun (hrubý a jemný u mikroskopu) 190 n.
preparáty mikroskopické 193 n.
presbyopie 238 n.
proud světelný 95
prstence dalekohledu 346
prsteneček Landoltův 231
průhledítka 288
přepočítávání astigmatických skel 250 n.
přesnost měření okem 289
přesnost úhlového hranolu 291
přístroj promítací písmo 110
průhled (vstupní a výstupní) 71
pseudoskopie 214 n.
pupila (vstupní a výstupní) 71, 113 n.
pupila (vstupní a výstupní) v mikroskopu 196
Rámování 155
redta 341
reflektor 49, 177
reflexy 211
refrakce atmosférická 19 n.
refrakce oka 234, 259
rektifikace nivelač. přístrojů 344, 350 n.
rektifikace teodolitu 324 n.
rektifikační zařízení libel 284
reiterace 296
repetice 296
retuš lokální 65
revolver mikroskopu 190 n.
Rodenstock 86 n.
röntgen 11 n.

rohovka 224
rovina hlavní 52 n.
rozbor spektrální 25
rozptyl světla lomem a odrazem 19
rozptylka 52
Řez hlavní 247
řez optický 203
Semiapochromat 205
sextant 294 n.
sferometr 265
sinus 14
sítnice 225 n.
schema internacionální 257
schema tabo 257
schopnost rozlišovací 73, 199 n.
schopnost rozlišovací oka 229
skla katrální 238
skla menisková 245
skla nejpříznivějšího tvaru 246
skla periskopická 245
sklárný optický 27
sklíčko krycí 193
sklo astigmatické 248 n., 268
sklo bifokální 265
sklo bikonvexní 241
sklo bikonkávní 241
sklo cylindrické 249, 268
sklo flintové 26 n.
sklo korunové 26 n.
sklo optické (různé druhy) 27
sklo plankovexní 241
sklo plankokávní 241
sklo podložní 193
sklo prismatické 268, 272 n.
sklo punktuální 243 n.
sklo torické 248, 268
skvrna slepá 225, 227
skvrna žlutá 225
spektrum 22 n.
spektrum čárové 24
spektrum pásové 24
spektrum sekundární 36, 203
spektrum spojitě 25
spojka 52
srovnání dálkové 153
srovnání výškové 153, 163
srovnávací lať 154
starozrakost 238 n.
stěna promítací 103 n.
stereogram 152
stereoskop 148 n.
stilb 98
stolek centrační (u mikroskopu) 192
stolek křížový (u mikroskopu) 192
stolek mikroskopu 190 n.

stroj dělicí 309 n.
střelka magnetická (materiál) 333
světelnost dalekohledu 116 n., 174
světelnost fotograf. objektivu 76 n.
světlo difusní 19, 212
světlo jednobarevné 10, 24
světlo monochromatické 10, 24
světlo rozptýlené (difusní) 19, 212
svíčka Hefnerova 96
svíčka mezinárodní 96
svítivost zdroje 95 n.
Šíře akomodace 227 n., 236 n., 239
škoda-Savin 356 n.
šroub centrální 322
šroub elevační 345, 347
šroub mikrometrický (u mikroskopu) 152
šroub stavěcí 322
systém fluoritový 205
systém vzpřimovací Goerz 141
systém vzpřimovací Jacob 141
systém vzpřimovací Pechan 141
systém vzpřimovací Siemens 141
Tachymetr 295
tachymetr autoredukční 341
tangens 57
Taylor-Hobson 88
telemetry (dálkoměry) 153
teleobjektiv 89 n.
teodolit 295 n.
teodolit balonový 323 n.
teodolit busolový 329 n., 335
teodolit reiterační 296
teodolit repetiční 296, 318
teodolit (součásti) 297
teodolit triangulační 295
teodolit Wild universální 315
teorie vlnová 9
tlak axiální 319
toroid 248
triedr 129 n.
triple-kondensor 100
tubus dalekohledu 298
tubus mikroskopu 190 n.
tulejka 319
tvar čočky 56
Ultramikroskopie 213
úhel dopadu 12 n.
úhel konvergenční 271
úhel lámavý (u hranolu) 23 n.
úhel lomu 12 n.
úhel mezní (hraniční) 15
úhel odrazu 12 n.
úhel otevření 71
úhel zorného pole 79
ustanovka centrální 321

ustanovka obvodová 320
 ustanovka svěřací 320
 Vada astigmatická 66
 vada asymetrická (koma) 65
 vada barevná (chromatická) 62 n.
 vada kulová (sférická) 64 n.
 vergence 233
 vernier 311
 vertikalluminátor dle Becka 215 n.
 vertikalluminátor dle Nacheta 210 n.
 vertikalluminátor pro temné pole 215 n.
 visus 231
 vlnění příčné 9
 vstupní pupila fotograf. objektivu 76
 výtah tubusový 190 n.
 vzdálenost ohniskové čočky 52 n.
 vzdálenost pracovní 205
 vzdálenost promítací 111
 vzdálenost skla (brýle) 258
 vzdálenost zornic 271
 vzorec Newtonův 55
 Zakřivení pole 68 n.
 zakřivení punktuálních skel 245
 zaostřování dalekohledu 122
 zákon o lomu světla 13 n.
 zákon o odrazu světla 13 n.
 záměrný obrazec 121

závěr šterbinový 75
 závěr žaluziový 75
 Zeiss 89, 91, 197
 zklenutí pole 241
 zkreslení 69, 242
 zona 65
 zorné pole dalekohledu 172
 zorné pole výpočet 120 n.
 zornice 224 n., 226
 zrcadlo kulové vyduté (konkávní) 44 n.
 zrcadlo kulové vypuklé (konvexní) 50 n.
 zrcadlo na 45° 34
 zrcadlo (materiál) 18
 zrcadlo otáčivé 33 n.
 zrcadlo parabolické 49
 zrcadlo projekční 100 n.
 zrcadlo rovné 27 n.
 zrcadlo trojboké 42
 zrcátko úhlové 289
 ztráta světla při odrazu 16 n.
 zvětšení dalekohledu 112 n., 171
 zvětšení lupy 187
 zvětšení mikroskopu 196
 zvětšení u zrcadel kulových 47
 zvětšení úhlové 57
 Žárovka bodová 208
 žárovka nízkovoltová 209.

O B S A H.

Úvod do optiky.

Všeobecná část	Str.	9.
Odraz a lom světla	"	12.
Disperse světla	"	21.
Rovná zrcadla	"	27.
Klíny a hranoly	"	35.
Kulová zrcadla	"	44.
Lom světla na kulových plochách. Čočky	"	51.
Tenké čočky a soustavy čoček	"	58.
Cylindrické čočky	"	60.
Vady čoček	"	62.
Clony, pupily a průhledy	"	70.
Ohyb světla, rozlišovací schopnost	"	72.

Fotografická optika.

Všeobecná část	Str.	74.
Dírková komora	"	75.
Světelnost, vstupní pupila, zorné pole	"	76.
Korekce fotografických objektivů	"	79.
Hloubka ohniska a hloubka obrazová	"	81.
Vliv ohniskové vzdálenosti objektivu na perspektivu	"	83.
Druhy fotoobjektivů	"	85.
Teleobjektivy	"	89.
Hledáčky, představné čočky, filtry	"	92.

Promítací přístroje.

Úvod	Str.	95.
Fotometrie	"	95.
Světlo u projekčních přístrojů	"	98.
Projekční objektiv	"	101.
Promítací stěna	"	103.
Několik konstrukcí promítacích strojů	"	104.

Dalekohledy a kolimátory.

Dalekohled Keplerův či astronomický	Str. 112.
Zvětšení dalekohledu	„ 112.
Světelnost dalekohledu	„ 116.
Zorné pole a okulár	„ 117.
Zaostřování dalekohledu	„ 122.
Konstrukce nejpoužívanějších dalekohledů	„ 125.
Dalekohled terrestrický	„ 127.
Dalekohledy hranolové	„ 128.
Periskopy	„ 138.
Dalekohledy binokulární	„ 146.
Plastické vidění	„ 147.
Stereoskopy	„ 148.
Stereoskopické dalekohledy	„ 150.
Stereoskopické dálkoměry	„ 152.
Telemetry koincidenční	„ 158.
Zvláštní případy a konstrukce	„ 165.
Přesnost dálkoměrů	„ 169.
Dalekohled holandský	„ 170.
Dalekohledy hvězdářské	„ 176.

Kolimátory justážní, kontrolní a záměrné.

Kolimátory justážní	Str. 179.
Kolimátory záměrné	„ 181.
Autokolimátory	„ 184.

Mikroskop a lupa.

Lupy, zvětšení, světelnost	Str. 187.
Vady obrazu, druhy lup	„ 188.
Mikroskop, všeobecná část	„ 190.
Chod paprsků v mikroskopu	„ 194.
Zvětšení objektivu a celého mikroskopu, zorné pole	„ 196.
Číselná apertura, rozlišovací schopnost, hloubka zorného pole	„ 199.
Korekce objektivů, druhy objektivů	„ 203.
Okuláry	„ 206.
Kondensory, osvětlovací zařízení	„ 207.
Osvětlení neprůhledných předmětů, vertikálníluminátory	„ 209.
Kondensory pro temné pole pro průhledné preparáty, ultramikroskop	„ 212.
Binokulární mikroskopy	„ 214.

Dílenské mikroskopy	Str. 218.
Mikrofotografie	„ 218.
Speciální mikroskopy	„ 221.

Oko a brýle.

Stavba oka	Str. 224.
Optická konstrukce oka	„ 225.
Funkce oka	„ 226.
Rozlišovací schopnost	„ 229.
Pojem dioptrie a vergence vůbec	„ 233.
Krátkozraké oko	„ 234.
Oko hypermetropické	„ 236.
Oko afakické	„ 237.
Oko starozraké či presbyopické	„ 238.
Druhy brýlových skel	„ 241.
Astigmatické oko a astigmatické sklo	„ 246.
Označování osy astigmatického skla	„ 257.
Vzdálenost skla od oka	„ 258.
Měření brýlových skel	„ 262.
Binokulární vidění a brýle	„ 270.
Ophthalmometrie	„ 275.

Geodetické přístroje a jejich pomůcky.

Libely	Str. 279.
Druhy libel	„ 279.
Pomůcky k vytyčování konstantních úhlů	„ 287.
Přístroje k měření horizontálních a vertikálních úhlů	„ 294.
Theodolity a podobné přístroje	„ 295.
Nejdůležitější součástky teodolitu	„ 297.
Balonové teodolity	„ 323.
Odborné justování (seřízení) teodolitů	„ 324.
Kompasy, busoly a busolové teodolity	„ 329.
Materiál magnetických střelek	„ 338.
Přesné tachymetry — optická dálkoměrná zařízení	„ 339.
Nivelační přístroje	„ 343.
Malé nivelační přístroje	„ 349.
Návod k odbornému justování nivelačních přístrojů	„ 350.
Materiál měřicích optických přístrojů, volba a zkoušení	„ 353.
Novodobý způsob zkoušení materiálu na opotřebení	„ 356.
Seznam použité literatury	„ 363.
Rejstřík	„ 365.

Výrobní program čsl. optických závodů

SRB A ŠTYS, Praha

Mikroskopy pro biologii a lékárnictví v monokulárním a binokulárním provedení, s doplňky pro temné pole a polarisaci. Tyto modely jsou též vhodné pro mikrofotografii a mikroprojekci. Jest velký výběr těchto přístrojů od malých amatérských až po velké vědecké modely.

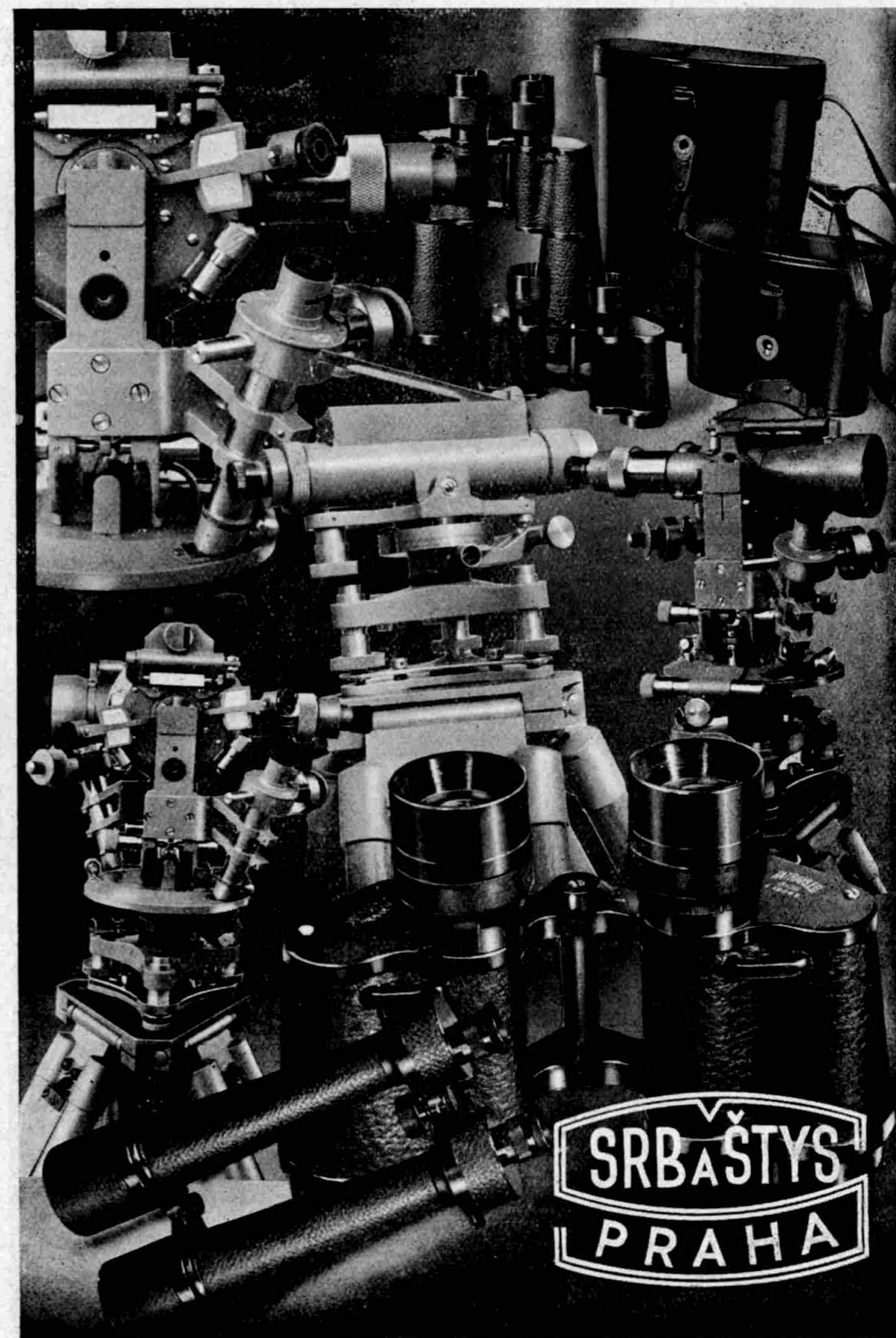
Teodolity s přesností 5 vteřin, další standardní modely s odečtením na 10, 20 a 30 vteřin. Speciální výzbrojí jest hranolový hledáček, elektrické osvětlení všech noniů, jakož i záměrného kříže pro práce v noci a v dolech. Pro technické školy se vyrábí malý model teodolitu s přesností 1 minuty a dalekohledem zvětšujícím $12\times$.

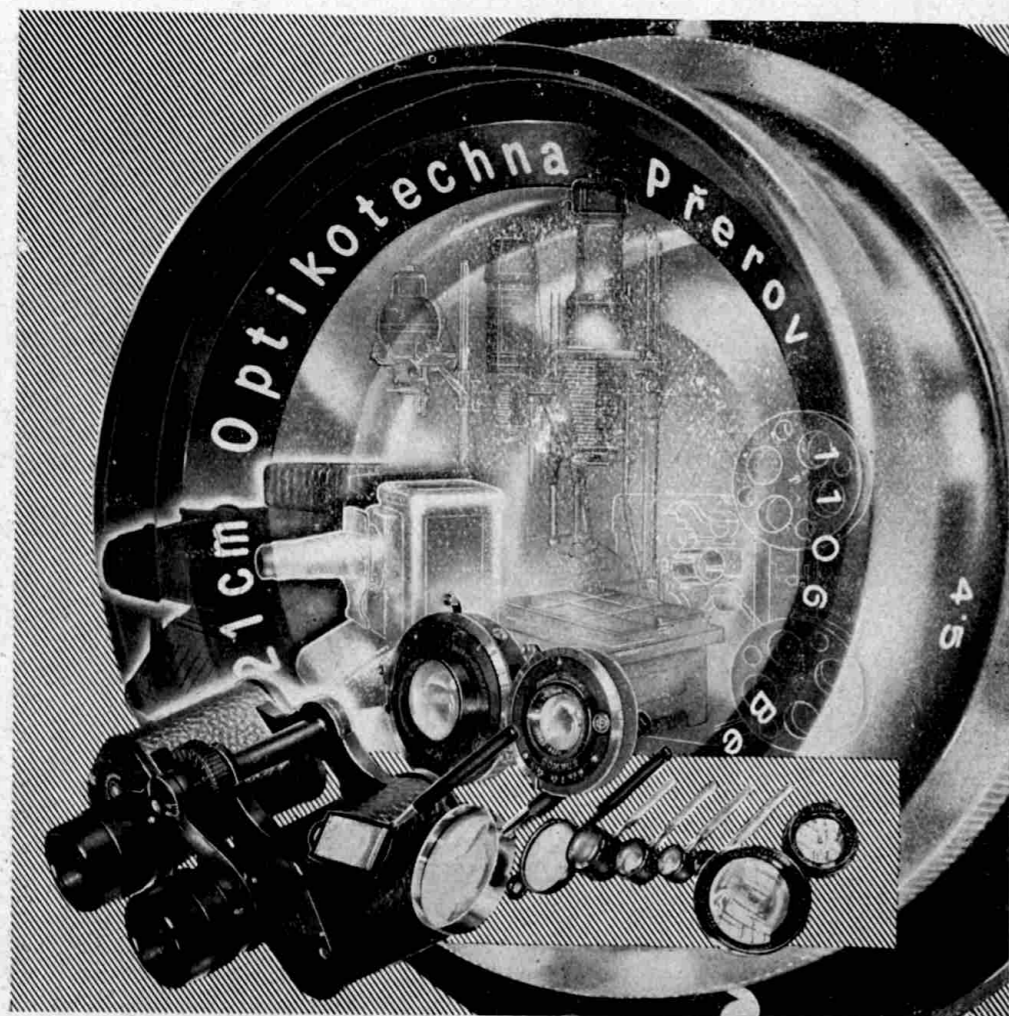
Nivelační přístroje kompaktní a trvanlivé konstrukce, s velkou přesností. Vyrábějí se dva modely, též s horizont. kruhem. Velké popularity získává malý nivelační přístroj, konstruovaný výhradně pro architekty, který přes to, že jest velmi malý, (váží pouze 450 gr), vyniká více než požadovanou přesností. Příslušenství k němu tvoří dřevěný skládací fotostativ a skládací dvoumetrová nivelační lať.

Hranolové dalekohledy moderní a trvanlivé konstrukce, provedené na podkladě nejnovějších optických výpočtů. Výběr následujících modelů: 6×24 , 6×30 , $6,5\times 50$, 7×50 , 8×30 , 8×40 , 10×50 , 12×60 , 18×50 . Mimo obsáhlých optických zkoušek jsou všechny triedry zkoušeny ještě v mrazu -30°C , v horku $+50^{\circ}\text{C}$, 2 hodiny pod silnou sprchou a 2 hodiny na otřásacím stroji.

Záměrné dalekohledy na pušky vysoké světelnosti. Výběr 5 modelů. Malov $2,5\times$, Nimrod $2,5\times$, Lovec $4\times$, Velov $6\times$ a Velov $10\times$. Dále se vyrábějí levné dalekohledy pro sportovní pušky.

Kompasy různých provedení, též s elektrickým osvětlením.





PŘESNÁ ČESKOSLOVENSKÁ OPTIKA A JEMNÁ MECHANIKA:

Objektivy pro všechny účely	Zvětšovací přístroje
Triedry	Projekční přístroje pro úzký film a diapositivy
Lupy	Reprodukční přístroje
Kondensorové čočky	Trichinoskopy
Prisma k měření	Zaměřovače pro lovecké pušky
Měřicí přístroje	

**OPTIKO
TECHNA
PŘEROV**

Optické závody

JOH. UMANN A. S. TIEFENBACH n/D. ČSR.

Generální zástupce a vzorkový sklad

OSKAR GUTH,

Praha II., Passage Politika - Tel. 35945.

VYRÁBÍ:

veškeré čočky kondensorové
veškeré čočky plankonvexní
veškeré čočky bikonvexní
veškeré čočky sféricky broušené ve všech rozměrech.

**Na speciální předměty vyžádejte
si zvláštní nabídky.**

Optické závody

VILÉM EKSTEIN a spol.,

NÝRSKO. — Telefon čís. 2.

Adresa telegramů „Eksteincomp“.

JENSKÁ OPTICKÁ SKLA.

Surové sklo

v deskách, kotoučích, hranolech.

Lisované čočky

ze všech druhů optických skel.

Barevná skla a filtry

Sklo Uviol

Skla absorbující teplo

Skla fluorescenční

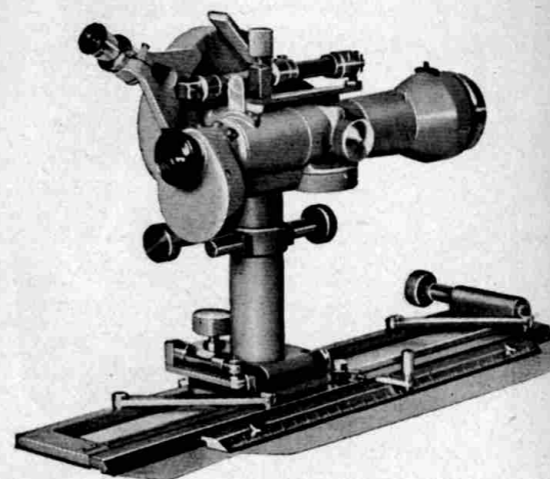
Tabulové sklo Tempax

zvláště teplu vzdorující.



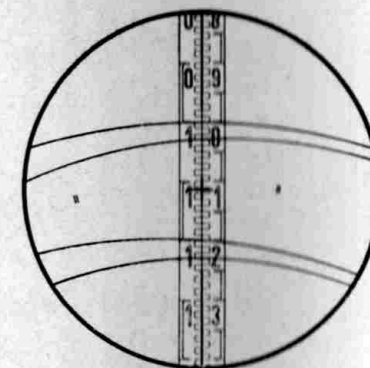
JENSKÁ SKLÁRNA SCHOTT & GEN., JENA

Nové autoredukční záměrné pravítko pro rychlé a přesné měření horizontálních vzdáleností a výškových rozdílů.



Tímto novým autoredukčním záměrným pravítkem je možno prováděti přímé čtení horizontálních vzdáleností a výškového rozdílu na svislé lati, bez jakéhokoliv čtení výškového úhlu a nebo provádění nějakých výpočtů. Nové záměrné pravítko oproti dosavadním konstrukcím uspoří značně času, zmenší únavu a zcela odstraní chybu ve čtení úhlu a ve výpočtu.

Další novinkou je zařízení pro jemné ustavení svislé rysky na střed lati nebo na jiné záměrné body. Na místo dosavadního ručně prováděného obtížného zamíření dalekohledem jest používáno jemného otáčení zvláštního točítka. Nové záměrné pravítko je dále vybaveno vpichovacím zařízením, takže jest používání zvláštního kružítko nebo měřítka zbytečné. Toto zařízení slouží současně k prodloužení paralelního pravítka vpřed nebo vzad.



Tento přístroj vyrábí továrna na jemnou mechaniku a optiku

KERN A SPOL., A. S.
AARAU, ŠVÝCARY.



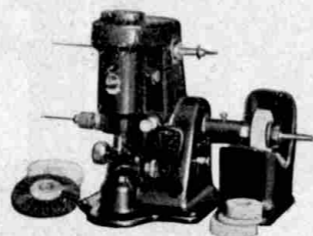
Praktický optik
pracuje se známými
stroji pro optiky.

Vyrábíme kromě jiného

**Stroje na řezání brýlových
skel i pro hranaté tvary**
Weco S I umí vše.



**Universální vrtací
a leštící stroj**
Weco BP I.

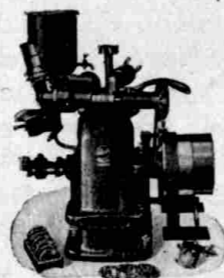


Dále

pracovní stoly
v každém sestavení
vrtačky
leštící stroje
broušící stroje
nástroje atd.

A především

universální automat
pro \wedge a \square
Weco FM 25 umí vše.



Žádejte
katalogy - posudky -
vzorky broušení a řezů
od



WERNICKE a SPOL.,
továrna strojů
Rathenow 329
Německo

LIBELY.

Bude značně zajímavým zmíniti se o této důležité součásti každého přístroje. Rozeznáváme tyto druhy libel:

1. Libely trubicové, zhotovené ze skleněné trubice.
2. Libely krabicové.

- a) Přesné trubicové libely mají své zakřivení do trubice vbroušené, takže povrch skleněné trubice svůj tvar zachová. Do této skupiny náležejí všechny libely přesných přístrojů, libely reversní, libely komorové, libely přesných vodováh a j. Jsou vyráběny broušené libely s citlivostí jedné až třiceti vteřin pro 2 mm pohybu bubliny.
- b) Větší zakřivení jsou příliš vyklenutá a proto nemohou býti zabroušena do stěny trubice. V takových případech jsou používány libely ohýbané, jichž trubice jest do nutného oblouku ohnuta. Můžeme je rozdělit na jednoduché ohýbané libely pro zednické vodováhy a jiné podřadné účely a přesně ohýbané libely pro jednodušší vodováhy v kovu a jednodušší přístroje. Nejpřesnější ohýbané libely s největší přesností prohnuté do libovolného zakřivení jsou montovány do sklonoměrů letadel, ponorek, svahoměrů atd.

Firma L. F. Reinisch, Vídeň X.,
Buchengasse 81,

vyrábí svým zcela speciálním zařízením libely v každém provedení a opravdu přesné. Zvláštnost této firmy jsou zcela přesně prohnuté libely s nepatrným průměrem a bodovou bublinou pro odečítání pomocí lupy.

2. *Krabicové libely* jsou tvořeny hermeticky zatavenou skleněnou krabicí, do níž jest vybroušena skleněná plocha. Základna krabice je opatřena hrotem, kterým byla krabice plněna.

Firma L. F. Reinisch, Vídeň X.,
Buchengasse 81,

vyrábí krabicové libely veliké přesnosti, které jsou zaručeně utěsněny a u kterých je plocha až ku kraji přesně broušena.

Česká Zbrojovka Strakonice

vyrábí:

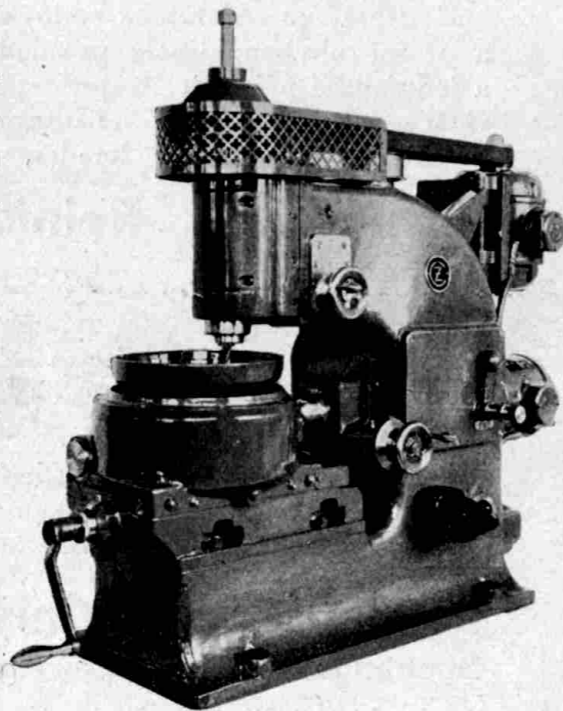
veškeré druhy upínačů a zařízení pro hromadnou výrobu podle vlastních i dodaných návrhů. - Přesné nástroje a měřidla všech tvarů. - Veškeré druhy strojních svěráků v provedení pevném, otočném a sklápěcím do 180 mm z šíře čelistí. - Kruhové stoly do 300 mm průměru. Universální broušící stroje na nástroje. Rychloběžné obráběčky do 40 mm zdvihu.

Provádí:

odborné opravy a rekonstrukce všech druhů obráběcích strojů podle tabulek prof. Schlessingera.

Zhotoví:

veškeré druhy přesných obráběcích strojů pro jemnou mechaniku. Speciální stroje obráběcí pro zvláštní účely, jako frezování a broušení přesných váček pro optiku a pod.



Oscar Ahlberndt

Berlín 0.27, Krautstr. 52.

MAJITEL A. SCHÜTT.

Továrna speciálních strojů.

Adresa telegramů: Maschinenoptik.

Výrobní program:

1. Stroje pro optický průmysl k výrobě přesných čoček používaných ve vědeckých přístrojích, fotografických objektivách, dalekohledech hranolových a holandských, dalekohledech astronomických, vojenských přístrojích a pod.
2. Stroje na výrobu sférických a asférických (paraboličkových) zrcadel, kondensorových čoček a pod.
3. Stroje a nástroje pro mineralogické a jiné ústavy vysokoškolské pro zhotovování výbrusů mikroskopických a mikrofotografických zkoušek materiálů.

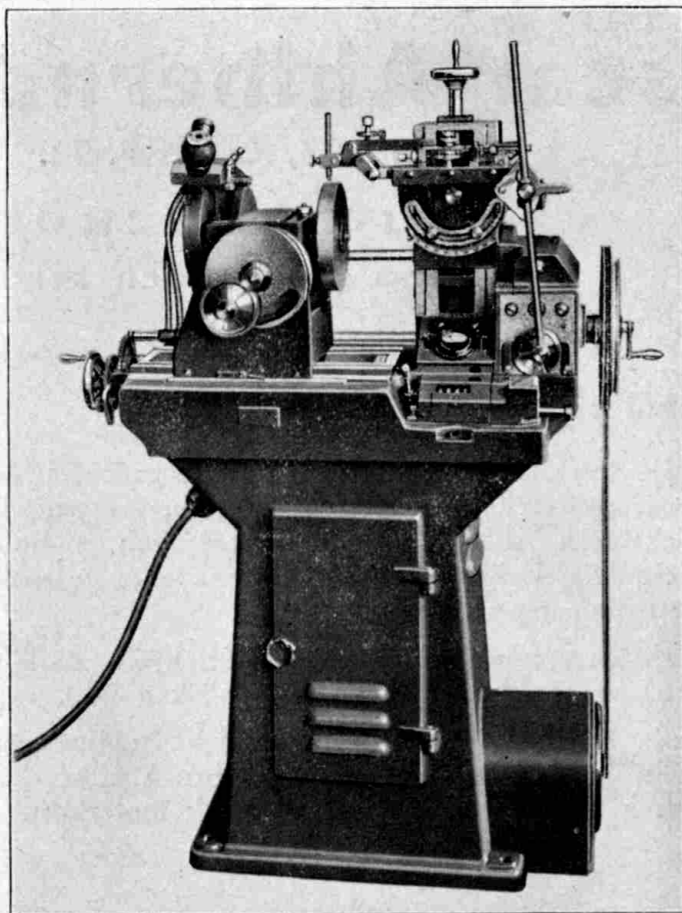
Rýsovadla technická a školní vyrábí a dodává

Josef Dušek,

velkovýroba rýsovadel

Praha I., ul. Karoliny Světlé č. 320.

Stálý dodavatel vojenského zeměpisného ústavu, vojenského technického ústavu, technických vysokých škol a jiných měřických úradů. Provádí též opravy rýsovadel a přesné broušení rýsovacích per.



Plnoautomatický přístroj pro rovnoměrné a nerovnoměrné dělení na kruhu i bubnu, také ve tvaru spirály.
Přesnost mezi ± 5 až $10''$.

Z výrobního programu: Automatické stroje pro podélná dělení rovnoměrná a nerovnoměrná. Přesné stroje dělicí pro kruhy, skleněné i kovové přesnost $\pm 1''$. Dělicí stroje pro kruhy i bubny pro každý účel s přesností ± 10 a $\pm 30''$. Dělicí stroje pro mikrometry. Pantografy pro výrobu záměrných deštiček. Popisovací stroje pro kov a sklo.

LELLMANN A POLTER,

dílny pro přesnou mechaniku

DRÁŽDANY — N 23, Mohnstrasse 8. Německo.

Přesné mechanické soustruhy,

broušící stroje, velevýkonné
vrtací stroje, šepinky,
vše pro nejvyšší požadavky

vyrábí a dodává

J. VOLMAN,

továrna na obráběcí stroje

Čelákovice - ČSR.

Laky optické

jakož i pro veškerý průmysl
vyrábí

Vaníček a Malec

továrna na laky. **SATALICE**

Telefony: Praha 300-700, 329-10.

LADISLAV ČERVENKA

slévárna kovů,

Kralupy n. Vltavou.

Telefon 101.



zhotoví a dodá Vám :

speciální antimagnetický materiál (nezmagnetovatelný)

ku zhotovování přesných busolových přístrojů,
průmyslové odlitky z bronzů, mosazí, hliníku, mědi,

niklových slitin a jiných kovů,

bronze pro nejtěžší podmínky provozu, matky k lisům,

ložiska do válcoven, ozubená kola atd.

la ložiskové kovy — komposice — BRITANBANCA,

odlitky umělecké, sochy, busty, reliefy, pamětní

desky a nápisy všech druhů a rozměrů.



Promítání filmu

Promítací stroje na normální film
pro školy i kina.

Přesné promítací stroje „PRISMO“
na úzký film, s optickým řazením obrazu.

Převíjení, odposlouchací stoly a ostatní
zařízení pro laboratoře.

Nízkofrekvenční technika

Přesné adaptéry pro zvukové filmy,

Přesné zesilovače pro veškeré účely
a každý výkon.

Přesná zařízení zvuková, promítací
i přijímací pro normální i úzký film.

Ing. Jindřich Vavřina

Praha XII., Barhouova číslo 70.

J. BARTOŠ a spol.,

strojirna a slévárna

HEDVIKOV U ČÁSLAVĚ

Zhotovujeme a dodáváme odlitky

vyráběné jak stříkáním, tak i sléváním pod tlakem.

Charakteristika odlitků z materiálu tombasil sléváním pod tlakem je následující:

pevnost v tahu	50—60 kg/mm ²
tažnost	až 10 %
Brinellova tvrdost	150—170 kg/mm ²

Odlitky získané tímto způsobem vykazují úplně čistý a hladký povrch a vzhledem k tomu, že je možno, ovšem dle povahy odlitku, jíti s tloušťkou stěn až na 1,5 mm, nevyžadují takřka žádné opracování.

Nejpřesnější závity, závitové kalibry, broušené závitníky
a závitnice jedno i vícepramenné
podle nejnovějších metod vyrábí

STREJC A NOSEK,

dílny pro přesnou mechaniku

Praha-Hrdlořezy č. 3.

OPRAVY TISKOVÝCH CHYB.

Str. 27., řádek 7. vzorec pro ν má býti $\nu = \frac{n_D - 1}{n_F - n_C}$ místo
chybného $\nu = \frac{n_F - n_C}{n_D - 1}$

Str. 56., řádek 6. vzorec má zníti $\frac{1}{f} = \frac{1}{0,20} = 5$

Str. 57., obr. 55. ohnisko za čočkou má býti označeno písmenem F' , obraz úsečky P_1P_2 má býti označen písmeny $P'_1P'_2$ místo P'_1P_1 .

Str. 59., obr. 56. ohnisko za čočkou má býti označeno písmenem F'
Str. 80., obr. 75. na vodorovné ose diagramu má býti u čísla 0,4 »čára h « místo »čára A « a u čísla 0,5 »čára F « místo »čára A «.

Str. 90., obr. 102. konečný obraz daný teleobjektivem má býti označen písmeny $A'B'$ místo AB' a obraz daný spojkou bez rozptylky písmeny $A'_1B'_1$ místo $A_1B'_1$.

Str. 98., řádek 5. místo JS dej SI

Str. 100., řádek 7. místo jej dej je

Str. 115., řádek 3. za jako vlož na

Str. 124., řádek 24. místo oči emetropické dej ametropické

Str. 125., řádek 17. zní vzorec $e = 100 . m$

Str. 149., řádek 3. místo D dej D_p

Str. 153., řádek 12. místo rovnoběžné dej rovnoběžně

Str. 278., řádek 25. místo anisometrie je anisotropie

Str. 233., řádek 5. místo převrácena dej převratná