

6. ФОТОГРАФСКИ И ПРОЕКЦИОННИ УРЕДИ

6.1. ОБЩИ ПОНЯТИЯ

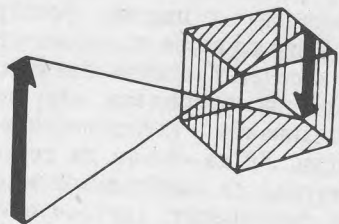
Фотографията е любимо занимание на голяма част от хората. Тя намира все по-широко приложение в науката, техниката, изкуството, промишлеността (полиграфията и картографията) и др.

Буквалният превод на думата фотография е светлописане. Тя произлиза от гръцките думи фотос (светлина) и графо (пиша). Откриването на фотографията не е станало случайно, а е резултат от натрупването на голямо количество наблюдения през вековете и от научните търсения на цели поколения учени и практики.

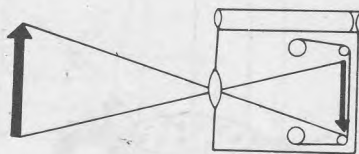
Основният принцип на фотографията е получаването на образ от предметите върху светлочувствителен слой под действието на светлината.

Първите оптични образи на предметите от външния свят са били

получени с т. нар. тъмна стайчка (фиг. 6.1). Нейното съществуване според някои автори датира още от IV в. пр. н. е. Смята се, че е създадена от гръцкия философ Аристотел. През XV в. същото явление било описано подробно и от италианския ху-



Фиг. 6.1. Тъмна камера



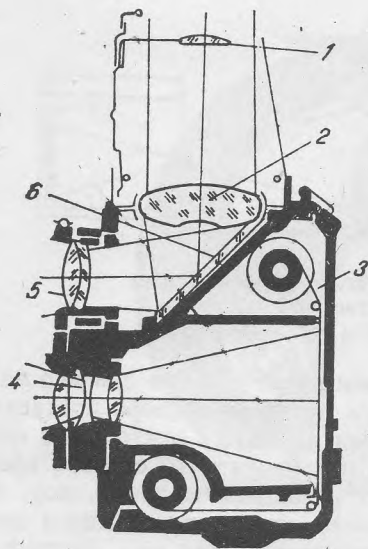
Фиг. 6.2. Тъмна камера с увеличителна леща

дожник Леонардо да Винчи. Той правил опит с кутия с много малък отвор, като на срещуположната стена на отвора поставял матово стъкло или полупрозрачна хартия, върху които се е получавал образът на предмета умален и обърнат. По същото време венецианецът Даниело Барбаро разширил малкия отвор и поставил пред него увеличително стъкло, като получил много по-светъл и ясен образ (фиг. 6.2). Така се стигнало до конструирането на първата фотографска камера, но били нужни още много години, докато се открие начин за задържане на получения образ. 1839 година се смята за година на откриване на фотографията, в която френският физик и математик Франсоа Араго въз основа на опитите и постиженията на своите сънародници Ниел и Дагер разработил фотографски метод за задържане на образите, наречен дагеротипия.

Примитивно създаденият и оформен на времето фотографски апарат е претърпял през последните няколко десетилетия голямо развитие и усъвършенстване. Единичната положителна леща, която представлява обективът на фотоапарата, била заменена със система от лещи, изчислени и конструирани така, че да дадат възможно най-добър образ. За поместване на образа в зрителното поле на обектива бил създаден визьор, за измерване на разстоянието до предмета — далекомер, за контролиране на времето на експонация — затвор, а за монтиране и изместване на фотолентата — ролков механизъм. Усъвършенствувани били постепенно негативните и позитивните процеси при изработване на снимката.

На фиг. 6.3 е дадена принципна схема на фотоапарата Любител 2, където 1 е лупата за фокусиране на получения образ от визьора, който се състои от обектива 5, огледалото 6 и колективната

леща 2 с матово кръгче в средата. Обективът 4 на фотоапарата е прост триплет. Той дава образ върху фотолентата 3. Съвременният фотоапарат представлява прецизен оптико-механичен уред.



Фиг. 6.3. Принципно устройство на фотоапарата

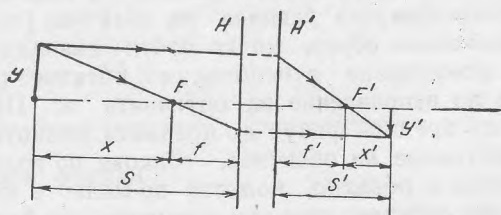
стояние, апертурна бленда, относителен отвор и светлосила, зрителен ъгъл и ъгъл на образа, ясност на образа, дълбочина на изобразяваното пространство и разделителна способност.

6.2. ФОКУСНО, ОБРАЗНО И ПРЕДМЕТНО РАЗСТОЯНИЕ. МАЩАБ НА СНИМКАТА

Както всяка оптична система, така и обективът на фотоапарата има главни точки и главни равнини — H и H' (фиг. 6.4), преден и заден фокус — F и F' , предно и задно фокусно разстояние — f и f' , предметно и образно разстояние — s и s' , и разстояние от предния фокус до предмета и задния фокус до образа — x и x' . Обикновено фокусното разстояние на обектива се означава фабрично, като се гравира на тубуса му с буквата F и се дава в сантиметри или милиметри, например $F=5$ cm или $F=50$ mm.

В пряка връзка с фокусното разстояние на обектива са относителният отвор и светлосилата, дълбочината на рязкост и мащабът на образа, зрителният ъгъл и ъгълът на образа.

Мащабът на образа или напречното увеличение $\beta = \frac{y'}{y}$ дава от-



Фиг. 6.4. Положения на образа относно главните равнини, фокусното и предметното разстояние

ношението между линейните размери на образа y' към тези на предмета y , т. е. колко пъти линейните размери на образа са по-малки или по-големи от тези на предмета. Като се използва зависимостта

$$\frac{1}{s'} + \frac{1}{s} = \frac{1}{f'}$$

от уравнението $\beta = \frac{s'}{s}$ се получава

$$\beta = \frac{f'}{s - f'} \quad (1)$$

Тази формула показва, че мащабът на образа при дадено предметно разстояние се определя от големината на фокусното разстояние на обектива. Тъй като в любителската фотография обикновено разстоянието до предмета y е няколко пъти по-голямо от фокусното разстояние f' , то формула (1) може да добие следния вид:

$$\beta \cong \frac{f'}{s} \quad (2)$$

Тази опростена формула се използва при $s \geq 10f'$. Трябва да се отбележи, че обикновено разстоянието до предмета не се измерва от главната точка H на обектива, а от предния му фокус F . Именно това е разстоянието x , поради което формула (2) добива следния вид:

$$\beta = \frac{f'}{x} \quad (3)$$

От нея следва, че при постоянно разстояние x размерът на образа е в зависимост от фокусното разстояние f' , което може да се изрази със следната пропорция:

$$y'_1 : y'_2 : y'_3 \dots y'_k = f'_1 : f'_2 : f'_3 \dots f'_k \quad (4)$$

При любителските фотоапарати филмът в повечето случаи се поставя в задната фокусна равнина на обектива (по-точно в равнината на най-яския образ, която почти съвпада с фокусната равнина). За фокусиране е необходимо обективът да може да се премества по направление на оптичната ос. При постоянно разстояние x от предния фокус до предмета колкото е по-голямо фокусното разстояние на обектива, толкова по-голям ще бъде и полученият образ и обратно, колкото по-малко е фокусното разстояние на един обектив, толкова по-малък ще бъде образът на същия предмет, сниман от същото разстояние.

6.3. СКАЛА НА РАЗСТОЯНИЯТА

Скалата на разстоянията до предмета се изчислява съобразно с разстоянието x' от задния фокус на обектива до образа (фиг. 6.4).

От основната формула $\frac{1}{s'} - \frac{1}{s} = \frac{1}{f'}$ се получава

$$s' = \frac{sf'}{s + f'}$$

Тъй като $s' = f' + x'$, се получава

$$f' + x' = \frac{sf'}{s + f'}$$

откъдето

$$x' = \frac{sf'}{s + f'} - f'$$

$$x' = \frac{sf' - f' - f'^2}{s + f'} = -\frac{f'^2}{s + f'}$$

Така например, ако един обектив има фокусно разстояние $f' = 150$ mm, съобразно с предметното разстояние s , на което се намира предметът, който ще се снима, може да се изчисли разстоянието x' от задния фокус на обектива до получения образ.

Пример. Да се изчисли стойността на x' при дадени $f' = 150$ mm и $s = -20$ mm = -20 000 mm.

$$x' = -\frac{f'^2}{f' + s} = -\frac{150^2}{-20\,000 + 150} = 1,1 \text{ mm.}$$

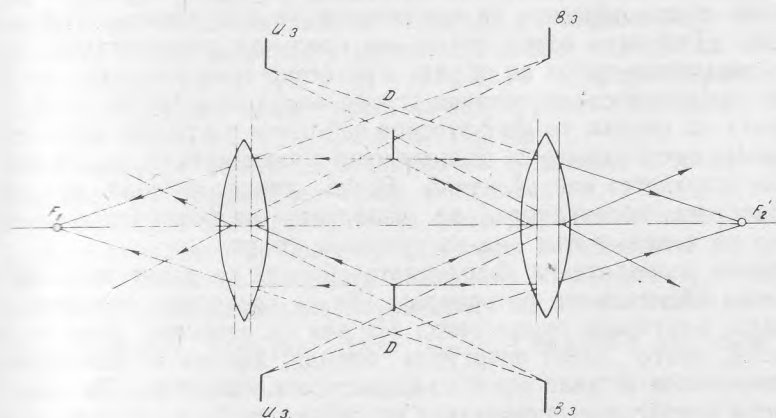
Стойностите на x' за фотографски обектив с фокусно разстояние $f' = 150$ mm и съответните разстояния до предмета s са дадени в табл. 6.1.

Таблица 6.1

s в m	-20	-10	-5	-3	-2	-1
x' в mm	1,1	2,3	4,6	7,9	12,2	26,5

6.4. Апертурна бленда

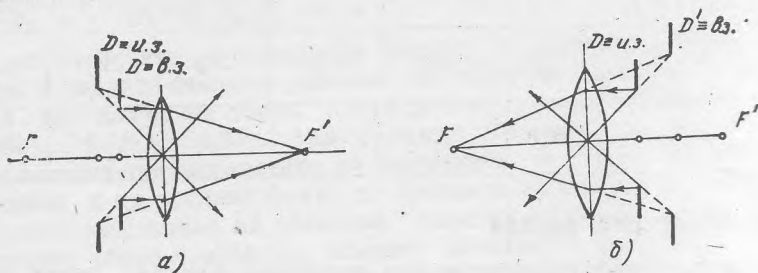
Всеки фотографски обектив има апертурна бленда, която се поставя между лещите на обектива, а ако той е еднолещов — пред или зад него. Най-често използваните бленди във фотографските обективи са ирисните. Те се състоят от дъгообразни тънки пластинки, подредени и закрепени така, че позволяват да се променя диаметърът им. Образът на апертурната бленда, получен от оптичните елементи на обектива, които се намират пред нея, дава входната зеница на системата. Образът на апертурната бленда, получен от оптичните елементи зад нея, дава изходната зеница на системата. Тези образи се построяват по същия начин, както се построяват образи при лещите (фиг. 6.5).



Фиг. 6.5. Определяне на входната и изходната зеница на фотообектива при бленда, поставена между лещите му

Когато обективът е еднолещов и апертурната бленда е поставена пред него, входната зеница съвпада със самата апертурна бленда (фиг. 6.6 а).

Ако блендата е поставена зад обектива, тя представлява и изходната зеница на системата, а входната зеница се получава от оптичните елементи, намиращи се пред действащата бленда (фиг. 6.6 б).



Фиг. 6.6. Определяне на входната и изходната зеница при бленда, поставена пред и зад обектива

Предназначението на апертурната бленда е да ограничи светлинния поток, който влиза в обектива на фотографския апарат. С нея се коригират някои недостатъци на оптичната система. Диаметърът ѝ има голямо значение за разделителната способност на обектива и за неговата светлосила. От него зависи контрастността и дълбочината на рязкост на пространството на образа.

Дълбочина на рязкост на пространството на образа се нарича разстоянието по дължината на оптичната ос на обектива, в границите на което образите на предметите се получават достатъчно ясни. Тъй като всяка точка на предмета съответствува на строго определена точка на образа и на всяко положение на равнината на предмета съответствува строго определено положение на равнината на образа, то на фотослоя най-резки ще бъдат образите на тези предмети, които са разположени в равнината на насочването (фокусирането) на обектива. Всяка точка, лежаща във от равнината на насочването, се изобразява на фотослоя вече не във вид на точка, а във вид на разсеяно кръгче.

Данните за размерите на апертурната бленда се дават задължително към обектива на фотоапарата. Те са гравирани обикновено на гървна, монтирана около него. На нея са нанесени само тези стойности, които дават апертурна бленда, два пъти по-голяма от предишната и два пъти по-малка от следващата. По този начин при преместване показателя на скалата на блендата на едно деление експонацията се увеличава или намалява два пъти.

65. ОТНОСИТЕЛЕН ОТВОР И СВЕТЛОСИЛА

Относителен отвор на фотографския обектив се нарича отношението на максималния диаметър на входната зеница към фокусното разстояние $\frac{2h_1}{f'}$. Понякога в проспектите или каталозите за фотографските обективи това отношение е дадено в следния вид:

$$1 : 2h_1$$

За да има фотографският обектив голям относителен отвор, диаметърът на входната му зеница трябва да бъде голям, а фокусното му разстояние — малко. Тези стойности може да се изменят в определени граници, защото при голям относителен отвор не се получава добра рязкост на дълбочина на образното пространство и се увеличават оптичните недостатъци. От друга страна, при много малък относителен отвор се получава дифракция на светлината. Диаметърът на входната зеница винаги се привежда към единица. Например при обектив Индустар $22 \frac{2h_1}{f'} = 15 \text{ mm}$, $f' = 52,5 \text{ mm}$ и относителният му отвор ще бъде $\frac{2h_1}{f'} = \frac{15}{52,5} = \frac{1}{3,5}$ или 1:3.5.

Диаметърът на апертурната бленда, а оттам и на входната зеница на фотографските обективи може да се променя, вследствие на което се променя и относителният отвор (обикновево стъпаловидно от една максимална стойност до минимална). По този начин се образува скалата на относителните отвори на обектива: 1:2, 1:2,8, 1:4, 1:5,6, 1:8, 1:11, 1:16 (върху гривната, чрез която се променя диаметърът на апертурната бленда, са написани само числата 2, 2,8, 4, 5,6, 8, 11, 16).

Различните фотографски обективи се сравняват по стойността на максималния относителен отвор, който имат.

Геометричната светлосила H на фотографския обектив за безкрайно отдалечен предмет представлява отношението на осветлението, получено в равнината на образа, към яркостта на предмета. Тя е пропорционална на квадрата на относителния отвор на фотографския обектив $H = \left(\frac{2h_1}{f'}\right)^2$. Обектив с два пъти по-

голяма входна зеница ще пропусне четири пъти по-голям светлинен поток и ще бъде четири пъти по-светлосилен. Същото се получава и когато той е два пъти по-късофокусен. Съобразно с максималната стойност на относителния отвор, която имат обективите, те се разделят на:

- свръхсветлосилни $c \frac{2h_1}{f'} > 1:2,8$
- светлосилни $c \frac{2h_1}{f'}$ от 1:2,7 до 1:5,6
- нормални $c \frac{2h_1}{f'}$ от 1:6,3 до 1:8
- слабосветлосилни $c \frac{2h_1}{f'} < 1:9.$

Физичната светлосила на обектива на фотоапарата представлява числена мярка, която характеризира влиянието на конструкцията на системата върху осветлеността на образа. Тя зависи от коефициента на пропускане τ и от разстоянието, на което се намира предметът, който ще се заснима.

За предмет, който се намира в безкрайност и има яркост B при кръгла форма на апертурната бленда, физичната светлосила се изчислява по формулата

$$H_{\Phi} = \frac{1}{4} \pi \tau B \left(\frac{2h_1}{f'} \right)^2.$$

Колкото предметът, който ще се заснима, е на по-близко разстояние, толкова светлосилата намалява. Когато предметът е на разстояние, равно на двойното фокусно разстояние, т. е. когато предметът и образът са равни по големина, горната формула добива следния вид:

$$H_{\Phi} = \frac{1}{16} \pi \tau B \left(\frac{2h_1}{f'} \right)^2.$$

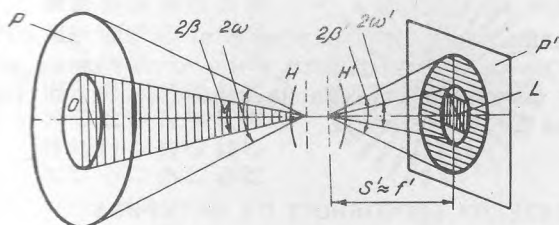
Вижда се, че при заснемане на предмети в границите от безкрайност до двойното фокусно разстояние на обектива светлосилата намалява четири пъти.

Дадените формули са в сила само за централната част на зрителното поле на обектива. С отдалечаването от оптичната ос светлосилата намалява. Осветлеността на фотообектива винаги намалява в края на полето.

От големината на относителния отвор зависи времето за експонация. Един светлосилен обектив позволява да се правят снимки при по-слабо осветление. Трябва да се знае обаче, че колкото е по-голям относителният отвор, толкова е по-малка дълбочината на пространството на предмета, за което се получават резки образи.

6.7. ЗРИТЕЛЕН ЪГЪЛ НА ОБЕКТИВА И ЪГЪЛ НА ОБРАЗА

Тази част от пространството, където е разположен предметът, който ще се заснима, и която се намира пред обектива на фотоапарата, се нарича предметно пространство (P), а тази



Фиг. 6.7. Зрителен ъгъл и ъгъл на образа

част, която се намира зад обектива на фотоапарата и в която се получава образът на предмета, се нарича пространство или равнина на образа (P') — фиг. 6.7. Ако в равнината на образа се постави един екран, то на него ще се получи едно кръгло неравномерно осветено поле. Това поле се нарича зрително поле на обектива на фотоапарата. Ъгълът, заключен между светлинните лъчи, които излизат от втората главна точка на обектива и обхващат краищата на зрителното поле, се нарича зрителен ъгъл ($2\beta'$). Тази централна част от зрителното поле, в която осветеността е по-равномерна и яснотата на образа е по-голяма (в границите на която има достатъчна осветеност за фотографски цели), представлява образното поле. Ъгълът, сключен между светлинните лъчи, които излизат от втората главна точка на обектива и обхващат краищата на полето на образа, се нарича ъгъл на образа ($2\omega'$). Кадровата рамка на фотографския апарат по своите размери трябва да съответствува на полето на образа на обектива. За даден фотоапарат могат да подходат само тези обективи, диаметърът на полето на образа на които е равен или по-голям от диагонала на кадъра. Ъгълът на образа на обектива $2\omega'$ се определя от размера на диагонала на кадъра и разстоянието от втората главна точка H' до равнината на образа:

$$\operatorname{tg} \omega' = \frac{L}{2s'}$$

Когато $s' = f'$, максималната стойност на ъгъла на образа се определя от формулата $\operatorname{tg} \omega'_{\max} = \frac{L}{2f'}$.

В зависимост от ъгъла на образа съвременните фотоапарати се разделят на три групи:

— нормални с ъгъл $2\omega' = 40^\circ \div 70^\circ$; фокусното разстояние на тези обективи е почти равно на диагонала на кадъра;

— широкоъгълни с ъгъл $2\omega'$ над 70° ; представляват много сложна оптична система; фокусното им разстояние винаги е по-малко от диагонала на кадъра;

— тесноъгълни или дългофокусни с ъгъл $2\omega'$ до 40° ; фокусното разстояние на тези фотоапарати е много по-голямо от диагонала на кадъра; оптичната система на повече от тях е построена на принципа на телеобективите.

6.7. РАЗДЕЛИТЕЛНА СПОСОБНОСТ НА ОБЕКТИВА

Разделителната способност на един фотографски обектив представлява възможното най-малко разстояние между две точки от предмета, разположени перпендикулярно на оптичната ос, образите на които се получават разделени в равнината на образа. Както при всеки оптичен уред, така и при фотографския апарат разделителната способност характеризира качеството на образа. Разстоянието δ' между образите A' и B' на светещите точки във

фокусната равнина на обектива е $\delta' = \eta f' = \frac{1,22\lambda}{D_{в.з}}$. Обикновено

разделителната способност на обектива се определя от броя на линиите в дължина 1 mm. Ако този брой се означи с N , то

$$N = \frac{1}{\delta'} = \frac{D_{в.з}}{1,22 \lambda f'}$$

$$\text{При } \lambda = 0,00055 \text{ m } N = 1500 \frac{D_{в.з}}{f'}$$

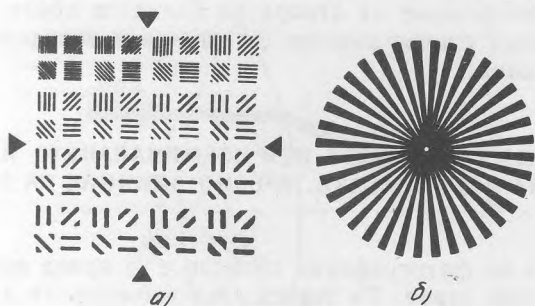
Според дифракционната теория винаги изчислената разделителна способност е по-голяма от практически реализираната и измерената, тъй като върху нея оказват непосредствено влияние недостатъците на оптичната система. Вследствие на тях образите на точките не са точки, а размазани петна, заобиколени от дифракционни кръгове.

Практически разделителната способност се измерва със специални измерителни таблици, наречени мири. Те биват различни видове. На фиг. 6.8 *a, б* са дадени най-разпространените от тях.

Разделителната способност се определя обикновено по два начина:

а) визуално — по пътя на непосредственото наблюдение под микроскоп на образите на мирите, получени с помощта на изпитвателния обектив;

б) фотографски — чрез заснимане на мирите с изпитвателния обектив. Разделителната способност и на двата случая се определя от максималния брой линии, съдържащи се в 1 mm, които обективът е способен да раздели. При визуалния начин на измерване резул-



Фиг. 6.8. Мире за измерване на разделителната способност на фотообектива:
а — линейни; б — радиални

татите не зависят от качеството на фотографската емулсия и винаги разделителната способност се получава числено по-голяма, отколкото тази, определена по фотографски начин. Поглъщателната способност на фотографската емулсия и зърнеността ѝ оказва непосредствено влияние върху качеството на образа. Затова в справочниците по-често се дават данни за разпределителната способност на фотоапаратите, определена по фотографския начин. Много често данните за разделителната способност на един фотографски обектив не са едни и същи в различните каталози или справочници. Това се дължи на условията, в които се извършват измерванията, източника на светлина, разстоянието до предмета, светлочувствителния материал, рецептурата и режима на обработка и др., които все още не са стандартизирани.

Разделителната способност не е еднаква по цялото поле на образа на фотографския обектив. Тя намалява към краищата, тъй като повечето aberации нарастват в краищата на полето. Затова обикновено се дават две стойности за разделителна способност: за центъра по-големи и за краищата по-малки. За качествата на обектива е необходимо да се знае и характерът на намаляването на разделителната способност от центъра на образа към края. Изследванията показват, че при различните обективи то е различно. Например едни обективи дават равномерен ясен образ на по-голяма част от снимката и забележимо намаляване на яснотата само към краищата ѝ. За други обективи обаче е характерно постепенното намаляване на яснотата на образа още от самия център на снимката. Разделителната способност при обективите намалява и с увеличаване на фокусното ѝ разстояние. При късо-

фокусните обекти тя е по-голяма, отколкото при дългофокусните. Тя зависи и от относителния отвор на обектива. Отначало с намаляването му нараства поради намаляване на сферичната аберация, комата и сферохроматизма, получени от оптичната система. При по-голямо свиване на отвора на блендата обаче разделителната способност отново започва да намалява вследствие на явлението дифракция.

6.8. ЗАГУБА НА СВЕТИНАТА ПРИ ПРЕМИНАВАНЕТО И ПРЕЗ ОБЕКТИВА НА ФОТОАПАРАТА. ВРЕДНО ВЛИЯНИЕ НА ВЪТРЕШНИТЕ ОТРАЖЕНИЯ

Светлосилата на фотографския обектив е в пряка връзка с неговия относителен отвор. Тя зависи изключително от диаметъра на входната зеница на обектива и от фокусното му разстояние. От това може да се заключи, че два фотографски обектива, които са с еднакви относителни отвори, трябва да дават равно осветлени образи на един и същ предмет, който ще се заснима. Това обаче не е така, защото целият светлинен поток, който постъпва в обектива на фотоапарата, не достига до полето на образа. Една част от него се губи поради поглъщане на стъклото, от което са направени оптичните елементи, а друга част — поради отражение на светлината от повърхнините на лещите. Загубата на светлината от поглъщане не е голяма. Средно може да се приеме, че в продължение на 1 см от дължината на лъча в масата на оптичното стъкло се губи 1% светлина. Загубата, предизвикана от отражение, е значително по-голяма (средно се губят около 5% светлина на всяка граница между повърхнините въздух—стъкло). Тя зависи преди всичко от показателя на пречупване на стъклото, от което са направени оптичните елементи, и се изчислява по формулата на Френел

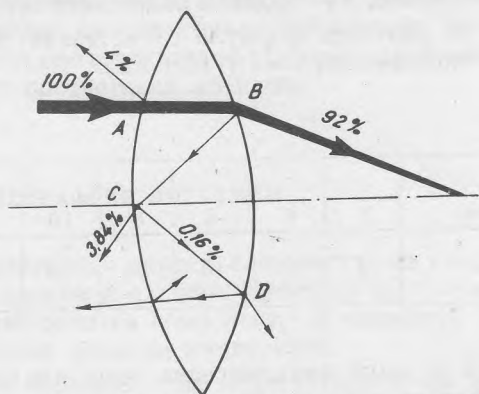
$$R = \left(\frac{n-1}{n+1} \right)^2 .$$

Пример. Да се изчисли загубата на светлината на фотографски обектив, който е направен от една положителна леща с показател на пречупване на стъклото $n=1,5$.

$$R = \left(\frac{n-1}{n+1} \right)^2 = \left(\frac{1,5-1}{1,5+1} \right)^2 = \left(\frac{0,5}{2,5} \right)^2 = \frac{1}{25} \text{ или } 4\% .$$

Получава се загуба на светлината 4% от едната повърхнина. Тъй като обективът е съставен от две повърхнини, загубата на светлината от отражение общо ще бъде 8%.
На фиг. 6.9 е дадена загубата на светлината, която преминава през фотографски обектив, който се състои от една положителна

леща от кронстъкло. При падането на лъча в точка *A* на предната повърхнина на лещата една част се отразява, а друга пречупва. Това първо отражение дава загуба на светлината 4%, която се губи в пространството на предмета. Проникналият в лещата



Фиг. 6.9. Загуба на светлината при преминаването ѝ през леща

лъч съдържа 96% от интензитета на падналата светлина. От втората повърхнина на лещата той губи пак 4% от интензитета на светлината вследствие на вътрешното отражение. След пречупването на светлинния лъч в точка *B* той излиза от лещата с интензитет на светлината само 92%. През това време лъчът, който е претърпял вътрешно отражение и носи 4% светлина, се пречупва от първата повърхнина на лещата в точка *C*. Тук обаче той отново губи 4% от своя интензитет, което прави 0,16% от първоначалния. В точка *C* пречупеният лъч носи 3,84% светлина, която в пространството на предмета се губи. От точка *D* лъчът прониква в образното пространство, където дава вреден вторичен образ, който се характеризира с широк кръг дифузна светлина. Очевидно е, че отраженията между двете повърхнини на лещата продължават, но отразената светлина е с много малък интензитет и след второто отражение тя е толкова слаба, че не оказва никакво вредно влияние на образите.

Вътрешните отражения са много по-вредни, отколкото поглъщането на светлината, което може да се компенсира с увеличаване времето за експлоатация. Конструкцията на фотообективите е най-различна. Те могат да се състоят от една леща, но в повечето фотоапарати се използват сложни обективи, които се състоят от повече гранични повърхнини въздух—стъкло. При обективите с по-голям брой лещи се явяват доста вторични образи, които се изчисляват по формулата

$$N = \frac{k(k-s)}{2},$$

където N е броят на вторичните образи; k — броят на повърхнините въздух—стъкло; s — броят на сплетените повърхнини.

На основата на дадената формула е съставена таблица при брой на сплените повърхнини $s=1$ (табл. 6.2).

Таблица 6.2

Повърхнини въздух—стъкло	2	4	6	8	10	12	14	16
Вторични образи	1	6	15	28	45	66	91	120

С монтирането на една допълнителна леща или един филтър към обектива на фотоапарата се увеличава броят на вредните образи. Загубата на светлината от отражение в сложните обективи може да достигне 50%, а в някои случаи и повече. Поради това е необходимо да се въведе понятието ефективна сила на обектива, т. е. измерване и отчитане на светлосилата на основата на загубата на светлината.

Ако с Φ се отбележи светлинният поток, който влиза в обектива на фотоапарата, а с Φ_1 — светлинният поток, който излиза от него, отношението $\frac{\Phi}{\Phi_1} = T$ представлява коефициент на светлопропускане на фотообектива. Светлинните потоци се измерват с оптичен уред посредством фотоелемент, свързан с галванометър — фотометър.

Коефициентът на пропускане T всякога се изразява с число, по-малко от 1, тъй като излизаният светлинен поток е винаги по-малък от влизания. Величината T показва каква част от падналата на обектива светлина преминава през него и участва при получаването на образите.

Ако са известни коефициентите на светлопропускане на два обектива, тези обективи могат да се сравнят не само по теоретично изчислената светлосила $H = \left(\frac{2h_1}{f}\right)^2$, но и по ефективната светлосила, която се изразява с формулата $H_{\text{ефект}} = \left(\frac{2h_1}{f}\right)^2 T$.

За намаляване на загубата на светлината от отражение и на броя на вредните образи и за увеличаване на светлопропускането на обектива повърхнините на лещите, които граничат с въздуха, се просветляват. Особено добро влияние оказва просветляването на

сложните обективи, които имат повече повърхнини въздух—стъкло. В този случай коефициентът на светлопропускането на сложните обективи се повишава от 0,6—0,7 до 0,85—0,9, т. е. обективът след просветляването започва да пропуска от 20 до 25% повече светлина. Просветлените обективи се предпочитат особено при работа с цветни фотоматериали, тъй като от просветляването зависи правилното цветопредаване. Всички съвременни фотоапарати притежават просветлени обективи.

6.9. ВИДОВЕ ФОТОГРАФСКИ ОБЕКТИВИ

Фотографските обективи според сложността на конструкцията си се разделят на прости и сложни. Простите са съставени от една леща или от един оптичен компонент, а сложните — от повече лещи или от повече оптични компоненти.

В зависимост от корекцията на недостатъците им обективите на фотоапаратите се разделят на: астигмати — при които са коригирани някои от недостатъците, и анастигмати — при които са коригирани почти всички недостатъци. От обикновените анастигмати са обособени следните обективи: широкоъгълни, телеобективи, обективи с променливо фокусно разстояние и огледални обективи.

Според предназначението им фотографските обективи биват:

— портретни, които имат сравнително дълго фокусно разстояние и малка дълбочина на образното пространство; чрез некоригиране на сферичната и хроматичната aberация се получава омекотяване на контурите на снимката, с което се намалява и нуждата от ретуш;

— репродукционни, които са изчислени за по-малки предметни разстояния; имат малка светлосила, но се отличават с изключително голяма разделителна способност и минимална острота на образа; те са особено добре коригирани от дисторсия и хроматична aberация;

— репортажни, които биват с най-различни фокусни разстояния; те са с по-голяма светлосила, което позволява да се работи при неблагоприятни светлинни условия;

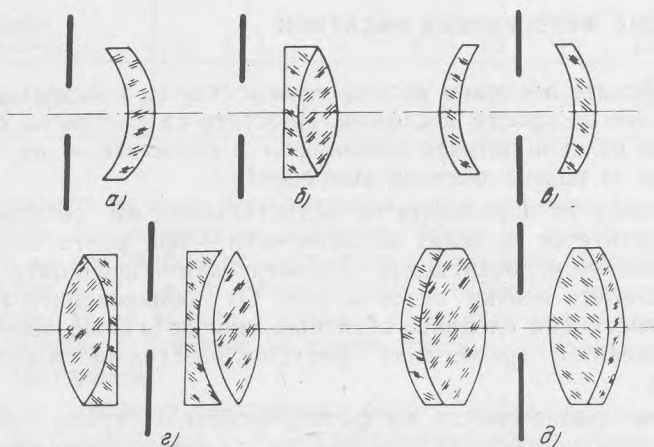
— увеличителни, които се използват при фотоувеличителите; изчислени са за по-къси разстояния, на които да се извършва увеличението; те са анастигмати, коригирани особено добре от хроматична aberация;

— проекционни, които служат за проектиране на образа върху екран; отличават се с голяма светлосила, добра разделителна способност и коригирана хроматична aberация;

—обективи за цветна фотография, които дават добър контраст и яснота на образа; коригирани са много добре от хроматична аберация.

6.9.1. Видове обективи-астигмати

Един от простите обективи-астигмати, който се използва при някои от по-старите и по-обикновени фотоапарати, е еднолещовият менисков обектив (фиг. 6.10 а). Той е с бленда, разположена



Фиг. 6.10. Видове обективи-астигмати

пред или вътре в камерата на фотоапарата, в зависимост от това дали е обърнат с вдлъбнатата си страна към светлината или към камерата. Обикновено менисковият обектив се използва с относителен отвор 1:11; 1:8. Направените с него снимки са леко размазани, особено в края на полето, и са с понижена контрастност. Затова в някои случаи той се използва като мекорисуващ обектив за портретни и пейзажни снимки.

Обективът-ахромат е положителна оптична система, която се състои от две слепени лещи (фиг. 6.10 б). При него са коригирани частично сферичната аберация и хроматичната за два цвята и образите, получени при един и същ относителен отвор, са значително по-добри. Той се използва като мекорисуващ обектив с относителен отвор 1:8 и 1:5,6 и граничен ъгъл на образа 30° — 40° . В по-свтините любителски фотоапарати може да се използва с по-малък ъгъл на образа, но и с по-малък относителен отвор. Такъв е например обективът-ахромат Фронгар на фирмата Цайс ($f=11$ cm; 1:11), с който са снабдени някои люби-

телски камери с размер 6/9 и ъгъл на образа 50° . При снимане на отдалечени обекти те дават доста резки образи. Простият обектив-ахромат намира приложение и в малкоформатните фотокамери като дългофокусен с малък ъгъл на образа.

Перископът е най-простият от сложните фотографски обективи (фиг. 6.10 в). Състои се от две положителни лещи (обикновено менискови), които са разположени симетрично от двете страни на блендата. При него е коригирана дисторсията и отчасти комата. Всички останали aberации са налице. Намаляването им обикновено се реализира с използване на по-малки относителни отвори (1:12,5; 1:11). Перископите намират приложение в по-евтините фотографски апарати, като например в средноформатната съветска камера Юнкор с размер на кадъра 6×6 , $f = 6,5$ cm, 1:8. Те се използват също като мекорисуващи обективи а понякога и като широкоъгълни и свръхширокоъгълни. В последния случай формата на лещите им се променя (приближава се до полусферична). Това в малка степен коригира недостатъците им те могат да бъдат с по-голям ъгъл на образа.

Апланатът е обектив, съставен от два ахромата, разположени симетрично от двете страни на блендата (фиг. 6.10 д). Той е коригиран добре по отношение на дисторсията, хроматичната и сферичната aberация. При него обаче се получава астигматизъм и кривина на полето при по-голям ъгъл на образа.

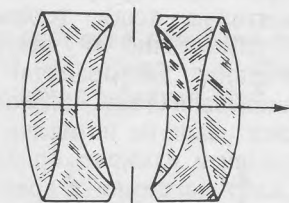
През 1841 г. Петцвал изчислил и конструирал един от най-старите обективи-апланати — т. нар. портретен обектив на Петцвал. Той представлява два ахромата, симетрично разположени от двете страни на блендата (фиг. 6.10 з). Този обектив се използва като мекорисуващ.

Напоследък почти не се произвеждат обективи-апланати.

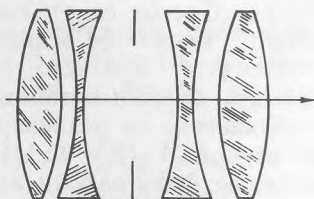
6.9.2. Видове обективи-анастигмати

На фиг. 6.11 е даден един от най-старите обективи — анастигматът на Дагор. Той се състои от два оптични компонента, всеки един от които има по три лещи, разположени симетрично около блендата. При този обектив много добре са коригирани почти всички aberации и особено дисторсията. Напоследък са създадени редица обективи-анастигмати тип Дагор. При ъгъл на образа $70-80^\circ$ и при относителен отвор 1:6,8 те дават висока рязкост на образа по цялото поле на снимката. При по-малък относителен отвор може да се използват даже с ъгъл на образа до $90-100^\circ$ при незначително намаляване на рязкостта на образа в краищата на снимката. За направа на технически издържани снимки, на снимки вътре в помещения и на архитектурни или репро-

дукционни снимки се използват двойните анастигмати. На фиг. 6.12 е дадена схемата на фотообективите Целор и Ортогос, които са приспособени за най-различни видове фотоснимки, особено за голямомащабни и за снимки с естествена големина. Конструк-



Фиг. 6.11. Анастигмат на Дагор

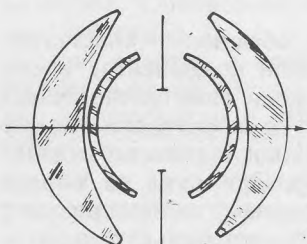


Фиг. 6.12. Обективи Целор и Ортогос

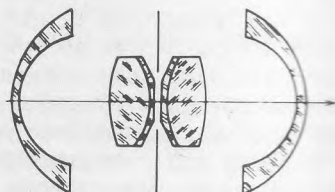
циите на този тип обективи често преминават в широкоъгълни, които са доста късофокусни и със значителен ъглов обхват (не по-малък от 60°); някои от тях са с ъгъл на образа $120-140^\circ$. Такива са съветските обективи Орион 15 ($f=2,8$ cm; $1:6$; $2\omega' = 75^\circ$)—фиг. 6.13. Използват се във фотокамерите тип Зорки и тип Киев. С тях успешно могат да се правят архитектурни снимки от близки разстояния.

Фотообектив Русар МР2 ($f'=2$ cm; $1:5,6:2$ $\omega'=95^\circ$) се използва в малкоформатните фотокамери (фиг. 6.14). За разлика от другите широкоъгълни обективи тези от типа Русар осигуряват много по-добро осветление и по-добра разделителна способност в краищата на полето.

В повечето фотоапарати се срещат несиметричните анастигмати. Най-използуваните от тях са триплетите. На фиг. 6.15а е даден обективът прост триплет. С него са снабдени фотоапаратите Смяна



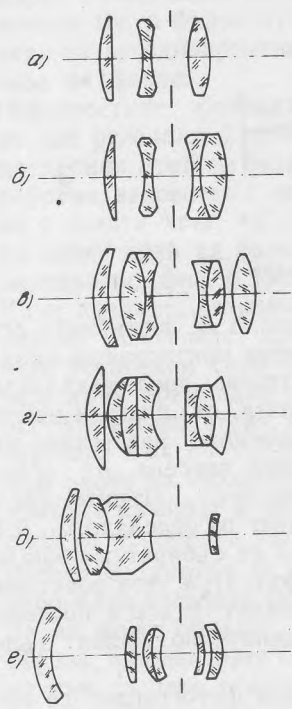
Фиг. 6.13. Обектив Орион



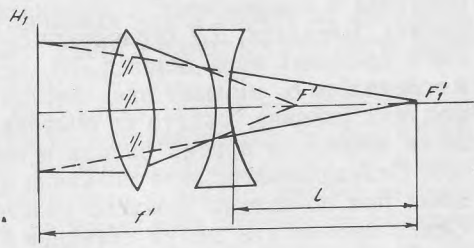
Фиг. 6.14. Обектив Русар

Любител, Цайс — Триотар, Майер Триоплан и др. Обикновено триплетите са със светлосила $1:3,5$. Състоят се от три лещи, разположени на известно разстояние една от друга. Средната леща винаги е разсейвателна.

Последната положителна леща на триплета впоследствие била усложнена (фиг. 6.15 б), при което се получила добра аберационна корекция за по-големи ъгли на полето на образа. Наименованията на обективите от този тип, произведени от различните фирми, са: Тесар, Елмар, Индустар, Ксенар и др. На фиг. 6.15 в, г са показани висококачествени обективи, които дават рязък образ с големи подробности. С увеличаване на броя на лещите се получават обективи-анастигмати с още по-високи качества. Те са от рода на триплетите и са известни под наименованията Биотар, Зонар) Юпитер, Флектогон (фиг. 6.15 в, г, д, е. Телеобективите са дългофокусни фотообективи, чийто диагонал на кадъра е много по-малък от фокусното им раз-



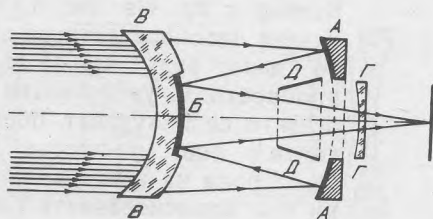
Фиг. 6.15. Несиметрични анастигмати



Фиг. 6.16. Принципна схема на телеобектив

стояние. Характерно при тях е и малката дължина на оптичната система. Ъгълът на образа е по-малък от $30-40^\circ$. Телеобективите позволяват да се снима в по-едър мащаб от по-голямо разстояние. На фиг. 6.16 е показана принципната схема на телеобектив, съставен от два компонента, условно дадени като две лещи. Задният фокус F_1' на системата на телеобектива е отдалечен спрямо задния фокус F' на първия компонент и е на разстояние l от главната равнина на втория компонент. Ако събиращите се в F_1' лъчи, които са крайните лъчи в светлинния сноп, се продължат в обратна посока до пресичането им с падащия успореден сноп лъчи, в равнината H_1 , прекарана през пресечната точка, е мястото, където би могло да се постави положителна леща, която ще даде образ в същия мащаб, както дадената система. От чертежа

се вижда, че при дадената конструкция дължината на обектива е съкратена. Вместо дължина f' той ще има дължина $l < f'$. Огледално-лещовите телеобективи са също дългофокусни. На фиг. 6.17 е дадено схематично оптичното им устройство. Основ-



Фиг. 6.17. Огледално-лещов телеобектив

ните оптични елементи са: изпъкнало огледало B , вдлъбнато огледало AA , леща BB , която е непосредствено монтирана на входната зеница на обектива, и леща $ГГ$, поставена пред изходната зеница. Тези две лещи предпазват огледалата от влага и някои замърсявания, влияят на дължината на фокусното разстояние на обектива и компенсират сферичната aberация, внесена от огледалата. Блендата $ДД$ ограничава светлинния сноп. Лъчите, след като преминат през лещата BB , се отразяват от огледалото AA и огледалото B , минават през лещата BB и се събират в общата фокусна равнина, където се получава образът. При тези обективи не се използва ирисна бленда и относителният отвор е постоянен. Огледално-лещовите обективи имат сравнително малка дължина при по-голямо фокусно разстояние.

Освен посочените дотук обективи в научната фотография се използват и обективи за микрофотография, за фотограметрични и рентгенови снимки, за ултравиолетова фотография и др.

6.10. УСТРОЙСТВО ЗА ФОКУСИРАНЕ НА ФОТООБЕКТИВА. ФОТОДАЛЕКОМЕРИ

Фотодалекомерите са оптични системи, включени обикновено към фотографския апарат. Те се използват за измерване на разстоянието до обекта, който ще се заснима. В по-старите фотографски апарати те не са в непосредствена връзка с обектива. В по-новите апарати между обектива и далекомера има кинематична връзка. Измерването и фокусирането се извършват едновременно. Принципът, на който се измерва и изчислява разстоянието до предмета, е решаването на един правоъгълен триъгълник. На фиг. 6.18 единият катет на правоъгълния триъгълник е известен. Той представлява базата (B) на далекомера. Достатъчно е от края на базата да се визира предметът (P) и да се измери паралаксният