

АСТРОФОТОГРАФИЯ

С ВИСОКА РАЗДЕЛИТЕЛНА СПОСОБНОСТ

В тази втора част на книгата ще разгледаме т.н. астрофотография с висока разделителна способност, която изисква по-прецизна техника, определени условия, както и усвояването на някои основни понятия. Следващите страници ще ви помогнат да се специализирате и в тази област.

I. ОБЩИ ПОЛОЖЕНИЯ

ВИБРАЦИИ, ПРИЧИНЕНИ ОТ ОГЛЕДАЛНО-РЕФЛЕКСНИТЕ ФОТОАПАРАТИ.

Сътресението, което се предизвиква от рязкото вдигане на огледалото на фотоапарата и движението на затвора, се предава и на инструмента. Което се проявява в разместени снимки или изображения с по-ниска разделителна способност. Използването на огледално-рефлексен фотоапарат е особено неподходящо за кратки експозиции, от 1/10 s до около 1 s и повече. Тестовите измервания на разделителната способност показват намаляване в резкостта на образа дори за скорости 1/250 s.

ОТСТРАНЯВАНЕ НА ВИБРАЦИИТЕ ОТ ОГЛЕДАЛОТО НА ОГЛЕДАЛНО-РЕФЛЕКСНИТЕ ФОТОАПАРАТИ.

За да се елиминират вибрациите, може да се използват фотоапарати, чието огледало може да се вдига съвсем плавно с помощта на гъвкаво жило или пневматична круша. В тази категория влизат Miranda Laborec II и Visoflex III на Leitz за Лайка М4.

Може да използвате и командата за закъснение на някои огледално-рефлексни фотоапарати, чиито бутон на прекъсвача задейства затвора чак след като се вдигне огледалото (Cosina, Canon, Ricoh, Chinon). Но дори и в тези привилегирани случаи, затворът с пердетата (макар, често да е монтиран върху сачмени лагери), предизвиква още една забележима вибрация, която се отразява дори при 250 mm телескоп, чието тегло заедно с монтировката достига до 100 kg!

ПРАКТИЧЕСКИ ИЗВОДИ. За експозиции, надвишаващи 1/2 s, т.е. за астрофотография с висока разделителна способност, най-добре е да използвате т.н. техника на *затъмняване* на телескопа. С лявата ръка се покрива отвора на телескопа с диск от картон или лек шперплат, а с дясната се отваря затвора на експозиция В, с помощта на гъвкаво жило с блокировка. Изчаква се 4 или 5 s, така че да затихнат всички вибрации (без да се докосва телескопа със затъмнителя), след което телескопът се открива за необходимото време (1/2 до 10 s, според случая). След това, тубусът отново се покрива, а затворът се затваря, като се натисне прекъсвача на жилото. Този метод не позволява проследяването на турбуленцията (за Луна и планети), но е задължителен при любителските инструменти, задвижвани от екваториална установка.

Ръчното затъмняване на тубуса може да се замени с конструирането на лек обтуратор (люлеещ се капак от алуминий), лишен от вибрации, който се инсталира пред отвора на камерата с огледално-рефлексен визьор.

ФОТОГРАФСКИ КОНСТАНТИ ЗА ПОЛУЧАВАНЕ НА СНИМКАТА

ДИАФРАГМАТА. (относителен отвор или светлосила f/D) е отношението между фокуса на една леща (или система от лещи, т.е. обектив) и диаметъра на използваната диафрагма. Най-често използваните относителни отвори във фотографията, изписани върху обективите, са следните: 1.4 - 2 - 2.8 - 4 - 5.6 - 8 - 11 - 16 - 22.

Когато се преминава от една стойност към друга, се казва, че обективът „се отваря“ или „се затваря“ с една диафрагма.

СКОРОСТТА НА ЗАТВОРА. Това е времето, през което затворът на фотоапарата остава отворен пред филма. Измерва се в секунди или в части от секундата. Основните скорости, изписани върху фотоапаратите са следните: 1 (секунда) - 1/2 - 1/4 - 1/8 - 1/15 - 1/30 - 1/60 - 1/125 - 1/250 - 1/500 - 1/1000 - 1/2000.

СВЕТЛОЧУВСТВИТЕЛНОСТТА НА ФИЛМА. Измерва се в ASA или DIN.

При най-използваните степени - ASA - светлочувствителността е пропорционална на самите стойности в ASA. При скалата DIN светлочувствителността се удвоява на всеки 3 степени. Например, 24 DIN е 2 пъти по-светлочувствителен от 21 DIN.

Нарастването с 3 степени е стандартизирано така, че да е еквивалентно на всяка смяна на цифрата (т.е. да се удвоява), ако се използва скалата ASA. Например:

1/500	1/250	1/125	1/60	1/30	1/15	1/8	1/4	1/2	1
1	1/4	2	2,8	4	5,6	8	11	22	32

осветеността се удвоява, когато се преминава от диафрагма 4 към

2.8, или от скорост 1/15 към 1/8, или от светлочувствителност 100 към 200 ASA.

Всеки път, когато се промени една от величините, може да се получи същото осветяване, като се измени някоя от останалите две в същото съотношение.

Например, в астрономията, ако искате да получите една снимка, като експонирате 1 min с $f/D=4$ върху филм 200 ASA, но не можете да го направите, тъй като задължително трябва да използвате обектив, чийто отвор е само 5.6, просто променете пропорционално времето на експозиция или светлочувствителността на филма. Можете да получите *същото осветяване*, като изберете филм от 400 ASA или удължите времето на експозиция на 2min (ако филмът е коригиран срещу ефекта на реципрочността).

ПРАВИЛО ЗА ЗАМЕНЯНЕ НА СТОЙНОСТИТЕ. Препишете двата реда числа, след което поставете една под друга стойностите на избраните от вас диафрагма и скорост. Така можете да прочетете срещу някоя друга диафрагма съответната скорост, или срещу някоя друга скорост съответната диафрагма, които ще създадат същото осветяване върху филма.

Например: Нека опитът ни дава скорост 1/15 и диафрагма 5.6 за дадена осветеност и светлочувствителност на филма. Нагласявате двете стойности една срещу друга и виждате, че при диафрагма 11, например, ще трябва да експонирате 1/4 s, при същата светлочувствителност на филма.

ФОКУС, ДИАМЕТЪР, ДИАФРАГМА, ОТНОШЕНИЕ f/D , РЕЗУЛТАНТЕН ФОКУС, РЕЗУЛТАНТНО ОТНОШЕНИЕ f/D

Вие ще срещате тези термини в цялата книга, затова е необходимо добре да ^{ПОД}запознаете с тяхното значение.

ФОКУСЪТ (f) е разстоянието между центъра на един обектив на фотоапарат или астрономически дальноглед и *точката-образ*, където се фокусират светлинните лъчи, пресичащи обектива. В случая на огледало на телескоп, фокусът е разстоянието от отражателната повърхност до *точката-образ*.

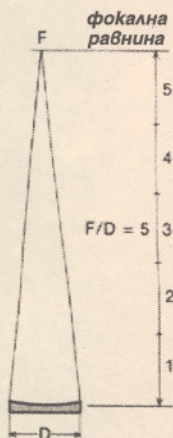
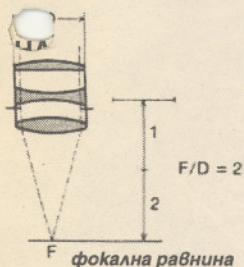
ОТВОРЪТ (D) е използваният (полезен) *диаметър* на обектива на дальноглед или на системата от лещи, съставляваща обектива на фотоапарата, или диаметърът на огледалото на телескопа.

ОТНОШЕНИЕТО f/D (*фокус/диаметър*) е връзката между тези две величини. Тя определя светлосилата на обектива или на използваната оптична комбинация.

Например: когато един обектив има фокус 50 mm и диаметър 25 mm (на максимално отворена диафрагма), *отношението* е $f/D=50/25=2$ (откъдето идва индикацията 1:2/50 mm, изписана върху обектива). Ако искате да ограничите диафрагмата до средата на диаметъра на обектива, тогава отворът му ще стане 12.5 mm и отношението f/D ще бъде $50/12.5=4$. Когато отворът на един обектив се намали *наполовина* чрез диафрагмата му, полезната повърхност, през която минава светлината намалява *четири пъти*!

За телескоп с диаметър на огледалото 200 mm и фокус 1200 mm, светлосилата е $f/D=1200/200=6$.

Фотографски обектив
отворен на $f/D=2$.
Огледало на телескоп,
отворено на $f/D=5$.



За астрономически дальноглед с диаметър 60 mm и фокус 720 mm, светлосилата е $f/D=720/60=12$.

Ако към телескоп с 1200 mm фокус се добави една отрицателна леща на Барлоу 2x (с увеличение 2 пъти) малко преди фокалното изображение, тогава *диаметърът* на това изображение *се удвоява*. Това е равносилно на използването на телескоп с фокус 2400 mm. Ясно е, че тогава светлосилата му ще намалее до $f/D=2400/200=12$.

Това е т.н. *резултантен относителен отвор*. А резултантният фокус ще бъде $1200 \times 2 = 2400$ mm.

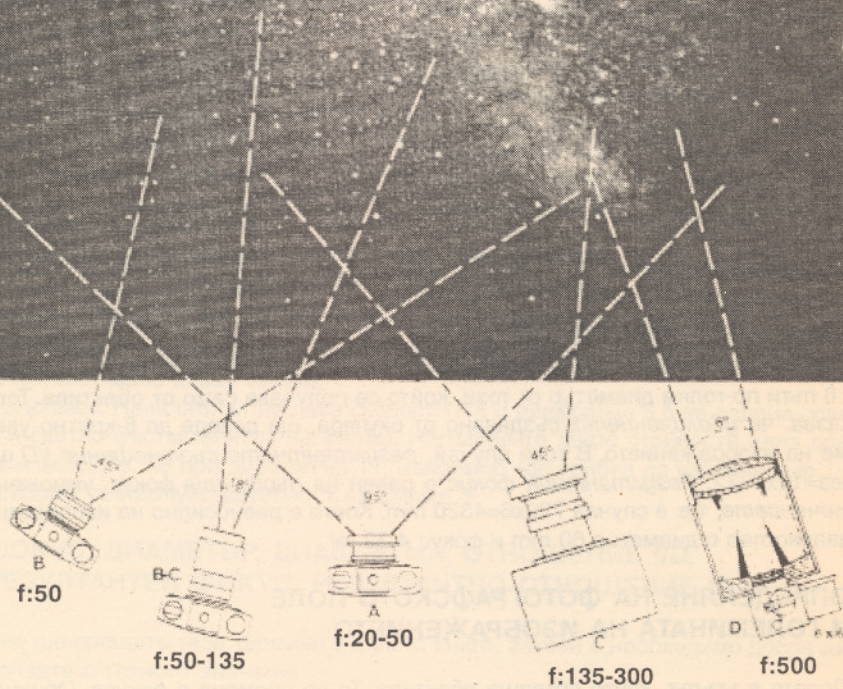
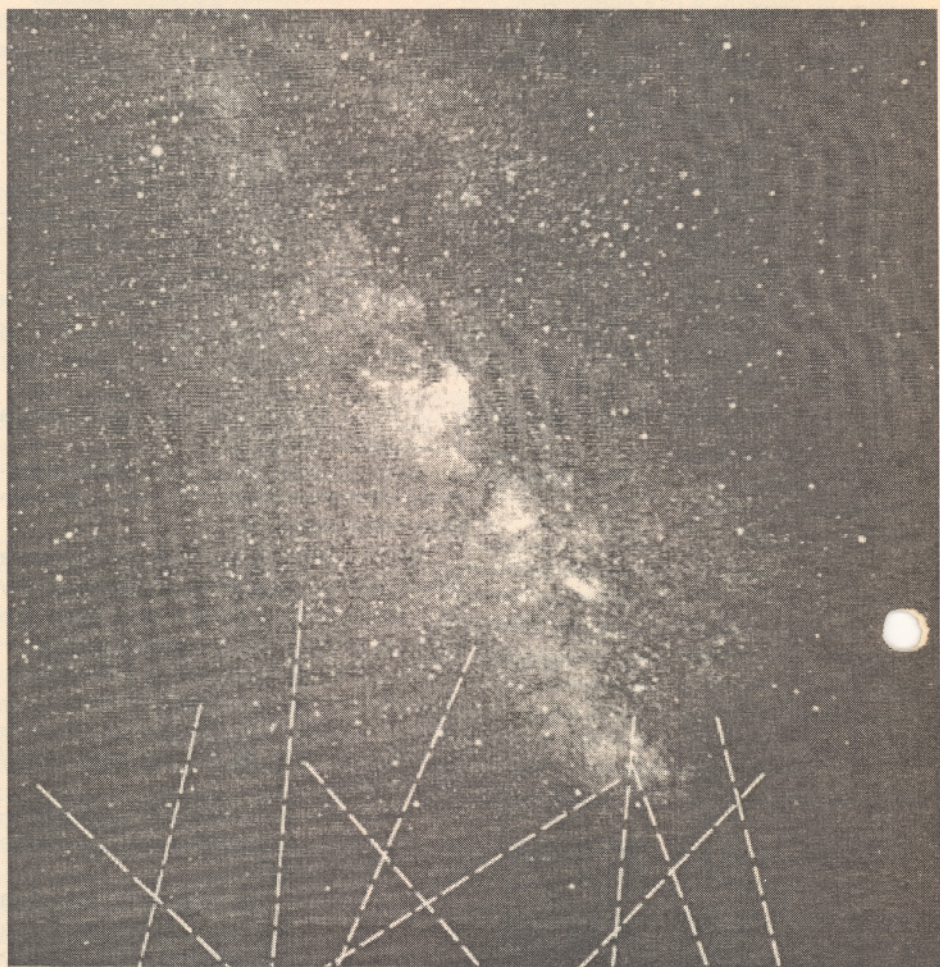
Друг пример: ако поставите окуляр на дальноглед с отвор $D=60$ mm и фокус $f=720$ mm ($f/D=12$), той ще отдалечи филма на достатъчно разстояние от окуляра, така че полученото изображение на Луната ще има 6 пъти по-голям диаметър от този, който се получава само от обектива. Тогава се казва, че *увеличението*, създавано от окуляра, ще доведе до 6-кратно увеличение на изображението. В този случай, *резултантното съотношение f/D* ще е $f/D_{рез}=12 \times 6=72$. *Резултантния фокус* е равен на първичния фокус, умножен по *увеличението*, т.е. в случая $720 \times 6=4320$ mm. Което е равносилно на използването на дальноглед с диаметър 60 mm и фокус 4.32 m!

ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ФОТОГРАФСКОТО ПОЛЕ И ГОЛЕМИНАТА НА ИЗОБРАЖЕНИЕТО

Полето е ъгълът, който обхваща обектива. То се променя с фокуса. Обикнове-

За даден формат на филма, фотографското поле е толкова по-широко, колкото фокусът на обектива е по-къс.

Приложение на списание "Ангромед" * Астрофотография за любители - Бурж, Драгеско, Даржери - 1987 г. *



но, то е толкова по-широко (а изображенията на фотографираните обекти по-малки) колкото фокусът на използвания обектив е по-къс. Затова, вие трябва да направите правилен избор на обектива, или на инструмента, както и на оптичната комбинация, които ще прибавите, според конкретния обект за фотографирание и резултата, който искате да получите.

Представяме ви е накратко областите на приложение на обективите и инструментите, пригодени за астрофотография, според фокусното им разстояние:

А. ГОЛЯМО ЪГЛОВО ПОЛЕ И НОРМАЛЕН ФОКУС ОТ 20 ДО 55 mm. Те могат да се монтират или върху неподвижен фотоапарат или върху фотоапарат, монтиран върху екваториална установка.

НЕПОДВИЖЕН ФОТОАПАРАТ. Поставя се на статив, колона или просто на земята. Фотоапаратът може да е с огледално-рефлексен визьор или не, но задъл-

поле за формат 24x36 (диагонал в градуси)	фокус (в mm)	диаметър на Луна и Слънце върху негатива (в mm)	приложение
<i>широкоъгълно 95°</i>	20	0.18	A
<i>нормално 45°</i>	50	0.45	A,B
<i>телеобективи, авиационни камери, Шмидт-камери</i>			
22°	100	0.88	B,C
8°	300	2.6	C
2 2	1000	8.8	D
<i>телескопи</i>			
2° (полезно 1/2°)	1200	10.6	E
<i>телескопи с увеличение</i>			
1° (полезно 1/2°)	2400	11.2	E,F
12'	12000	112.0	F

Сравнителна таблица между поле и фокус за различни типове обективи и инструменти, използвани в астрофотографията.

жително трябва да има експозиционно време B, за да може да се използва гъвкаво жило с блокировка.

Приложение: За експозиции от 2 до 30 s - съзвездия, съединения, ярки комети, полярни сияния, зодиакална светлина. За експозиции от 5 min до 1 h - звездни трекове, метеори, изкуствени спътници.

ФОТОАПАРАТ, МОНТИРАН НА ЕКВАТОРИАЛНА УСТАНОВКА, упростена, задвижвана ръчно или електрически, или закрепен паралелно към тубуса на инструмент, монтиран екваториално.

Приложение: звездни площадки, Млечен път, ярки комети.

ФОКУСИ ОТ 55 ДО 135 mm. Отново ще разгледаме два случая.

НЕПОДВИЖЕН ФОТОАПАРАТ. *Приложение:* съзвездия, фази на затъмнение на Луната или на Слънцето.

ФОТОАПАРАТ, МОНТИРАН НА ЕКВАТОРИАЛНА УСТАНОВКА, упростена, или закрепен паралелно на тубуса на инструмент, монтиран екваториално: комети, малки планети, мъглявини в Млечния път (Щит, Северна Америка), звездни площадки.

С. ТЕЛЕОБЕКТИВИ ОТ 135 ДО 300 mm. Монтират се върху по-прецизно изработена екваториална установка. Към приложенията за предишните фокуси може да се добавят разсеяни звездни купове като Плеядите и двойния куп в Персей.

Инструменти, използвани в астрофотографията.

1 - Астрономически
далекоглед: $f/D=12$ до 15,
средно поле 1° .

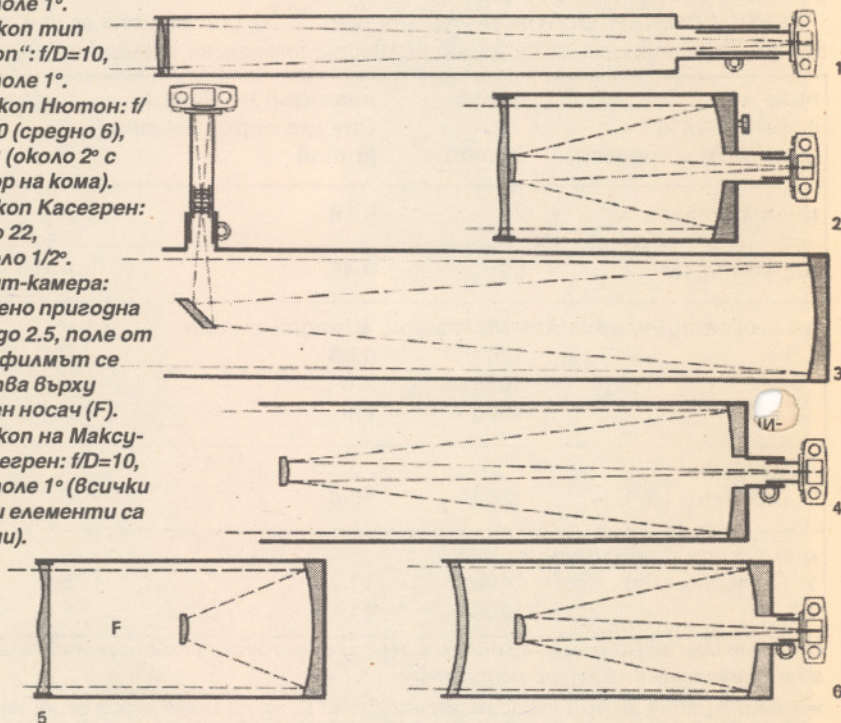
2 - Телескоп тип
„Celestron“: $f/D=10$,
средно поле 1° .

3 - Телескоп Нютон: $f/D=3$ до 10 (средно 6),
поле $1/2^\circ$ (около 2° с
коректор на кома).

4 - Телескоп Касегрен:
 $f/D=20$ до 22,
поле около $1/2^\circ$.

5 - Шмидт-камера:
обикновено пригодна
за $f/D=2$ до 2.5, поле от
5 до 20° , филмът се
премества върху
сферичен носач (F).

6 - Телескоп на Макс-
утов-Касегрен: $f/D=10$,
средно поле 1° (всички
оптични елементи са
сферични).



В тези фокуси влизат и авиационни камери като Aero-Ektar с $f/D=2.5$ или портретни обективи като Tessar с $f/D=4.5$, използващи плаки или план филми 9x12, които са интересни за търсене на комети или нови звезди.

Д. ФОКУСИ ОТ 300 ДО 1000 mm. Използват се стандартни телеобективи или обективи от авиационни камери, монтирани върху прецизна екваториална установка. Освен вече изброените обекти, подходящи са и звездни купове, някои мъглявини (Орион) и галактики (M31 в Андромеда), окултации от Луната на ярки звезди или Плеядите.

В тези фокуси влизат също и любителските камери на Шмидт и Макс-утов.

Тези камери, според замисъла и светлосилата си ($f/D=1$ до 3) са особено подходящи за фотографиране на дифузни и тъмни мъглявини. Обикновено, полето им е от 6 до 20° .

Е. ФОКУСИ ОТ 1000 ДО 2400 mm. Ще разгледаме телескопите с диаметър от 150 до 400 mm, които имат много широко поле на приложение, когато екваториалната им установка е много стабилна и прецизна. С поставянето на камера от фотоапарат без обектив в първичния фокус на телескопа биха могли да се фотографират освен изброените обекти: лунните фази и пепелявото светене на Луната, звездни окултации от Луната, общият вид на четирите главни спътника на Юпитер, спътниците на планетите, някои двойни звезди и комети, многобройни звездни купове, планетарни и дифузни мъглявини, галактики.

Обективите се дефинират според формата, за който са предназначени. Например, фокусно разстояние от 135 mm е нормален обектив за формат 9x12, но за формат 24x36 вече е телеобектив.

Тиражът на един нормален обектив е от порядъка на фокуса му. Но телеобектив, използван като далекосаглед на Галилей, има много по-къс тираж от реалния си фокус.

Г. ДОБАВЯНЕ НА УВЕЛИЧИТЕЛНА СИСТЕМА. Възможно е да се фотографира детайлно повърхността на Луната, Слънцето и планетите. Ще споменем Celestron, съчетаващ възможности и за визуално наблюдение и за фотографиране. Моделът с диаметър 200 mm има фокус 2 m, което отговаря на случая Е в нашата таблица. Но временното добавяне на оптичен редуктор на фокуса, може да сведе този фокус до 1.15 m ($f/D=5.6$), което дава възможност инструментът да се използва и за звездни фотографии (D).



РАЗДЕЛИТЕЛНА СПОСОБНОСТ НА АСТРОНОМИЧЕСКИЯ ИНСТРУМЕНТ

Това е способността на един обектив или огледало с даден *диаметър* да раздели две много близки една до друга точки, които иначе изглеждат сляти. Разделителната способност е едно ограничение, наложено от поведението на светлината, преминаваща през обектив или отразяваща се от огледало. Всъщност, светлинният сноп се „размазва“ в т.н. *петно на дифракцията*.

Разделителната способност се увеличава с диаметъра на обектива или огледалото.

Разделителната способност = $12/D$.

Тази разделителна способност е теоретична и е валидна само за идеална оптика и за много контрастни обекти.

РАЗДЕЛИТЕЛНА СПОСОБНОСТ НА ФИЛМИТЕ

Разделителната способност на един филм е възможността му да направи различими две много близки точки или паралелни линии, които иначе изглеждат сляти. Разделителната способност на филмите обикновено е между 25 микрона (1 микрон = $1/1000$ mm), т.е. 40 линии на милиметър за силно светлочувствителен филм и 2 микрона, т.е. 500 линии на милиметър за слабо светлочувствителен филм с висока разделителна способност. Все пак, това определение е много теоретично. Разделителната способност на едно 20 cm огледало е около $\lambda/10$ (λ е дължината

на вълната на жълтата светлина), което е многократно по-висока стойност в сравнение с тази на един силно светлочувствителен филм. Ъгловата разделителна способност на телескоп с $f/D=6$, която е 0.6" върху небето, би трябвало да се регистрира върху светлочувствителната повърхност върху точка от 4 микрона (линейна разделителна способност)! Но дори модерните силно светлочувствителни повърхности не могат да достигнат такъв финес - те улавят само 15 до 25 микрона, което е 40 до 60 линии на милиметър.

Все пак, съществуват плаки и филми с изключително слабо светлочувствителни емулсии, които биха могли да разделят дори 2000 линии на милиметър (0.5 микрона). Но за съжаление, това предимство може да се изяви само, ако след това изображенията се увеличат с микроскоп. Освен това, твърде удълженото време за експозиция, което би трябвало да се приложи, е несъвместимо с турбуленцията, тъй като тези

филми са изключително слабо чувствителни.

Знаем, че разделителната способност на използваните най-светлочувствителни филми е 25 микрона (40 линии на милиметър), а тази на използвания телескоп - 4 микрона.

Очевидно е, че за да регистрираме детайли с тези размери без да губим от предимството в разделителната способност на огледалото, ние би трябвало да увеличим изображението на Луната или планетата поне 6 пъти, за да се доближим до разделителната способност на филма, т.е. трябва да получим резултантен относителен отвор $f/D=36$.

И така, става въпрос да се намери компромисът, осигуряващ оптималното увеличение - не много голямо, за да не се удължава много времето за експозиция, но достатъчно, за да не се появят трудности, породени от зърнистостта на филма.

Практически съображения карат повечето астрономи да увеличават планетните изображения, особено при самото снимане, за да получат колкото е възможно по-детайлни изображения, така че след това те да се изявят с много голямо увеличение при копирането им върху хартия.

Основно, за телескопи от типа Нютон, използваните относителни резултантни отвори са между 40 и 90 (средно 65) със средно увеличение 10.

За телескопи от типа Касегрен това увеличение на изображението трябва да е между 3 и 4, тъй като техният относителен отвор обикновено е между 15 и 20. Ще отбележим, че някои астрофотографи достигат до относителни отвори 120 и повече!

Поле в градуси за формат 24x36.

фокус	диагонал	хоризонтален ъгъл	вертикален ъгъл
28 mm	74°	64°	45°
35 mm	62°	53°	37°
50 mm	46°	39°	26°
105 mm	23°20'	19°30'	13°
135 mm	18°	15°	10°
200 mm	12°20'	10°20'	6°50'
300 mm	8°10'	6°50'	4°30'
400 mm	6°10'	5°10'	3°30'
600 mm	4°10'	3°30'	2°20'
800 mm	3°	2°30'	1°40'
1200 mm	2°	1°40'	1°10'

ЧИСТО ПОЛЕ НА ТЕЛЕСКОПИТЕ. Но така важните иначе увеличения довеждат до нежелано намаляване на полезното поле на телескопа. Всъщност, това няма значение, тъй като и без това максималното използвано поле винаги е много ограничено от аберациите (кома и астигматизъм).

Таблицата (по Сидуик) дава в милиметри идеалното чисто поле на телескопичното изображение. На практика, може да се приеме, че използваното поле в същ-

Теоретично чисто поле

отношение f/D	3	5	7	9	11	13	15
поле (mm)	0.7	2.6	8	14	25	45	75

ност е по-широко (ако го нямаше изискването на теоретичната разделителна способност).

Следващата таблица (според Сидуик) дава в дъгови минути използваемото поле за различни отвори.

Използваемо чисто поле.

отношение f/D	диаметър в mm			
	150	220	300	400
3	41''	28'	21'	17'
5	63'	44'	34'	27'
7	82'	58'	44'	36'
9	110'	80'	64'	52'

Стойностите изразяват полето в дъгови минути.

същия обект, гледан с просто око. Например, с просто око Луната има видим диаметър по-малък от $1/2^\circ$. В оптичен инструмент, увеличаващ 20 пъти, видимият диаметър на Луната ще съответства на 20 поставени един до друг видими лунни диаметъра, гледани с просто око.

Във фотографията не може да се приложи терминът увеличение. Но увеличението на изображението може да бъде определено и измерено.

В практиката може да се приеме, че един 300 mm телескоп с $f/D=5$ позволява съвсем точно да се фотографира изцяло диска на Луната (диаметърът на Луната е 32 дъгови минути).

УВЕЛИЧЕНИЕ. Това е отношението, което съществува между видимия диаметър на един обект или звезда, гледан през инструмент и видимия диаметър на

Ъглово поле в градуси

фокус на обектива (в mm)	за формат на фотоапарат			
	6x9	9x12	13x18	18x24
105	55°	71°	95°	-
200	30°	41°	57°	-
300	24°	28°	40°	53°
500	13°	17°	25°	32°
750	9°.5	12°.5	17°.5	25°
1000	6°	7°.5	10°	13°

УВЕЛИЧЕНИЕ НА

ИЗОБРАЖЕНИЕТО. Астрономическо или фотографско огледало, или обектив създават върху фокалната равнина (в първичния фокус) изображение на планетните, чийто диаметър зависи от фокуса (диаметърът на изображението на Луната и

лънцето е около 1 cm за 1 m фокус). Ако се добави проектор (леца на Барлоу или окуляр), получава се по-голямо или по-малко увеличение на първичното изображение (според фокуса на проекционната система), но равно на тиража (разстоянието между проектора и равнината на филма).

Например: диа- **Разделителна способност за различни диаметри**

метърът на диска на Юпитер е средно 0.3 mm за 1200 mm фокус. Използването на 10-кратно увеличение на фокуса означава, че използваните проектор форми изображения от $0.3 \times 10 = 3$ mm във фокалната равнина на системата, т.е. работи се с резултатен фокус от 12000 mm.

диаметър на обектива или на огледалото (в mm)	на 1 km (в mm)	на 384000km (разстоянието до Луната) (в m)	(в дъгови секунди)
60	8	3900	2
100	6	2500	1.2
210	3	1200	0.6
310	2	800	0.4
410	1.5	600	0.3
510	1.2	500	0.2

„ПРОЕКТОР“. Това е оптична система, която се добавя към астрономическия инструмент в близост до фокалната равнина, за да се увеличи първичното фокално изображение. В следващите страници са описани различни проектори - те могат да бъдат окуляр, леща на Барлоу, окуляр заедно с обектив на фотоапарат, обектив на камера или фотоапарат.

УВЕЛИЧИТЕЛНИ („ПРОЕКЦИОННИ“) СИСТЕМИ, ИЗПОЛЗВАНИ В АСТРОФОТОГРАФИЯТА

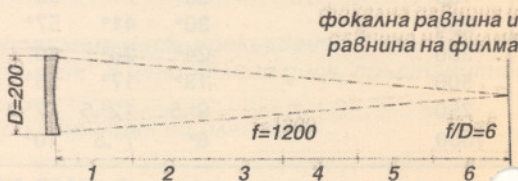
И така, фотографирането на някои светили като Луната и планетите, изисква увеличение на фокалното изображение, съответстващо на филма. Всъщност, диаметърът на това изображение, получено в началния (първичния) фокус на далекоглед или телескоп, е много малък. За щастие, повечето оптични комбинации помагат на любителя да увеличава полезния фокус на инструмента, без да се променят характеристиките на първичната оптика. По този начин се увеличава диаметърът на изображенията за фотографиране. В зависимост от използваната допълнителна оптика, операторът трябва да избере подходящо *увеличение на изображение*, свързано с удължаването на фокуса (*резултатния фокус*). Но това намалява *относителния отвор*, а оттам - удължава времето за експозиция, което трябва да е максимално, за да не се проявят ефектите на турбуленцията.

Следващите оптични комбинации са дадени схематично за телескоп, но могат лесно да се приложат и за далекоглед.

ИЗПОЛЗВАНЕ НА ПЪРВИЧНИЯ ФОКУС НА ТЕЛЕСКОП (ИЛИ ДАЛЕКОГЛЕД). Това е изходната точка на всички варианти за увеличаване на изображението.

ПРИМЕР: $f=1200$ mm, $D=200$ mm.

УВЕЛИЧЕНИЕ. Първичното изображение е в основата на изчисленията за увеличения, получени от вторичните оптични системи, описани по-нататък.



Използване на първичния фокус на телескопа.

В първичния фокус препоръчителното увеличение е около 1.

ПОЛЕЗЕН ОТВОР. Дава се с формулата $f/f_0 = f/D$,

т.е. за нашия случай $f/f_0 = 1200/200 = 6$,

като се казва, че телескопът има относителен отвор (светлосила) $f/D = 6$.

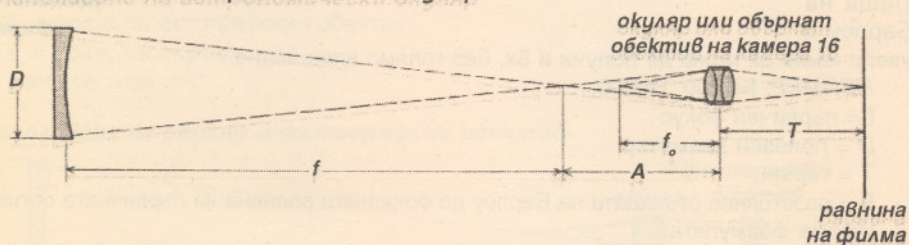
РЕЗУЛТАНТЕН ФОКУС. Равен е на първичния фокус на огледалото, като за нашия случай е 1200 mm.

ИЗПОЛЗВАНЕ НА АСТРОНОМИЧЕСКИ ОКУЛЯР

ПРИМЕР: $f = 1200$ mm, $D = 200$ mm, окуляр с 12 mm фокус

f_0 = първичен фокус

Използване на астрономически окуляр



D = диаметър на първичната оптика

T = тираж (разстояние от окуляра до равнината на филма за приетото увеличение)

A = разстояние от окуляра до фокалната равнина

f_0 = фокус на окуляра

G = увеличение

Знае се, че:

$$1/f_0 = 1/A + 1/T$$

и ако в първо приближение окулярът може да се приеме за тънка леща, тогава:

$$1/A = 1/f_0 - 1/T$$

Умножавайки по T :

$$T/A = T/f_0 - 1$$

но по дефиниция $T/A = G$ (увеличението),

откъдето $G = T/f_0 - 1$

$$\text{и } T = f_0(G + 1)$$

Системата Телескоп + окуляр има резултантно отношение f/D :

$$(f/D)_{\text{резулт.}} = (f/D)_{\text{първ. огледало}} \times (T/A)$$

УВЕЛИЧЕНИЕ. Ако искате да получите увеличение 10 пъти, тогава $T = 12 \times (10 + 1) = 12 \times 11$ или около 130 mm. За увеличение от 10 пъти, равнината на филма би трябвало да се постави на 130 mm от окуляра.

РЕЗУЛТАНТЕН ФОКУС. Искате да получите фокус от 15000 mm. Тогава увеличението ще бъде отношението на фокусите, т.е. $15000/1200 = 12.5$,

$$\text{или } T = 12 \times (12.5 + 1) = 162 \text{ mm.}$$

За резултантен фокус 15000 mm трябва да поставим филма на 162 mm от окуляра.

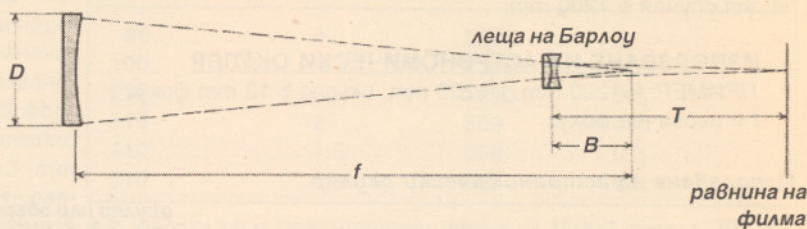
ПОЛЕЗЕН ОТВОР. Равен е на отношението на резултантния фокус към диаметъра на оптиката, като $f/\text{рез.} = 15000/200$, което е 75. Същият резултат бихме получили и с формулата: $(f/D)_{\text{рез.}} = (f/D)_{\text{първ.}} \times G$, или $6 \times 12.5 = 75$.

ИЗПОЛЗВАНЕ НА ЛЕЩА НА БАРЛОУ. Ще припомним, че тя е съставена от

две лещи, образуващи ахроматична дивергентна система, чиято роля е да увеличава първичното изображение на телескоп или далекоглед. По принцип, лещите на Барлоу се изчисляват за определено увеличение - 2х или 3х.

Леща на Барлоу с

увеличение 3х може да получи и 5х, без голямо влошаване.

Използване на леща на Барлоу

ПРИМЕР: $f=1200$, $D=200$,

f = първичен фокус

D = полезен диаметър

T = тираж

B = разстояние от лещата на Барлоу до фокалната равнина на първичната оптика

Имаме формулата:

$$f_{\text{рез}} = (f \times T) / (D \times B)$$

Знае се, че:

$$(f/D)_{\text{рез.}} = (f/D)_{\text{първ.}} \times G$$

(G = увеличение, получено от лещата на Барлоу) като:

$$(f/D) \times G = (f/D) \times (T/B),$$

$$\text{като: } G = T/B$$

Всъщност, разстоянието B е трудно за измерване. Затова, ако се знае фокусно-то разстояние на лещата на Барлоу, използва се формулата, която следва от приложената в предишния случай (окуляр):

$$G = (T/f_0) - 1, (f_0 = \text{фокус на лещата на Барлоу}).$$

УВЕЛИЧЕНИЕ. Ако искате увеличение от 4 пъти (безсмислено е да се опитвате да прилагате увеличение над 5 пъти с леща на Барлоу, изчислена за 3 пъти), то $4 = T/B$. Получава се таблицата:

$$T = 40 \quad 44 \quad 48 \quad 52 \quad 56 \quad 60 \quad 64 \quad 68 \quad \dots$$

$$B = 10 \quad 11 \quad 12 \quad 13 \quad 14 \quad 15 \quad 16 \quad 17 \quad \dots$$

където стойностите на B са дадени в mm в зависимост от T за увеличение от 4 пъти.

Ако знаете фокуса на лещата на Барлоу (случая на Барлоу-Клаве: 2х и 3х), ще получите следващата таблица. В този случай, когато T е определено, остава да се извърши фокусирането, като се променя B с помощта на зъбчатото колело на окулярния носач.

РЕЗУЛТАНТЕН ФОКУС. За фокус от 4000 mm, например, ще имате едно увеличение от 4000/1200, което е около 3.5 пъти. Така се връщаме към предната ситуация - вижда се, че отношението T/B ще даде следната таблица:

$$35 \quad 38.5 \quad 42 \quad 45.5 \quad 49 \quad \dots$$

$$10 \quad 11 \quad 12 \quad 13 \quad 14 \quad \dots$$

В случая, когато се знае фокуса на Барлоу, увеличението се определя от таблицата (в нашия случай увеличението е 3.5 пъти, а T е около 170 mm).

ПОЛЕЗЕН ОТВОР. Използва се формулата $f/\text{полезно} = f/\text{първ.} \times G$, като за едно увеличение от 3.5 ще имаме $f = 6 \times 3.5$, което е 21.

ИЗПОЛЗВАНЕ НА ОКУЛЯР И ФОТОГРАФСКИ ОБЕКТИВ. В този монтаж, фотографският обектив е поставен на безкрайност, тъй като получава паралелни лъчи от окуляра - инструментът се фокусира както при директно наблюдение, т.е. в афокална система.

ПРИМЕР: $f=1200 \text{ mm}$, $D=200 \text{ mm}$, $f_a=50 \text{ mm}$, да се определи f_o .

Използваната формула ще е:

$$f/D_{\text{рез.}} = (f \times f_a) / (D \times f_o)$$

f = първичен фокус

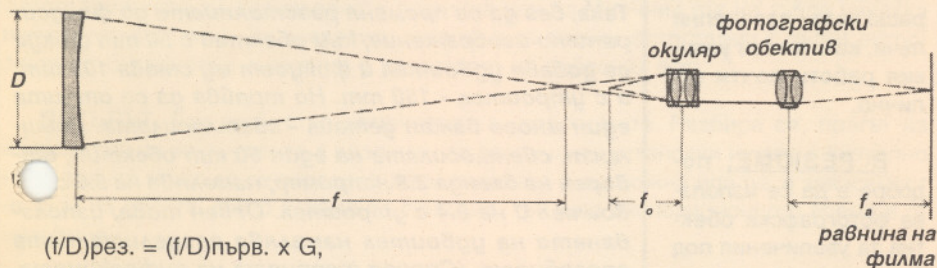
D = полезен диаметър

f_a = фокус на фотографския обектив

f_o = фокус на окуляра

Вече се знае, че:

Използване на окуляр и фотографски обектив



$$(f/D)_{\text{рез.}} = (f/D)_{\text{първ.}} \times G,$$

като

$$(f/D) \times G = (f/D) \times (f_a/f_o),$$

което при упростиране дава

$$G = f_a/f_o.$$

УВЕЛИЧЕНИЕ. Ако искате да получите увеличение 8 пъти:

$$G = f_a/f_o, \text{ т.е. } 8 = 50/f_o,$$

което дава $f_o = 50/8 = 6.25$.

В случая на нашия пример ще трябва да се използва 6 mm окуляр.

РЕЗУЛ-

ТАНТЕН ФО-

КУС. Ако искате да получите фокус от 20000 mm, то

$$G = 20000/1200 = 16.6$$

$$G = f_a/f_o, \text{ т.е. } 16.6 = 50/16.6 = 3.01.$$

Всъщност, ще ви трябва 3 mm окуляр, което е практически неприложимо. За предпочитане е в този случай да използвате телеобектив. Ако повторим изчисленията за един 135 mm обектив, например, ще имаме:

$$f_o = 135/16.6 \text{ което е } 8.13.$$

Всъщност, в тези условия ще трябва да използвате 8 mm окуляр.

$T = f_o (G-1)$	увеличение =	2	3	4	5
T (Барлоу x2, $f_b=113\text{mm}$)		113	226	339	452
T (Барлоу x3, $f_b=225\text{mm}$)		225	450	675	(900)

ПОЛЕЗЕН ОТВОР. $f/\text{рез.} = f/\text{първ.хG}$, като в случай на увеличение от 8 пъти ще имате $f/\text{рез.} = 6 \times 8 = 48$.

ЗАБЕЛЕЖКА. В случай на монтаж, изпълнен с окуляр и фотографски обектив, разстоянието между окуляра и обектива не се променя, поради което то трябва да е максимално намалено.

ПРАКТИЧЕСКИ РЕАЛНОСТИ. Ще разгледаме случаите на увеличение под и над 6 пъти.

Случай на увеличение по-малко от 6 пъти. С фотографски обектив, окулярът работи добре, но трябва да е с къс фокус, чието качество често е средно. За предпочитане е да използвате телеобектив.

Случай на увеличение по-голямо от 6 пъти. Без фотографски обектив, за относително големи тиражи, окулярът изпраща квази паралелни лъчи, като в тези условия работи почти отлично.

В РЕЗЮМЕ, по-добре е да се използва фотографски обектив за увеличения под 6 пъти и само окуляр за по-големи увеличения, или обърнат 16 mm кинообектив.

Тази граница от 6 пъти е приблизителна и е валидна за ортоскопични окуляри и окуляри от типа Плъзл. (Окулярите от типа Хюйгенс не са препоръчителни в астрофотографията.)

Във всеки случай, за дадено увеличение винаги е за предпочитане да се използва възможно по-голям тираж с окуляр със среден фокус (от 8 до 12 mm).

УДВОИТЕЛИ И УТРОИТЕЛИ НА ФОКУСА. Тези оптични допълнения, предназначени да бъдат приклучени към класически фотографски обективи, играят същата роля, както и лещата на Барлоу. Така, без да се променя разстоянието до фокусираното изображение, към обектив с 50 mm фокус се добавя удвоител и фокусът му става 100 mm, а с утроител - 150 mm. Но трябва да се отчита един много важен детайл - светлосилата. Всъщност, светлосилата на един 50 mm обектив, отворен на бленда 2.8 например, намалява на 5.6 с воител и на 8.4 с утроител. Освен това, използването на удвоител намалява разделителната способност. (Според теорията на дифракцията, разделителната способност директно е пропорционална на относителния отвор. Но дори, ако обективът и удвоителят са идеално съгласувани, разделителната способност на системата намалява до 50% от началната!... Тук става въпрос за едно наистина съществено съгласуване, за което никога не се говори в книгите по обща фотография!) Удвоителите и утроителите са интересни за астрофотографията, тъй като крайният оптичен тираж е много по-къс, отколкото с лещата на Барлоу. (Удвоителите и утроителите са оправдани единствено в астрофотографията, където ъгловата разделителна способност е съществена.)

Все пак, в някои случаи (и ако имате финансова възможност), за предпочитане е да разполагате с телеобектив, чийто максимален отвор е например 4, вместо с утроител, който ще ви заглава да експонирате 8 пъти по-дълго време, поради загуба на светлосила.