

Časopis pro pěstování matematiky a fysiky

Vladimír Novák

O zkoušení fotografického objektivu. [I.]

Časopis pro pěstování matematiky a fysiky, Vol. 30 (1901), No. 1, 33--51

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/108807>

Terms of use:

© Union of Czech Mathematicians and Physicists, 1901

Institute of Mathematics of the Academy of Sciences of the Czech Republic provides access to digitized documents strictly for personal use. Each copy of any part of this document must contain these *Terms of use*.



This paper has been digitized, optimized for electronic delivery and stamped with digital signature within the project *DML-CZ: The Czech Digital Mathematics Library* <http://project.dml.cz>

O zkoušení fotografického objektivu.

Napsal

Dr. **Vladimír Novák**,
docent české university v Praze.

Jakkoli tolik jest různých podmínek, jež nutno vyplniti, aby povstala dokonalá fotografie, přece možno v popředí všech, jako podmínku nejdůležitější, klásti *fotografický objektiv*. Nechci tím říci, že dokonalým objektivem musí se vždy podařiti dokonalý obrázek, aniž také, že méně cenným objektivem nelze vytvořiti fotografií velmi dobrých.

Poněvadž jest fotografický objektiv tak důležitou částkou fotografického přístroje, nutno jej dokonale seznati. Toto seznámení se s objektivem, kterým hodláme fotografovati, nezáleží ve fotografování *na zkoušku*, jemuž hojně desek padá za obět, ale v poznání důležitých *konstant* objektivu a v stanovení jeho *vad*.

Mezi konstanty objektivu počítáme především jeho *ohniskovou dálku*, jeho *světlost* a velikost *obrazového pole*.

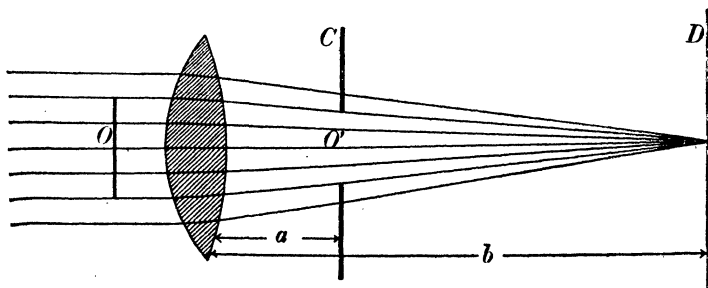
Vady objektivu vyskytují se jednak na *jeho ose*, jednak vznikají *šikmým* dopadem paprsků — mimo osu. Ve třech následujících odstavcích pojednáme především o určení konstant objektivu, dále pak o jeho vadách na ose, totiž o *aberraci sférické*, *chromatické* a *diffrakční*, a konečně pak o vadách mimo osu optickou vznikajících, o *skreslení*, *astigmatismu*, *komě* a *skřivení obrazového pole*.

I.

Ohniskovou dálku zhruba určíme zařízením komory na velmi vzdálený předmět (na př. měsíc) a měřením vzdálenosti

matné desky od objektivu. Právě v této neurčitosti měřiti „od objektivu“ spočívá přibližně jen určení ohniskové délky. Pokud je objektiv jednoduchý (čočka tenká), postačí tato metoda pro mnohé účely, jinak lze i při objektivěch složených s výhodou užiti metody následující.

Do proužku kartonu vyřízneme dva kruhové otvory ve vzdálenosti asi 0·2 měřené ohniskové délky. Proužek takto upravený položíme na matnou desku a okreslíme jeho kontury ostře oříznutou tužkou na matnou desku, symmetricky kolem středu. Proužek pak upevníme na okenní tabuli, proti níž postavíme apparatus fotografický. Jak polohu apparatusu, tak také délku výtahu měníme tak dlouho, až ostrý obrázek na matné desce souhlasí s obrysy dřívě nakreslenými. Na to označíme postavení matné desky na dolejší prkně apparatusu a zařídíme apparatus na přednět velmi vzdálený. Vzdálenost značky dřívější od tohoto posledního postavení matné desky udává přímo *ohniskovou vzdálenost* objektivu. Jak samo sebou zřejmo, musí míti komora apparatusu výtah nejméně dvakrát tak dlouhý jako je měřená ohnisková délka.



Obr. 1.

Světlost objektivu udává se *čtvercem poměru ohniskové délky ku pravému průměru clonky*. Porovnáváme-li světlost dvou objektivů, nutno srovnati poměry $\left(\frac{f_1}{o_1}\right)^2$ a $\left(\frac{f_2}{o_2}\right)^2$. U objektivu jednotlivého porovnávají se často světlosti pouze poměrem v prvé mocnině $\frac{f}{o}$.

Určí se tudíž světlost objektivu změřením ohniskové

dálky a pravého průměru clonky. Nalézají-li se clonka těsně u objektivu, pak skutečný její průměr jest zároveň pravým průměrem, jinak jest tomu, je-li objektiv od clonky vzdálen. Dopadají-li na čočku (viz obr. 1.) rovnoběžné paprsky, procházejí clonkou C pouze ty, které vyšly od plochy o . Značí-li a vzdálenost čočky od clonky, b vzdálenost čočky od matné desky D, jest patrně

$$o : o' = b : (b - a)$$

a tudíž

$$o = o' \frac{b}{b - a}$$

Pravý průměr clonky (o) vypočítáme, když skutečný průměr (o') znásobíme poměrem vzdálenosti čočky od matné desky ku rozdílu této vzdálenosti a vzdálenosti clonky od čočky.

Pravý tento průměr clonky nutno vždy počítati, nalézají-li se před clonkou čočka spojná, tedy při objektivěch symmetrických, nebo takových objektivěch, při nichž clonka se nalézají mezi jednotlivými díly objektivů.

Přesné určení otvoru clonky dle *Belitskiho* provádí se tímto způsobem. Komoru zařídíme na velice vzdálený předmět. Na místo matné desky vložíme pak neprůhlednou desku na př. z plechu zinkového, v němž ve středu, to jest v místě, kam směřuje optická osa objektivu, vyvrtáme malý, asi millimetrový otvor. Ve tmavé komoře připevníme pak na objektiv desku fotografickou vrstvou citlivou k objektivu. Tak je komora k pokusu úplně připravena. Za deskou zinkovou zapálíme kousek magnesia. Světlo, malým otvorem do komory dopadající, projde clonkou a objektivem a promítne konturu clonky na desku fotografickou. Tato se pak vyvolá a průměr *pravého* otvoru clonky se změní.

Světlost objektivů bývá vyznačena na clonkách jeho; není-li tomu tak, nutno ji stanoviti a na clonky zaznamenati. Při irisových clonkách objektivů bývají často udána čísla, která *neznamenají světlost* objektivu, nýbrž *poměrnou expozici*. Tak na př. čísla na Goerzových dvojitych anastigmatěch 6, 12, 24, 48, 96, atd. neznačí světlost, ale při určité expozici pro clonku 6, dvakrát

tak velkou expozici při clonce 12, čtyřikrát tak velkou expozicí při clonce 24, osmkrát tak velkou expozicí při clonce další atd.

Za příklad budtež srovnány světlosti rektigrafu „Lancaster“ při clonce $f : 13$ a anastigmatu „Rochester“ při clonce $f' : 7.5$.

Z hodnot pro ohniskové dálky těchto objektivů f (Lancaster) = 22.3, f (Rochester) = 18.4 cm plyne poměr:

$$\left(\frac{22.3}{13}\right)^2 : \left(\frac{18.4}{7.5}\right)^2 = 1.72^2 : 2.45^2 = 0.49.$$

Dle toho jest světlost prvního objektivu při clonce $f : 13$ asi *poloviční* světlost druhého objektivu při plném otvoru ($f' : 7.5$).

Pro kontrolu srovnány byly světlosti obou objektivů fotometricky.

Stálým zdrojem světelným osvětlena určitě veliká plocha, výřez ve stěně, vyplněný matovaným sklem, deska fotografická nahrazena fotometrem, který zjedná fotografii rovnoměrné škály skrze klín postupující průsvitnosti. Na desku fotometru vložen papír bromostříbrnatý.

Mezi expozicí a škálou užitého fotometru platí jednoduchý vztah. Číslo, které se ještě na papíru bromostříbrnatém vykopíruje, jest v lineární závislosti s *logarithmem* expozice.

Exponováno při obou objektivěch dvakrát, jednou 8 minut, podruhé 16 minut, příslušná odečtení byla:

Expozice	logarithmus expozice	Rochester	Lancaster
8 minut	0.503	52.4	49.6
16 minut	1.204	55.2	52.2
rozdíly :	0.301	2.8	2.6

Abychom docílili téhož účinku fotografického při obou objektivěch, nutno expozici při druhém objektivu zvýšiti. Je-li x logarithmem onoho zvýšení (oproti expozici druhé) jest patrně:

$$x : (52.4 - 52.2) = 0.301 : 2.7$$

čili $x = 0.022$

a logarithmus žádané expozice

$$1.204 + 0.022 = 1.226.$$

Nutno tedy objektivem Lancaster exponovati 16·8 minut, aby se docílilo téhož fotografického účinku jako osmi minutovou expozicí objektivem Rochester. Poměr obou světlostí tudíž:

$$8 : 16 \cdot 8 = 0 \cdot 48.$$

Výsledek tento souhlasí s dřívějším výpočtem poměru obou světlostí.

Poněvadž ustanovení pravého otvoru objektivu je dosti neznadné, zvláště při osvětlení paprsky divergentními, hodí se tento druhý způsob měření poměru světlosti k určení $\frac{f}{o}$ zvláště dobře při malých clonkách.

Při porovnání světlostí různých objektivů poměrem $\left(\frac{f}{o}\right)^2$ zanedbává se *různost materiálů* obou objektivů, kteráž může způsobiti i při stejných ohniskových dálkách a stejně velkých clonkách různé osvětlení desky fotografické. Pro praxi fotografickou nemá tato okolnost velikého významu, leda výjimečně. Ukazuje se jen při srovnávání jednoduchých čoček s objektivy z mnoha čoček sestavenými, anebo při srovnání objektivů starších, světlem poškozených, s objektivy novými.

Abychom dokončili určení všech konstant daného objektivu, zbývá změřiti jeho *obrazové pole*. Obrazovým polem nazýváme plochu kruhu, který je při určité clonce objektivem vůbec osvětlen a dále též plochu kruhu, ve kterém se jeví obrázek ostře. Velikost obrazového pole určuje se úhlem, otvorem to paprskového kužele, jehož vrchol jest ve středu clonky a jehož plášť tvoří krajové paprsky, obrazové pole ohraničující.

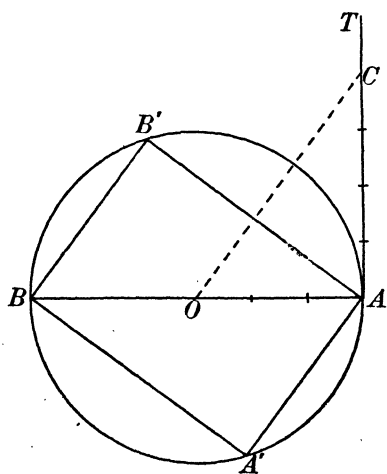
Obrazové pole určíme velikou komorou, měřením průměru osvětlení části matné desky. Z tohoto měření a ohniskové dálky objektivu určíme úhlovou míru obrazového pole dle rovnice

$$\operatorname{tg} 2\alpha = \frac{2 \frac{r}{f}}{1 - \frac{r^2}{f^2}}.$$

Úhel 2α značí úhel obrazového pole, r poloměr naměřeného kruhu a f ohniskovou dálku. K rychlému vyhledání

úhlové míry obrazového pole slouží tabulka následující, v níž udán jest poměr $\frac{r}{f}$ a příslušný úhel pole obrazového.

$\frac{r}{f}$	Úhel obrazového pole.	$\frac{r}{f}$	Úhel obrazového pole
0·01	1·1	0·45	48·5
0·02	2·3	0·50	53·1
0·03	3·4	0·55	57·6
0·04	4·6	0·60	61·9
0·05	5·7	0·65	66·1
0·06	6·9	0·70	70·0
0·07	8·0	0·75	73·7
0·08	9·2	0·80	77·3
0·09	10·3	0·85	80·7
0·10	11·4	0·90	84·0
0·15	17·1	0·95	87·1
0·20	22·6	1·00	90·0
0·25	28·1	1·10	95·5
0·30	33·4	1·20	100·4
0·35	38·6	1·30	104·9
0·40	43·6	1·40	108·9



Obr. 2.

Když by tedy objektiv ohniskové dálky 20 cm dával při plném otvoru pole průměru 32 cm pak jest

$$\frac{r}{f} = \frac{16}{20} = 0.8$$

a tudíž úhel obrazového pole dle hořejší tabulky 77°3.

Velikost desky pro nalezený průměr pole obrazového určení lze touto jednoduchou konstrukcí. Nakresleme (viz obr. 2.) kruh, jehož poloměr rovná se r , poloměru obrazového pole. Veďme v kruhu tom průměr, na jehož jednom konci vztyčíme tečnu AT. Obyčejné formáty desek fotografických jsou :

$$\begin{aligned} &9 \times 12 \text{ cm} \\ &12 \times 16 \text{ cm} \\ &18 \times 24 \text{ cm} \\ &24 \times 32 \text{ cm} \\ &30 \times 40 \text{ cm}, \end{aligned}$$

tak že poměr šířky a délky jest konstantním 3:4.

Poloměr OA rozdělme na 3 díly a 4 takové díly nanesme na tečnu AT. Spojíme-li bod C s O a vedeme-li body A a B rovnoběžky s přímkou OC, protnou tyto přímky kruh v bodech A' a B'. Obdélník AA'B'B' udává velikost desky pro naměřený průměr obrazového pole.

Při rozhodnutí se pro určitý formát desky fotografické, nutno uvážiti, že se při fotografování často objektiv z osy aparátu vyšínuje na stranu nebo ve směru svislém, proto raději volí se deska menší než hořejší konstrukcí vychází.

Právě tak, jako se určuje celé obrazové pole, určí se pole ostrého obrazu. Velikost tohoto pole jest ovšem závislou na velikosti clonky. Určí se pro každou clonku zvláště zaostřením na vzdálené předměty a měřením průměru kruhu, jenž obsahuje obrázků ostrý. Měření napomáhá řada koncentrických kruhů na matné desce tužkou narýsovaných. Při malých clonkách nutno předmět fotografovati a teprve na fotografii měření provésti. Příkladem budiž měření provedené na objektivu „Rochester“.

Ohnisková dálka v cm	Pravá veli- kost clonky v cm	Světlost objektivu	Průměr ostrého obrazového pole	Obrazové pole v úhlové měře	Velikost desky v cm ²
18.4	2.45	7.5	20.0	57°	12 × 15
	1.75	10.5	26.5	72°	15 × 21
	1.25	15.0	29.5	77°	18 × 24
	0.87	21	30.3	79°	"
	0.61	30	30.9	80°	"
	0.38	48	31.3	81°	"
	0.30	60	31.5	82°	"

II.

Úloha fotografie utvořiti čočkou skutečný obrázek osvětleného předmětu, zdá se býti velmi jednoduchou. Vyplnění všech přísných požadavků, které na dokonalém obrázku vyžadujeme, jest však problémem velmi složitým. Složitost spočívá v množství různých vad objektivu, které spolu se vyskytují a často na různých podmínkách záleží, tak že odstraňující vadu jednu, zvětšujeme vadu druhou. Třeba tedy v následujícím pojednám o jednotlivých vadách fotografického objektivu jednotlivě, přece již teď upozorňuji na složitost úlohy, která v současné existenci různých nedokonalostí má svou příčinu.

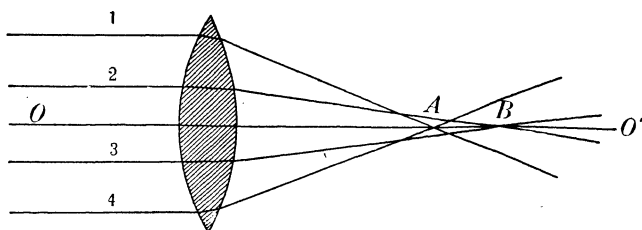
Objektiv fotografický vytváří reálný obrázek osvětleného předmětu na základě *lomu světla* plochami sférickými. Geometrické středy těchto ploch mají ležeti na jediné přímce, hlavní ose optické objektivu. Podmínce této lze s velkou přesností vyhověti, proto nepovšimneme si vad, které by odtud po případě vznikaly.

Pozorujeme vady, které se objeví při paprscích *rovnoběžně* s hlavní osou objektivu dopadajících, čili vady jevící se na ose objektivu.

Budiž OO' (viz obr. 3.) osou objektivu. S touto osou rovnoběžně dopadají na objektiv paprsky světla *monochromatického*. (1, 2, 3, 4).

Čočkou se lámou tak, že se paprsek 1 a 4 protínají v bodě A, paprsky 2, 3 v bodě B. Body tyto určují svou vzdáleností (AB) velikost *sférické vady* objektivu. Vzdálenost AB nazývá se *lineární aberrací sférickou*.

Tato vada objeví se na matné desce komory fotografické tím, že jak v poloze A nebo B objeví se světlý bod, obraz vytvořený paprsky 2, 3, (nebo 1, 2), obklopený světlou, znenáhla se ztrácející září, v podobě kruhové aureoly.



Obr. 3.

Při daném objektivu jest lineární aberrace určitou jen pro určitou clonku. Při plném otvoru objektivu jest největší, při užití menších clonek se zmenšuje. Záleží dále na *barvě* dopadajících paprsků. Při různých objektivěch jest různá, závisíc nejen na formě objektivu ale také na jakosti skla.

Při čočce bikonvexní jest délková aberrace sférickou *positivní*, to jest paprsky *krajové* mají *menší* ohniskovou dálku než paprsky *středové*. Čočky konvexkonkávní mají aberraci *negativní*, paprsky *krajové* protínají se na ose *dále* od čočky než *středové*. Z určitého skla pro určitou barvu paprsku lze sestrojiti takový tvar čočky, při němž jest aberrace lineární nejmenší.

Tím ovšem není nikdy aberrace sférická úplně odstraněna a všechny jednoduché čočky, užitě jako objektivy fotografické, ukazují vadu sférickou.

Úplné odstranění vady sférické možné jest kombinací dvou čoček, které mají sférické aberrace lineární *stejně veliké*, avšak *opačného znamení*. Tak lze kombinovati spojnou čočku skla korunového s rozptylkou ze skla flintového, aby sférické jich aberrace navzájem se rušily. Lze totiž tvar čočky (zakřivení) při určitém materialu tak měniti, že čočka mění svou aberraci sférickou, nikoliv však ohniskovou dálku.

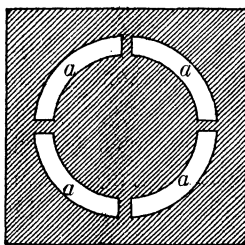
Nazveme-li poloměry křivosti obou sférických ploch, jimiž čočka jest omezena, r_1 a r_2 , tloušťku čočky e , index lomu skla n , jest ohnisková dálka f určena výrazem

$$\frac{1}{f} = (n - 1) \left\{ \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} - \frac{n - 1}{n} \cdot \frac{e}{r_1 r_2} \right\}.$$

Při daném materialu zbývají tudíž tři proměnné veličiny r_1 , r_2 a e , jimiž lze docílit různé aberrace sférické.

Sférická aberrace záleží — jak již uvedeno bylo — jednak na clonce čili vzdálenosti krajních a středových paprsků, jednak také na barevném tónu těchto paprsků. Odstraní-li se zmíněná aberrace pro určitou barvu pro paprsky nejkrajnější a středové není tím řečeno, že by *vůbec* byla odstraněna. Aby byla kompensace pro všechny partie čočky co možná úplnou, odstraňuje se úplně pro paprsky blízko středu a pro paprsky blízko kraje dopadající.

Poněvadž pro paprsky různé barvy vychází různá aberrace sférická, nelze pro všechny barvy zároveň kompensaci provést. Zbývá tu vždy *chromatická difference* sférické aberrace, kterou lze však tak malou učiniti, že pro praxi fotografickou *jest bez významu*.*)



Obr. 4.

Zkoušení aberrace sférické na ose provede se jednoduše takto :

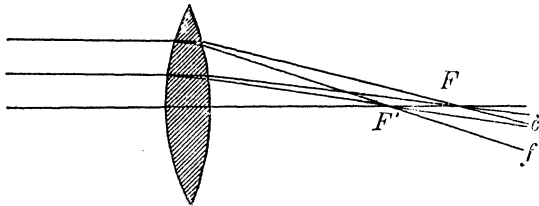
Za jasného dne slunečního postavíme na tyč skleněnou zrcadlovou kouli (jaké se často v zahradách vidají), tak aby v ní malý obrázek slunce povstával. Na tento obrázek slunce zařídíme komoru. Nemá-li objektiv vady sférické, objeví se na matné desce obrázek jako ostrý bod; jinak jest tento bod ob-

*) Pouze v mikrofotografii jest tato veličina značné důležitosti.

klopen rozplývající se září. Zdali aberrace povstává krajními paprsky, přesvědčíme se zakrytím objektivu clonkou, jak ji obr. 4. vyznačuje.

Světlo může dopadati na objektiv pouze na obvodu objektivu v částech *a*.

Vložením takovéto clonky před objektiv, světlý střed na desce matné zmizí a zbude tam pouze ona záře, která pochází od paprsků, které se protínají buďto již *dříve, před* deskou matnou (zařízenou na ostrý střed) anebo *za deskou* matnou. Prvý případ konstatujeme pošnutím desky *k objektivu*, až se vytvoří ostrý obraz, druhý pošnutím desky *od* objektivu. V prvním případě říkáme, že aberrace není *dosti* opravena, ve druhém, že jest *překorigována*.



Obr. 5.

Dopadá-li na čočku (viz obr. 5.) světlo složené (na př. bílé), působí tato zároveň jako hranol a rozkládá světlo složené v paprsky barevné.

Různá lomivost těchto paprsků způsobí, že paprsky čočkou prošeďší nesbíhají se na ose blavní v jediném bodě, ale v celé řadě bodů, čili, že vzniká pro každý barevný tón určité ohnisko. K čočce nejbližší jest ohnisko paprsků fialových F' , od čočky nejdále protínají se paprsky červené F . Vadu, která tímto úkazem povstává, zoveme *aberrací chromatickou*.

Pozorujeme ji při zaostřování objektivu na předmět bílý. Obrisy obrázku na desce matné jsou červenavé nebo fialové, dle toho, zda-li pošineme desku blíže k ohnisku paprsků fialových nebo červených.

Chromatická vada čoček odstraňuje se konstruováním čoček *achromatických*. Spojnou čočku ze skla menšího indexu lomu

spojujeme s rozptylkou ze skla většího indexu lomu, tak aby čočka složená byla achromatickou spojku (ovšem slabší). Značí-li n_D , n_C , n_F indexy lomu pro Fraunhoferovy čáry D, C, F,

jmenujeme poměr $\frac{n_D - 1}{n_F - n_C} = \varrho$ *koefficientem rozptylu*. Pomocí

tohoto čísla určí se snadno k dané spojce příslušná rozptylka, která spojku achromatizuje. Jest na př. dána čočka spojná, korunová, jejíž ohnisková vzdálenost měří 10 cm, má být achromatizována rozptylkou z těžkého skla flintového. Indexy lomu pro čáry C, D, F jsou:

	C	D	F
pro sklo korunové	1·5268	1·5297	1·5361
„ „ flintové	1·7718	1·7776	1·7924.

Z těchto čísel vychází koefficient rozptylu pro sklo korunové 56·9
pro sklo flintové 37·7.

Dle těchto výsledků nutno sestrojiti čočku rozptylnou tak, aby ohnisková vzdálenost její byla

$$F_R = -10 \frac{56.9}{37.7} = -15.1 \text{ cm.}$$

Ohnisková vzdálenost celé achromatické kombinace bude pak

$$\frac{1}{F_C} = \frac{1}{F_S} + \frac{1}{F_R}$$

čili

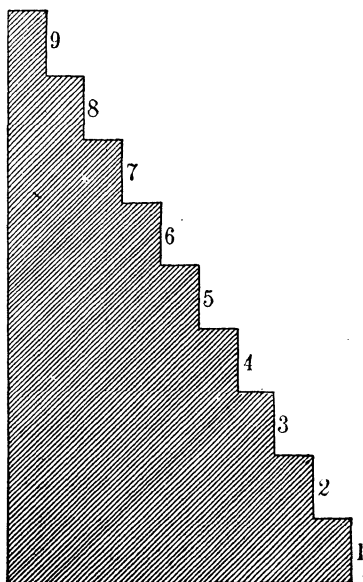
$$F_C = \frac{10 \cdot (-15.1)}{-15.1 + 10} = \frac{151}{5.1} = 29.6 \text{ cm.}$$

V příkladě uvedeném provedena byla achromatická kombinace pro paprsky *nejlépe viditelné*, žluté, určené čarou D, tak že se rozptyl mezi jasně žlutými a světle modrými paprsky (mezi čarou C a F) prostředními čočkou korunovou, kompenzoval rozptylem čočky flintové. Obrázek fotografický *nepovstává* však paprsky *největší viditelné jasnosti*, nýbrž paprsky *chemicky aktivními*. To jsou paprsky *temně modré, fialové* a při

delší expozici též paprsky *ultrafialové*. Pro objektiv fotografický nutno voliti achromasii těchto paprsků působivých s paprsky nejjasnějšími, tak aby ohnisko paprsků žlutých (čára D) splyvalo s ohniskem paprsků fialových (čára G).

Při delších expozicích, jako tomu je při fotografii astronomické, kde zároveň ohnisková délka objektivu je značná, měříc několik metrů, provede se achromasie pro paprsky jasné modré a tmavě fialové. Správnou posici desky fotografické nutno ovšem určití pokusem, což se stane jednou pro vždy, neboť vzdálenost předmětu je zde vždy prakticky nekonečně velikou. Achromasie při takovýchto objektivěch má býti provedena pro tu barvu, pro kterou jsou užívány desky fotografické nejcitlivější.

Poněvadž úplné odstranění vady chromatické není možné, zbývá i při achromatických objektivěch částečný rozptyl paprsků čili *sekundární vada chromatická*.

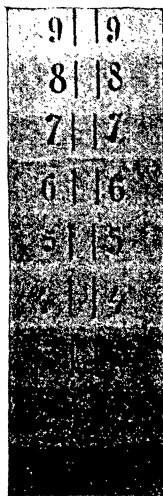


Obr. 6.

Čočka achromatická může býti zároveň tak sestrojena, aby byla prosta vady sférické. Při určité ohniskové dálce lze měnit

formu (poloměry křivosti) rozptylky, tak aby její aberrace sférická byla stejně veliká jako aberrace spojky, opačně ovšem označená. Objektiv takto sestrojený sluje pak *axiální aplanát*.

Zda-li ohnisko paprsků viditelných (nejjasnějších) souhlasí s ohniskem paprsků chemicky aktivních, můžeme snadno vyzkoušeti fotografováním předmětu v nestejných rovinách rozloženého. Ze silnější lepenky (viz obr. 6.) vyřízneme dle obrysu naznačeného dvě shodné schodovité části, které přiděláme k horizontálnímu prkénku tak, aby stály vertikálně. Vertikální hrany (1, 1) (2, 2) atd. spojí se proužkem papíru, na němž uprostřed je větším písmem vyznačena číslice 1, 2, 3, . . .



Obr. 7.

Předmět takto upravený postavíme papírovými proužky kolmo k ose objektivu a zařídíme komoru tak, aby se číslo prostřední (na př. 5) jevílo býti nejostřejším. Exponujeme desku fotografickou a vyvoláme. Za příklad zkoušen byl takto achromatický objektiv Steinheilův *pozorovacího dalekohledu*, obrázek fotografický znázorněn jest reprodukcí v obr. 7. Jak patrné z něho, nejví se nejostřejším číslo 9, na které bylo zařízeno, ale číslo 7.

Nazveme-li vzdálenost dílce, na nějž bylo zařízeno od objektivu a , při tom vzdálenost matné desky objektivu b , vzdálenost dílu, který se jeví na fotografii určitým a' , jest patrně

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}$$

a

$$\frac{1}{a'} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f'}$$

značí-li f ohniskovou dálku pro paprsky nejvíce viditelné (jasné) a f' ohniskovou dálku pro paprsky chemicky působivé. Z rovnic hořejších lze určití správnou ohniskovou dálku f' . Při skutečné fotografii, známe-li obě ohniskové dálky f a f' , naměříme vzdálenost a a zaostríme na paprsky nejjasnější. Aby pak na desce fotografické vznikl ostrý obrázek předmětu ve vzdálenosti a , nutno vzdálenost b změnit na b' , tak aby

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b'} = \frac{1}{f'}$$

Pošinutí matné desky jest při tom

$$b - b' = \frac{a^2(f - f')}{(a - f)(a - f')}$$

Pro zmíněný objektiv nalezeno:

$$a = 118.2, \quad b = 42.2$$

a z toho

$$f = 31.1 \text{ cm.}$$

Rozdíl $a - a'$ činil 2 cm , tak že

$$f' = 30.9 \text{ cm.}$$

Aby tedy obrázek ve vzdálenosti na př. 150 cm ostře na desce fotografické vynikl, nutno při zařizení desky matné na obrázek paprsků viditelných pošinouti ještě desku k objektivu o

$$b - b' = \frac{150^2 \cdot 0.2}{118.9 \cdot 119.1} = 0.32,$$

tedy asi o 3 mm .

Mnohé vady objektivu fotografického zmenšují se zmenšením clonky čili uspořádáním, při němž objektivem procházejí pouze paprsky blízko hlavní osy dopadající. Zdálo by se tedy, že užitím velmi malých clonek lze docílití obrázků nejdokonalejších. Zmenšování clonky klade však určitou mez vada, která povstává *ohybem* paprsků malým otvorem. Tato *difrakční aberrace* prozradí se tím, že obraz svítícího bodu nejeví se — i když ostatní vady objektivu jsou odstraněny — jako *bod*, nýbrž jako *ploška*, tím větší, čím menší jest otvor, kde se ohyb děje. Zmenšujeme-li otvor z 10 *cm* na 1 *mm* jeví se průměr plošky ohybem osvětlené číslem udaným v následující tabulce.

Průměr clonky	Průměr ohybové plošky vyjádřený zlomkem ohniskové délky
10 <i>cm</i>	0·0000139
5 "	280
2 "	697
1 "	1390
0·8	1742
0·6	2323
0·5	2788
0·4	3482
0·3	4645
0·2	6968
0·1	13931.

Podle toho objektiv ohniskové délky 25 *cm* zacloněný clonkou 2 *mm* v průměru, způsobil by ohybovou plošku průměru $25 \times 0\cdot0006968$ čili 0·017 *cm*. Poněvadž oko rozezná pošunutí o 0·1 *mm*, byl by obrázek takto získaný poněkud neurčitý (rozmazaný).

Otvor clonky tohoto objektivu $f:0\cdot2 = \frac{25}{0\cdot2}$ čili 125 byl by již trochu malým. Pravidlem jest neuvídati clonky menší než $f:80$, nanejvýš $f:100$.

Difrakční aberrací dána jest také mez pro velikost otvoru při fotografii *pouhým otvorem*, bez čočky. Při určitém otvoru, jímž paprsky od předmětu vycházející vstupují do temné komory, záleží velikost průměru plošky ohybové na vzdálenosti desky fotografické od otvoru (na výtahu komory). Měníme-li tuto

vzdálenost, mění se velikost plošky ohybové; při určité vzdálenosti (délce komory, výtahu) jest ploška ohybová nejmenší. Pro různě veliké otvory v *mm* a různě velký výtah komory (také v *mm*) udává průměr plošky ohybové tabulka následující, již sestavil A. Miethe.

Otvor	Výtah komory (vzdálenost otvoru od desky fotogr.)							
	10	20	30	50	100	200	300	400
0·6	0·311	0·322	0·334	0·356	0·412	0·524	0·636	0·748
0·5	263	277	290	317	385	0·519	0·652	786
0·4	217	234	251	285	369	537	0·707	876
0·3	172	195	218	262	375	599	0·825	1·050
0·2	140	177	201	267	437	774	1·111	1·448
0·1	122	140	252	387	724	1·398	2·072	2·746
0·0·9	120	195	270	420	795	1·545	2·295	3·045
0·07	131	227	323	515	995	1·955	2·915	3·875
0·05	138	252	365	592	1·160	2·295	3·430	4·565

Obr. 8. ukazuje reprodukci fotografie učiněné otvorem 0·4 *mm* v průměru, na desku 13 × 18 *cm* ve vzdálenosti 30 *cm*. Neurčitost kontur ukazuje v soulase s tabulkou předešlou ohybové plošky průměru asi 0·3 *mm*; v reprodukci, která jest menší, nelze ovšem plošky tyto spolehlivě ani odhadovati.

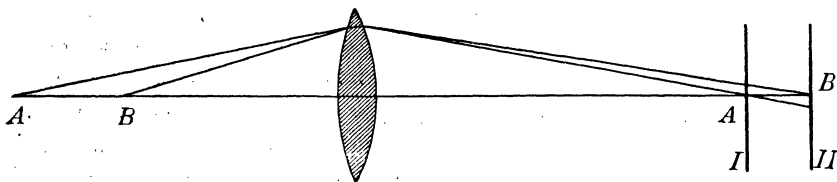
Ačkoliv jednotlivé části předmětů v obr. 8. znázorněných v nestejně byly vzdálenosti od otvoru komory, přece jeví se všechny části obrázku stejně *neostře*. V tom spočívá veliký rozdíl obyčejné komory temné od komory opatřené čočkou. Čočka dává pro každou určitou vzdálenost předmětu určitou vzdálenost obrazu. Nalezá-li se před objektivem předmět, jehož

dva body A a B (viz obr. 9.) leží na ose objektivu, zobrazí se bod A v A', bod B v B', tak že deska, na níž reálný obrázek zachycujeme, ukáže v poloze I. ostrý obrázek bodu A, za to neurčitý obrázek bodu B a podobně s výměnou A za B v po-



Obr. 8.

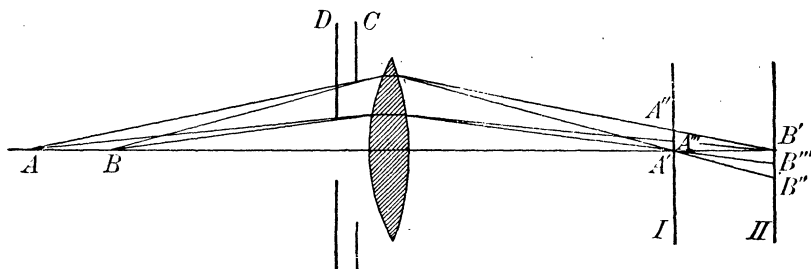
loze II. Aby oba obrázky byly stejně ostře vyznačeny, tomu odporují zákony lomu čočkou, to není možno, aniž také žádoucí. Často se však jedná o to, aby ona neostrost některých částí obrazu nepřesahovala jisté meze na př. 0.1 mm.



Obr. 9.

Neostrost způsobená *hloubkou* předmětu fotografovaného záleží patrně jednak na vzdálenosti předmětu od objektivu, na

ohniskové dálce a velikosti clonky. Ustupuje-li předmět $A B$ po hlavní ose od objektivu, blíží se jeho obrazy $A' B'$ k ohnisků čochky a to bod B' rychleji než A' , tak že vzdálenost $A' B'$ se menší, zmíněné vady objektivu — může-li okolnost tato za vadu pokládána býti — ubývá. Při stálé vzdálenosti předmětu od čochky bude patrně vzdálenost $A' B'$ menší při objektivěch opticky mohutnějších (kratší ohniskové dálky) než při objektivěch



Obr. 10.

s ohniskovou vzdáleností větší. Konečně při téže vzdálenosti předmětu od objektivu a různé clonce zostří se obraz ve hloubce tím spíše, čím bude kužel paprsků čochku opouštějících a k bodům A' , resp. B' směřujících *ostřejší* čili čím bude clonka menší. Případ tento názorně demonstuje obr. 10. (Dokončení.)

Elementární odvození momentu setrvačnosti některých těles pravidelných.

Žákům středních škol napsal

Dr. Vladimír Janků,
professor v Přerově.

Jak známo, dán jest moment setrvačnosti tvarem

$$(1) \quad M = \sum \mu q^2,$$

kdež značí μ hmotu a q příslušnou vzdálenost od osy, vzhledem k níž moment setrvačnosti jest určiti.

Majíce toto na mysli, můžeme přistoupiti k vypočítávání momentů některých pravidelných útvarů.

Jest určiti moment setrvačnosti tyče, jejíž hmotu jest m