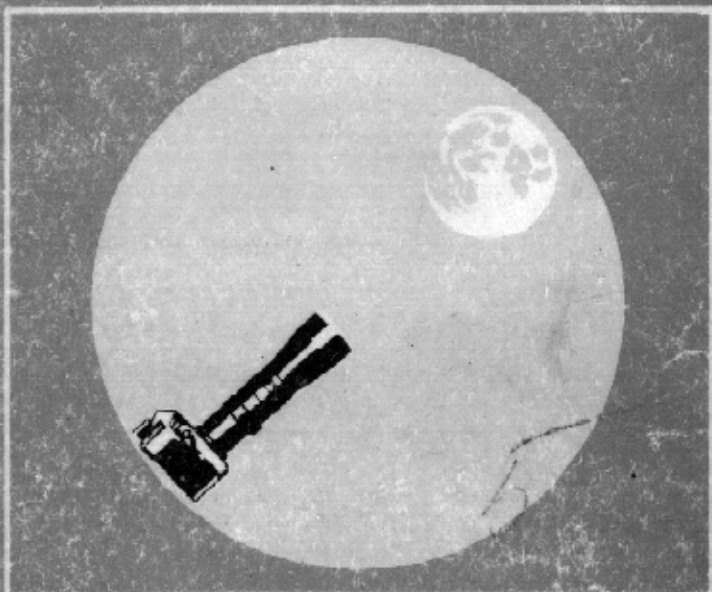


22.6
с 35

БИБЛИОТЕКА ЛЮБИТЕЛЯ АСТРОНОМИИ



Л.А. СИКОРУК
М.Р. ШПОЛЬСКИЙ

ЛЮБИТЕЛЬСКАЯ АСТРОФОТОГРАФИЯ

66
БИБЛИОТЕКА ЛЮБИТЕЛЯ АСТРОНОМИИ

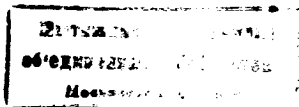


Л.Л. СИКОРУК
М.Р. ШПОЛЬСКИЙ

ЛЮБИТЕЛЬСКАЯ АСТРОФОТОГРАФИЯ



МОСКВА «НАУКА»
ГЛАВНАЯ РЕДАКЦИЯ
ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ
1986



ББК 22.6+37.93

С 35

УДК 520 (023)

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Председатель Г. С. ХРОМОВ

Рецензенты:

А. С. Фомин,

кандидат физико-математических наук В. Л. Хохлова

Сикорук Л. Л., Шпольский М. Р.

С 35 Любительская астрофотография. — М.: Наука.
Гл. ред. физ.-мат. лит., 1986. — 208 с. с ил. —
Библиотека любителя астрономии.

Описываются любительские методы фотографирования небесных тел. Рассматриваются способы съемки звездного неба фотоаппаратами и астрографами любительской постройки, съемка солнечных и лунных затмений. Описываются свойства современных фотографических материалов и методы их обработки.

Для астрономов-любителей, участников школьных астрономических кружков, знакомых с основами фотографии, преподавателей.

С 1705000000—159
053 (02)-86 139-86

ББК 22.0

Леонид Леонидович Сикорук, Михаил Рафаилович Шпольский

ЛЮБИТЕЛЬСКАЯ АСТРОФОТОГРАФИЯ

Редактор Г. С. Куликов. Художественный редактор Г. М. Коровина

Технический редактор И. Ш. Аксельрод

Корректоры О. А. Бутусова, Т. С. Вайсберг

ИБ № 12761

Сдано в набор 16.05.86. Подписано к печати 11.09.86. Т-15545. Формат 84×108^{1/32}. Бумага тип. № 2. Литературная гарнитура. Высокая печать. Усл. печ. л. 10.92. Усл. кр.-отт. 11,34. Уч.-изд. л. 10,33. Тираж 90 000 экз. Заказ № 2542. Цена 30 коп.

Ордена Трудового Красного Знамени издательство «Наука»
Главная редакция физико-математической литературы
117071 Москва В-71, Ленинский проспект, 15

Ордена Октябрьской Революции и ордена Трудового Красного Знамени МПО «Первая Образцовая типография» имени А. А. Жданова Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. 113054 Москва, Валовая, 28

Отпечатано в типографии № 2 из-ва «Наука»
121099 Москва Г-99, Шубинский пер., 6. Зак. 3055

© Издательство «Наука»
Главная редакция
физико-математической
литературы, 1986

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	5
-----------------------	---

ГЛАВА ПЕРВАЯ

НЕКОТОРЫЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ОПТИКЕ АСТРОГРАФА

§ 1.1. Свет, линзы и зеркала	7
§ 1.2. Построение изображений линзами. Масштаб изображения	9
§ 1.3. Толстые линзы и системы линз	13
§ 1.4. Действующее отверстие, относительное отверстие, светосила	15
§ 1.5. Идеальный объектив	17
§ 1.6. Аберрации реальных объективов	19
§ 1.7. Разрешающая сила фотографического объектива	28
§ 1.8. Обращение с объективом	28
§ 1.9. Фотографические объективы для астрономической фотографии	30

ГЛАВА ВТОРАЯ

ФОТОГРАФИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

§ 2.1. Галогенидосеребряные фотоматериалы	35
§ 2.2. Скрытое изображение	36
§ 2.3. Характеристическая кривая	40
§ 2.4. Структура проявленного изображения	44
§ 2.5. Невзаимозаменяемость	47
§ 2.6. Фотографические материалы и их свойства	51
§ 2.7. Хранение фотоматериалов и негативов	61

ГЛАВА ТРЕТЬЯ

ЛАБОРАТОРНАЯ ОБРАБОТКА ФОТОМАТЕРИАЛОВ

§ 3.1. Химико-фотографическая обработка	64
§ 3.2. Основные компоненты проявителей и их назначение	65
§ 3.3. Фиксирование проявленного изображения	74
§ 3.4. Пограничные эффекты проявления	75
§ 3.5. Методы усиления плотности проявленного изображения	76
§ 3.6. Ослабление проявленного изображения	81

ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ

ФОТОГРАФИЧЕСКИЕ ИНСТРУМЕНТЫ И ПРИСПОСОБЛЕНИЯ

§ 4.1. Фотографические телескопы	83
§ 4.2. Преобразователи фокусного расстояния	85
§ 4.3. Аэрофотообъективы для астрофотографии и астрографы	89
§ 4.4. Сверхширокоугольные камеры	92
§ 4.5. Затворы	94
§ 4.6. Фокусировочные механизмы	96
§ 4.7. Контроль фокуса	98
§ 4.8. Гид	101
§ 4.9. Сетки и перекрестия	106
§ 4.10. Что значит «попасть в экспозицию»?	107

ГЛАВА ПЯТАЯ

ФОТОГРАФИРОВАНИЕ СТАНДАРТНЫМ ФОТОАППАРАТОМ

§ 5.1. Первые шаги	114
§ 5.2. Фотографирование искусственных спутников Земли	117
§ 5.3. Фотографирование метеоров	117
§ 5.4. Подвижный мир неба	121
§ 5.5. Съемка серебристых облаков и полярных сияний	123
§ 5.6. Простые монтировки	126
§ 5.7. Экваториальные монтировки	127
§ 5.8. Экваториальный телескоп в качестве гида	129
§ 5.9. Сменные объективы	130
§ 5.10. Как применить бинокль?	134
§ 5.11. Установка полярной оси	136
§ 5.12. Лунные затмения	139
§ 5.13. Как снимать солнечные затмения	145
§ 5.14. Фотографирование комет и астероидов	152
§ 5.15. Фотографирование переменных и новых звезд	156
§ 5.16. Предельные звездные величины	157

ГЛАВА ШЕСТАЯ

СПЕЦИФИКА СЪЕМКИ РАЗЛИЧНЫХ АСТРОНОМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

§ 6.1. На дне воздушного океана	162
§ 6.2. Ночное небо	166
§ 6.3. Особенности съемки Луны и планет	168
§ 6.4. Съемка некоторых туманностей, скоплений и галактик	177
§ 6.5. Солнечные телескопы	194
§ 6.6. Как ослабить солнечный свет	201
§ 6.7. Фотографирование фотосферы	202
Приложение. Номограмма для решения экспонетрических задач	205
Список литературы	207

ПРЕДИСЛОВИЕ

Большой вклад фотографии в развитие профессиональной астрономии, заключающийся в создании новых видов высокоинформативных фотоматериалов, в том числе с малыми отклонениями от закона взаимозаменяемости, заметные успехи в области любительского телескопостроения — все это создает благоприятные условия для дальнейшего развития любительской астрофотографии в нашей стране.

К сожалению, большинство руководств по любительской астрофотографии в значительной степени устарело. Последняя книга для любителей астрономии «Фотографирование небесных тел» Ж. Вокулёра и Ж. Тексеро была издана двадцать лет назад и стала библиографической редкостью.

В литературе для любителей-астрономов не описаны методы повышения чувствительности — гиперсенситбилизация и латенсификация, способы усиления или ослабления проявленных фотоматериалов и т. д. Отсутствуют характеристики современных видов объективов. Мало внимания уделяется съемкам целых классов объектов, слишком бегло описываются причины резкого снижения качества фотографий за счет атмосферных эффектов и качества оптики и т. д.

Предлагаемая читателю книга «Любительская астрофотография» предназначена для того, чтобы в значительной степени преодолеть указанные недостатки. Любителю астрономии приходится строить различные приспособления и даже телескопы. Поэтому в главе первой приведены сведения из элементарной оптики и рассмотрены некоторые аберрации объективов. Все это может потребоваться на практике. Главы вторая и третья посвящены описанию процесса образования скрытого изображения в галоген-серебряных фотографических материалах, их свойствам, способам химико-фотографической обработки. В главах

четвертой — шестой рассмотрены типы фотографических инструментов. При этом механические конструкции описаны бегло, так как читатель может ознакомиться с ними по рекомендуемой литературе [1, 7, 16, 24—38]. Рассказывается также о способах фотографирования различных астрономических объектов, приведены экспонетрические расчеты и другие сведения, необходимые для получения высококачественных изображений.

Главы первая, четвертая, пятая и шестая написаны Л. Л. Сикоруком, вторая и третья — М. Р. Шпольским.

При работе над книгой авторы исходили из того, что читатель располагает определенными познаниями в астрономии и занимался в большей или меньшей степени фотографией. Для расширения кругозора или уточнения некоторых положений он может обратиться к ряду других книг, список которых приведен в конце книги. Ссылки на некоторые из этих книг даны в тексте в квадратных скобках.

Авторы выражают искреннюю благодарность Г. С. Хромову, инициатору написания этой книги, и рецензентам В. Л. Хохловой и А. С. Фомину за ряд полезных замечаний и предложений, сделанных при прочтении рукописи книги.

НЕКОТОРЫЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ОПТИКЕ АСТРОГРАФА

§ 1.1. СВЕТ, ЛИНЗЫ И ЗЕРКАЛА

Светящаяся точка, например волосок лампочки на далеком столбе, во всех направлениях изучает *световые волны*, и если им ничто не мешает, то эти волны будут сферическими, так как скорость света во всех направлениях одинакова. Световые волны образуют *волновой фронт*. Линии, вдоль

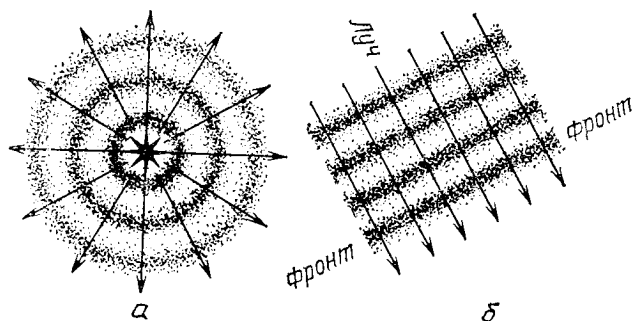


Рис. 1. Излучение светящейся точки (а) и волновой фронт (б)

которых распространяется свет, перпендикулярные световому фронту, называются *световыми лучами*. Это геометрическое понятие лучей. Именно оно применяется в данной книге. Если источник света расположен очень далеко, то волновой фронт становится практически плоским, а лучи практически параллельными (рис. 1).

Скорость распространения света в различных оптических средах различна. Максимальна она в вакууме, чуть меньше в воздухе и заметно меньше в стекле. Отношение скорости света в вакууме к его скорости в любой другой оптической среде называется *показателем преломления* данной среды $n_{\text{ср}} = c/v_{\text{ср}}$.

К числу простейших оптических устройств относятся линзы и зеркала. Линза — это стеклянный диск, ограничен-

ный двумя сферическими поверхностями (одна из них может быть и плоской), зеркала же могут быть сферическими и асферическими. Каждая поверхность линзы имеет *радиус кривизны* и *центр кривизны*. Оптические системы, центры кривизны компонент которых лежат на одной прямой, называются *центрированными*; на практике почти все фотообъективы и объективы и зеркала телескопов — центрированные системы, хотя встречаются и исключения. Прямая, на которой лежат центры кривизны системы, называется *оптической осью*. Если линза превращает параллельный пучок света в сходящийся, она называется *положительной*, или *собирающей*. Линза, дающая расходящийся пучок света, называется *отрицательной*, или *рассеивающей*.

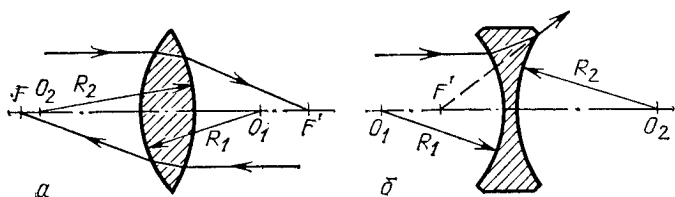


Рис. 2. Некоторые параметры линз

Положительная линза собирает пучок лучей, параллельных оптической оси, в точку, лежащую на оси. Эта точка называется *фокусом*. Пучки параллельных лучей, идущих под некоторым углом к оптической оси, фокусируются на поверхности, называемой *фокальной поверхностью*. В первом приближении ее можно считать плоскостью, перпендикулярной оптической оси.

Каждая линза имеет два фокуса (F и F' на рис. 2, а). Один для пучка лучей, падающего на линзу слева, второй — для пучка, идущего в обратном направлении. В первом случае фокус называется задним, во втором передним. Расстояние между линзой и фокусом называется *фокусным расстоянием* линзы f , которое измеряется от главных плоскостей (см. § 1.3). Если линза помещена в оптически однородную среду (например, воздух), то оба фокусных расстояния равны.

Отрицательная линза рассеивает лучи, но если расходящиеся после преломления лучи продолжить в обратную сторону, они пересекутся в точке, которая называется *фокусом отрицательной линзы* (рис. 2, б). Величина фокусного расстояния такой линзы подставляется в формулы со знаком «минус». На рис. 2 O_1 , O_2 и R_1 , R_2 — соответственно

центры и радиусы кривизны поверхностей линз. Вогнутые зеркала являются собирающими (положительными), их оба фокуса совпадают, а фокусное расстояние f равно половине радиуса кривизны ($R/2$). Выпуклые зеркала являются отрицательными и рассеивают лучи света, уменьшая их сходящность (рис. 3).

Величина, обратная фокусному расстоянию, называется *оптической силой* линзы или зеркала,

$$\varphi = \frac{1}{f \text{ (м)}} = \frac{100}{f \text{ (см)}}.$$

Оптическая сила измеряется в диоптриях. Например, оптическая сила линзы с фокусным расстоянием 50 см

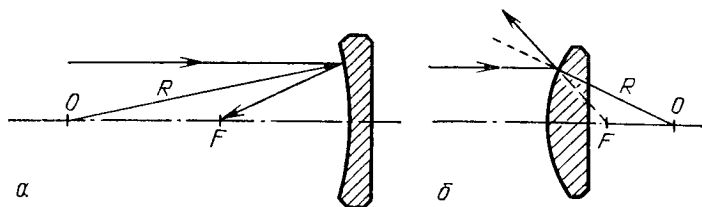


Рис. 3. Параметры зеркал

составляет $+2$ диоптрии. Отрицательная линза в -4 диоптрии имеет фокусное расстояние -25 см.

§ 1.2. ПОСТРОЕНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ ЛИНЗАМИ. МАСШТАБ ИЗОБРАЖЕНИЯ

С точки зрения оптика каждый предмет представляет собой большое количество точек, яркость и цвет которых различны. Свет от этих точек распространяется во всех направлениях и если достигает положительной линзы или зеркала, то последние в своей фокальной плоскости строят изображения этих точек строго в том же порядке, того же цвета и с тем же отношением яркостей. Это значит, что на экране, помещенном в фокальной плоскости, получится плоское изображение предмета, подобное самому предмету.

Прежде чем познакомиться с методом построения хода лучей через линзу при построении изображения, запомним два правила: а) Если луч идет параллельно оптической оси, он обязательно пройдет через точку фокуса, и наоборот, если луч прошел через точку фокуса, после преломления

на линзе он пойдет параллельно оптической оси. б) Если луч, не параллельный оптической оси, пересекает линзу в ее центре, он проходит не преломляясь под тем же углом к оптической оси.

Теперь рассмотрим несколько типичных случаев построения изображения предметов, лежащих на различных расстояниях от линзы. Для этого нет смысла строить изображения всех точек предмета, достаточно выбрать одну-две характерные точки. На рис. 4 это кончики вертикальной стрелки.

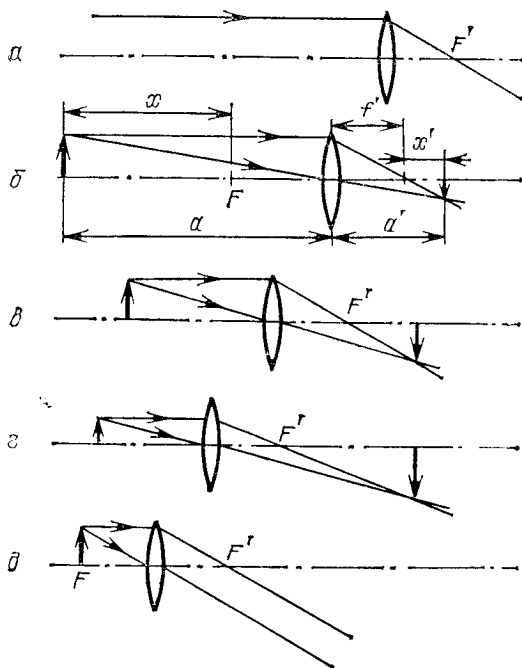


Рис. 4. Построение изображения линзой

1. Луч идет из бесконечности. После преломления он проходит через фокус. Изображение бесконечно удаленного предмета находится в фокусе. Это случай построения изображения телескопом (рис. 4, а).

2. Предмет расположен на конечном расстоянии, но дальше удвоенного фокусного расстояния. Один из лучей (параллельный оси) пройдет после преломления через точку фокуса. Второй луч (падающий на центр линзы) пройдет

через линзу без преломления. Оба луча пересекутся на расстоянии несколько большем, чем фокусное расстояние. Значит, изображение расположится дальше фокуса. Это случай обычной, «земной» фотосъемки (рис. 4, б).

3. Предмет расположен на удвоенном фокусном расстоянии от линзы. После аналогичных построений мы обнаружим, что его изображение расположено также на удвоенном фокусном расстоянии. Линейные размеры изображения в точности равны линейным размерам самого предмета. Это случай съемки в масштабе 1:1 (рис. 4, в).

4. Предмет расположен на расстоянии больше фокусного, но меньше удвоенного фокусного расстояния. Его изображение расположено дальше удвоенного фокусного расстояния, а линейные размеры больше линейных размеров предмета. Так работают объективы микроскопа, окулярной камеры, проектора (рис. 4, г).

5. Предмет расположен в переднем фокусе линзы. Его изображение будет в бесконечности, так как все лучи выходят из линзы параллельными. Это случай прожектора (рис. 4, д).

Зависимость между фокусным расстоянием и расстояниями от предмета до линзы и от линзы до изображения выражается формулой Гаусса. Если пренебречь правилами знаков, которые в решении простых задач необязательны, то формула выглядит так:

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{a'} = \frac{1}{f'}, \quad (1)$$

где a — расстояние от предмета до линзы (или зеркала), a' — расстояние от линзы (или зеркала) до изображения, f' — фокусное расстояние линзы (рис. 4, б). Например, если фокусное расстояние объектива 100 мм, расстояние до предмета 4000 мм (4 м), то расстояние от объектива до изображения равно 102,56 мм. На практике это означает, что при перефокусировке от бесконечности на расстояние 4 м мы должны выдвинуть объектив на 2,56 мм.

Эту же задачу можно решить с помощью формулы Ньютона

$$xx' = (f')^2, \quad (2)$$

где x — расстояние от предмета до точки переднего фокуса, x' — расстояние от точки заднего фокуса до изображения предмета (рис. 4, б). Здесь также взяты абсолютные величины отрезков без учета знаков направления. При фокусировании того же 100-миллиметрового объектива на

расстояние 4 м получим перефокусировку на $3900 \text{ } x' = 100 \cdot 100$ или $x' = 10\,000/3900 = 2,56 \text{ мм}$, т. е. то же значение. Зная фокусное расстояние линзы, объектива или зеркала, мы можем определить линейные размеры изображения предмета по его видимым угловым размерам:

$$d = f' \operatorname{tg} \omega,$$

где ω — угол, под которым объект виден наблюдателю, f' — фокусное расстояние объектива. Например, угловой поперечник Луны равен $0,5^\circ$. Объектив с фокусным расстоянием 1000 мм изобразит ее диаметром $d = 1000 \cdot 0,009 = 9 \text{ мм}$. Если нам не нужна высокая точность, то можно считать, что каждому градусу при фокусном расстоянии 1 м соответствует 18 мм. При фокусном расстоянии 2000 мм тот же предмет будет изображен поперечником 36 мм. При метровом фокусном расстоянии объект поперечником 3° дает изображение размером 54 мм и т. д. В табл. 1 даны линейные

Таблица 1

Масштаб изображения

$f, \text{ мм}$	1 градус, мм	1 мм, мин дуги	Изображение Солнца и Луны, мм	$f, \text{ мм}$	1 градус, мм	1 мм, мин дуги	Изображение Солнца и Луны, мм
28	0,49	123	0,25	200	3,49	17,2	1,80
36	0,63	95,5	0,32	300	5,24	11,5	2,71
52	0,91	66,1	0,47	500	8,73	6,88	4,51
100	1,75	34,4	0,90	1000	17,45	3,44	9,02
135	2,36	25,5	1,22	2000	34,90	1,72	18,03

размеры изображений, соответствующие дуге в 1° на небесной сфере, дуги, соответствующие одному миллиметру на пластинке, и размеры Солнца и Луны при различных фокусных расстояниях объектива телескопа.

Аналогично определяем и поле зрения астрографа, если оно небольшое. Но в тех случаях, когда угол зрения астрографа велик, нужно знать тангенс половины угла зрения. Например, объектив с фокусным расстоянием 300 мм на формате кадра $90 \times 120 \text{ мм}$ покроем поле с углом ω . Так как $\operatorname{tg} \frac{\omega}{2} = 60/300 = 0,2$, то $\frac{\omega}{2} = 11,3^\circ$, а полный угол поля зрения будет $\omega = 22,6^\circ$ (длина кадра). Подобным образом определим и угловые размеры второй стороны кадра — его ширину. Она равна $17,1^\circ$. Однако надо помнить, что реальные объек-

тивы могут «покрыть» не беспрельдно большое поле зрения. Их угловое поле зрения ограничивается аберрациями и виньетированием, о чем будет сказано ниже. Сейчас надо иметь в виду, что для полного «покрытия» объективом формата кадра нужно, чтобы угловое поле объектива было не меньше диагонали кадра в угловой мере.

§ 1.3. ТОЛСТЫЕ ЛИНЗЫ И СИСТЕМЫ ЛИНЗ

До сих пор мы не принимали во внимание толщину линз. При повышенной точности вычислений ею пренебрегать нельзя. Рассмотрим преломление на поверхностях толстой линзы *) (рис. 5). После двукратного преломления на

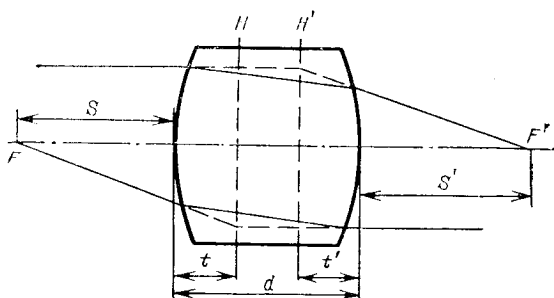


Рис. 5. Параметры толстой линзы

поверхностях луч оказывается в точке F' . Если упавший луч и луч, вышедший из линзы, продолжить до их взаимного пересечения и через эту точку провести плоскость перпендикулярно оптической оси, то эта плоскость при построении хода лучей как бы заменит собой всю линзу. Эта плоскость называется *главной плоскостью* линзы.

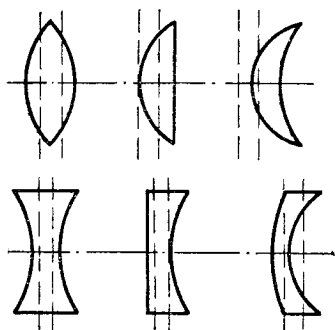
Каждая линза имеет две главные плоскости: заднюю H' — для хода лучей слева направо и переднюю H — для обратного хода лучей. Фокусное расстояние толстой линзы измеряется при прямом ходе лучей от задней главной плоскости до заднего фокуса, при обратном — от передней главной плоскости до переднего фокуса.

В воздухе оба фокусных расстояния линзы всегда равны друг другу, а вот расстояния от фокусов до ближайших поверхностей линзы чаще всего не равны. Эти расстояния

*) Деление линз на «тонкие» и «толстые» условно. Когда требуется повышенная точность расчета, всегда учитывается толщина линзы, и она «становится» толстой.

называются *вершинными фокальными расстояниями* линзы S и S' .

Главные плоскости смещаются в сторону поверхностей большей кривизны. У симметричных двояковыпуклых или двояковогнутых линз главные плоскости расположены симметрично и расстояние между ними составляет примерно $1/3$ толщины линзы.



У плосковыпуклых и плосковогнутых линз одна из плоскостей лежит на вершине сферической поверхности, а положение второй определяется простой формулой

$$t = \frac{d}{n},$$

Рис. 6. Расположение главных плоскостей в линзах

где t — расстояние от вершины сферической поверхности до главной плоскости, d —

толщина линзы, n — показатель преломления стекла, из которого сделана линза (рис. 5 и 6).

Главные плоскости выпуклых и вогнутых зеркал совпадают с вершиной зеркала.

Для определения фокусного расстояния системы из двух линз (или зеркал) служит формула

$$f'_{\text{сист}} = \frac{f'_1 f'_2}{f'_1 + f'_2 - d}, \quad (3)$$

где f'_1 и f'_2 — фокусные расстояния первой и второй линз, d — расстояние между задней главной плоскостью первой линзы и передней главной плоскостью второй линзы (рис. 7, а). Оптическая сила системы равна

$$\Phi'_{\text{сист}} = \Phi'_1 + \Phi'_2 - \Phi'_1 \Phi'_2 d. \quad (4)$$

Как определить фокусное расстояние объектива, если на его оправе нет никаких указаний? Воспользуемся тем, что масштаб изображения большинства объективов обратно пропорционален расстоянию до объекта. Установив объектив напротив окна днем, добьемся резкого изображения окна на противоположной стене, лучше на миллиметровке. Очевидно, что

$$\frac{B}{b} = \frac{a}{a'},$$

где B — ширина окна, b — ширина изображения окна, a — расстояние от окна до объектива, a' — расстояние от задней главной плоскости до изображения. Если расстояние

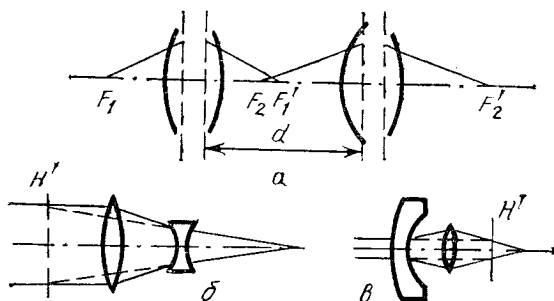


Рис. 7. Система из двух линз: определение фокусного расстояния (а), телеобъектив с сильно вынесенной главной плоскостью (б), широкоугольный объектив с удлинённым вершинным фокусным расстоянием (в)

до окна достаточно велико, то $a' = f'$. Если нет, тогда воспользуемся формулой Гаусса (1). Ясно, что фокусное расстояние складывается из вершинного фокусного расстояния и расстояния главной плоскости от вершины последней поверхности объектива *).

§ 1.4. ДЕЙСТВУЮЩЕЕ ОТВЕРСТИЕ, ОТНОСИТЕЛЬНОЕ ОТВЕРСТИЕ, СВЕТОСИЛА

Действующим отверстием линзы называется площадь сечения пучка лучей, проходящего из пространства перед линзой в пространство за линзой. Чем больше действующее отверстие объектива, тем больше диаметр прошедшего через объектив пучка света. Чем больше света пройдет через объектив, тем более слабые звезды удастся зарегистрировать за одно и то же время. Кроме того, при одинаковом качестве объективов больше подробностей покажет более крупный. Поэтому вся история астрономии связана с ростом диаметров объективов телескопов. В наше время линзовые объективы по размеру действующего отверстия остались далеко позади зеркал (рис. 8).

Относительным отверстием объектива называют отношение диаметра его действующего отверстия к заднему фокусному расстоянию,

$$A = \frac{d}{f'}.$$

* Подробнее см. [7].

Относительное отверстие записывается в виде простой дроби, у которой в числителе всегда единица, а в знаменателе может быть целое число или число с десятичной дробью, например, $1/2$, $1/4$, $1/5,6$. Величина, обратная относительному отверстию, называется *относительным фокусным расстоянием*, а в фотографии — *диафрагменным числом* или просто *диафрагмой*. Например, объектив с относительным отверстием $1/6,3$ имеет диафрагменное число (относительное фокусное расстояние) $6,3$.

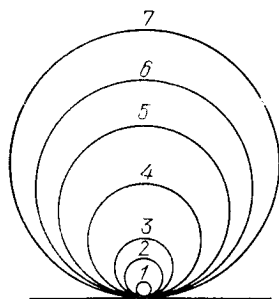


Рис. 8. Диаметры действующих отверстий телескопов: 1 — 30-сантиметровый любительский телескоп, 2 — 1-метровый Йеркский рефрактор (США), 3 — 1,4-метровая камера Шмидта (Таунсбург, ГДР), 4 — 2,6-метровый рефлектор (Крым, СССР), 5 — 4-метровый рефлектор (Китт Пик, США), 6 — 5-метровый рефлектор (Паломар, США), 7 — 6-метровый рефлектор Специальной астрофизической обсерватории (СССР)

Диафрагмой называется также устройство для изменения действующего отверстия. Обычно фотообъективы имеют встроенную iris-диафрагму, состоящую из лепестков с изогнутым краем, образующих изменяющееся отверстие очень близкой к окружности формы.

Освещенность изображений протяженных объектов, создаваемая объективом на фотопленке, не зависит от их размеров, а только от их яркости и *светосилы* объектива, которая характеризуется относительным отверстием. Если диаметр действующего отверстия объектива увеличить вдвое, то его площадь, а значит, и количество прошедшего света увеличится вчетверо. Если же, не меняя отверстия, вдвое увеличить фокусное расстояние, то масштаб возрастет в два раза, а площадь изображения в четыре. Одновременно в четыре раза снизится освещенность. Из этого простого рассуждения следует, что светосила объектива — это квадрат относительного отверстия,

$$O = \frac{d^2}{f^2} = A^2.$$

Значит, если мы хотим изменить освещенность на пленке в два раза, нам нужно изменить входной зрачок (и относительное отверстие) в $1,4$ раза. Именно на эту величину отличаются диафрагменные числа в стандартном ряду. В настоящее время принят такой ряд: $0,5$; $0,7$; $1,0$; $1,4$; $2,0$; $2,8$;

4; 5,6; 8; 11; 16; 22; 32; 45 и т. д. На старых объективах можно увидеть другой ряд: 2,3; 3,2; 4,5; 6,3; 9; 12,5; 18; 25; 36; 50 и т. д.

Как мы увидим позже, действующее отверстие не всегда равно диаметру передней линзы объектива. Как определить действующее отверстие объектива? Для этого нужно фокусное расстояние разделить на диафрагменное число, указанное на оправе объектива. Например, фокусное расстояние объектива «Ортагоз» старого пластиночного аппарата «Фотокор-1» равно 135 мм, а максимальное относительное отверстие $1/4,5$. Легко подсчитать, что действующее отверстие равно 30 мм.

§ 1.5. ИДЕАЛЬНЫЙ ОБЪЕКТИВ

В идеале фронт световой волны после прохождения через линзу или в результате отражения от зеркала должен быть строго сферическим с центром кривизны в фокусе. В реальном объективе он может заметно исказиться и отступить от сферы. Однако если эти искажения не превышают $1/4$ длины волны света (λ), то изображение светящейся точки будет идеальным — идеальным в том смысле, что дальнейшее улучшение оптического качества объектива уже не добавит новых мелких подробностей. Это так называемое условие Рэлея. Для лучей, к которым более всего чувствителен глаз (длина волны $\lambda = 0,555$ мкм), отклонение фронта волны не должно превышать 0,139 мкм или 0,000 139 мм.

Посмотрим, как выглядит идеальное изображение светящейся точки (рис. 9) при большом увеличении. Мы видим светлое пятнышко, окруженное слабыми светлыми кольцами, яркость которых постепенно уменьшается к периферии. Это следствие дифракции световых волн на краю объектива — явления, о котором читатель подробнее сможет прочесть в специальной литературе [1, 2, 5, 6, 7]. Здесь мы коснемся только вопроса о влиянии дифракции на видимость мелких деталей изображения.

В центральной части дифракционной картины сосредоточено 83,8% всей световой энергии (в первых трех кольцах в направлении от центра соответственно 7,2%; 2,8%; 1,5%). Нам интересна только центральная часть дифракционной картины, а кольца — это помеха, от которой совершенно невозможно избавиться. Из-за плавного перехода от центрального максимума к темному колечку (рис. 9, б) мы не можем точно определить диаметр центрального пятнышка. Условились, что радиус первого темного миниму-

ма — это и есть диаметр дифракционного кружка. Часто он называется кружком Эри в честь известного английского астронома Джорджа Биддла Эри.

Радиус кружка Эри равен

$$r = 1,22\lambda V, \quad (5)$$

где λ — длина волны света, V — относительное фокусное расстояние объектива. Например, для волны 0,555 мкм (0,000 555 мм) и относительного фокусного расстояния 10 радиус кружка Эри равен $r = 0,0068$ мм.

В угловой мере радиус кружка Эри равен

$$\alpha_r = \frac{1,22\lambda}{D} \text{ (рад),}$$

где D — действующее отверстие объектива в мм. Умножив α_r на 206 265, мы получим радиус в секундах дуги. Для $\lambda = 0,000 555$ мм лучше переписать формулу так:

$$\alpha_r = \frac{140}{D} \text{ (секунд дуги).} \quad (6)$$

Ясно, что в синем диапазоне спектра (длина волны порядка 450 мкм) радиус дифракционного кружка меньше, чем в красном (длина волны примерно 650 мкм). Поэтому и диаметры колец для различных цветов немного отличаются.

Это приводит к тому, что для белого света дифракционные кольца имеют радужную окраску. Внутренняя сторона кольца голубая, внешняя — красноватая.

Считается, что наблюдатель уверенно видит звезду двойной, если расстояние между центрами дифракционных ядер не менее одного радиуса ρ дифракционного кружка (рис. 9, в). Величина радиуса кружка Эри характеризует разрешающую силу визуального телескопа (см. § 1.7). Она равна $R_{\text{виз}} = 1/\alpha_r$.

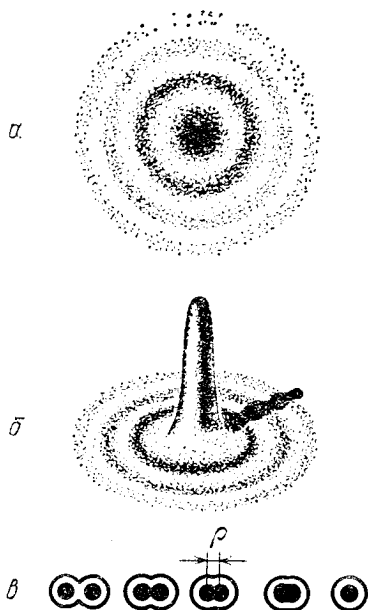


Рис. 9. Дифракционная точка: сильно увеличенный вид (а), трехмерная модель (б), дифракционные изображения тесных звездных пар (в)

Испытывать объектив лучше всего визуально по двойным звездам, видимое расстояние между которыми близко к тому, что может разрешить данный объектив. Для уверенного разрешения двух не слишком ярких или слабых звезд, имеющих примерно одинаковый блеск, предельный угол разрешения равен

$$\rho = \frac{140}{D} \text{ (секунд дуги).}$$

100-миллиметровый объектив, работающий на дифракционном пределе, покажет раздельными две звезды если видимое расстояние между ними не менее $1,4''$, для 150-миллиметрового объектива это расстояние равно $0,9''$. Однако это только приближенные величины, так как многое зависит от блеска обеих звезд, разности их блеска, опыта наблюдателя...

С фотографическим телескопом дело обстоит сложнее. Изображение точки, попадая на группу зерен фотоэмульсии, рассеивается в слое так, что кружок рассеяния для современных эмульсий оказывается около $0,02-0,03$ мм ($20-30$ мкм). Это значит, что если относительное отверстие астрографа велико и кружок Эри мал, то дифракционное изображение «утонет» в кружке рассеяния эмульсии. В самом деле, для относительного отверстия $1/2$ радиус дифракционного кружка равен $1,3$ мкм, для $1/8$ — $5,4$ мкм, для $1/30$ — 20 мкм. Только для очень малых относительных отверстий кружок Эри соперничает с кружком рассеяния эмульсии.

Таким образом, для фотографических работ с большим относительным отверстием качество изображения может и не быть идеальным. Вполне допустимы некоторые оптические погрешности объектива или аберрации. К несчастью, чаще всего они не так уж малы. Поэтому рассмотрим некоторые из них.

§ 1.6. АБЕРРАЦИИ РЕАЛЬНЫХ ОБЪЕКТИВОВ

С ф е р и ч е с к а я а б е р р а ц и я. *Сферическая аберрация* возникает потому, что линза или зеркало со сферическими поверхностями не может свести все лучи параллельного пучка в одну точку. Крайние зоны сферической линзы (и зеркала) имеют несколько большую оптическую силу, чем центральные. Фокусное расстояние крайних зон короче (рис. 10). На рисунке выделены три зоны (числа слева) и для них указаны три фокальные плоскости. На экране, установленном в фокусе 1 , будет виден ореол

от лучей 2-й и 3-й зон, которые уже расходятся после пересечения в своих фокусах. Для сферического зеркала расстояние между фокусами внешней и внутренней зон (*продольная сферическая aberrация*) равно

$$\Delta S = \frac{1}{8} \frac{y^2}{f'},$$

где y — радиус крайней зоны или полудиаметр зеркала, f' — его фокусное расстояние.

Радиус кружка рассеяния (*поперечная сферическая aberrация*) равен

$$\rho = \frac{1}{8} \frac{y^3}{f'^2},$$

диаметр пятна рассеяния сферической aberrации вдвое больше. На фотографиях, полученных с помощью зеркала,

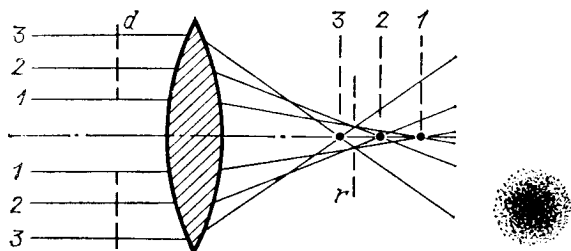


Рис. 10. Сферическая aberrация, r — кружок наименьшего рассеяния. Справа — вид пятна в фокальной плоскости

страдающего сферической aberrацией, диаметры ярких звезд будут равны 2ρ , тогда как слабые звезды будут вполне точечными, так как слабые ореолы вокруг них не проработаются на эмульсии. В то же время ясно, что эти изображения образованы только центральной зоной объектива и значительная часть светового пятна потеряна.

Можно перефокусировать камеру и установить пластинку чуть ближе к объективу в район кружка наименьшего рассеяния, где диаметр звездного изображения в четыре раза меньше, чем диаметр кружка рассеяния (поперечной сферической aberrации).

Сферическая aberrация одиночных линз минимальна у линзы, имеющей кривизну передней поверхности в шесть раз больше кривизны задней, практически такая же aberrация у плосковыпуклой линзы, повернутой выпуклой стороной к предмету. У двояковыпуклых линз aberrация

больше, но самая большая у менисков — выпукло-вогнутых линз.

Если плосковыпуклая линза повернута выпуклой стороной к предмету, ее продольная абберация равна

$$\Delta S = -1,1 \frac{y^2}{f},$$

а поперечная

$$\rho = -1,1 \frac{y^3}{f^2}.$$

Если же линзу повернуть к предмету плоской стороной, ее обе абберации станут почти в четыре раза больше:

$$\Delta S = -4,29 \frac{y^2}{f}, \quad \rho = -4,29 \frac{y^3}{f^2}.$$

Как видим, линза даже наилучшей формы примерно в восемь раз хуже сферического зеркала. К этому надо добавить, что линзы страдают хроматической (цветовой) абберацией (см. ниже), а это значит, что одиночная линза может работать в качестве астрографа только в узком спектральном диапазоне, например, с оранжевым светофильтром *). Тем не менее, в 1953 г. один из авторов построил астрограф на базе плосковыпуклой линзы диаметром 80 мм с фокусным расстоянием 800 мм. Весь астрограф, даже кассета для плоской пленки, был сделан из картона. Укрепив этот астрограф на параллактической монтировке цейсовского 80-миллиметрового рефрактора с тонкими движениями по обоим осям, автор получил прекрасный снимок звездного скопления Плеяды. В те годы города освещались значительно меньше, и потому на пленке чувствительностью около 130 ед. ГОСТ за 30 минут экспозиции получились звезды 10-й звездной величины (10^m). Конечно, яркие звезды были окружены ореолами, а ореол вокруг Меропы (одна из звезд скопления) был асимметричным — проработалась яркая часть туманности, в которую погружены Плеяды.

Если кружок рассеяния принять равным 0,05 мм, то можно рассчитать предельные относительные фокусные расстояния в зависимости от диаметра линзы (табл. 2) или зеркала (табл. 3). Для линзы это будет

$$A_{\text{л}} = \sqrt{0,72/D}, \quad \nu_{\text{л}} = 1,18 \sqrt{D},$$

*) В принципе можно работать с любым светофильтром, но хороший синий или зеленый фильтр найти сложно, желтый фильтр имеет широкий диапазон пропускания, а красный — большое светопоглощение.

для зеркала

$$A_s = \sqrt{6,25/D}, \quad V_s = 0,4 \sqrt{D}.$$

Большинство широкоугольных объективов с фокусным расстоянием более 200—300 мм имеют кружок рассеяния около 0,1 мм. Если мы примем такой кружок, то фокусные расстояния в обеих таблицах можно укоротить примерно в полтора раза. Одновременно в полтора раза возрастет относительное отверстие и в два раза — светосила. Нужно

Таблица 2

Минимальные фокусные расстояния одиночных линз, установленных выпуклой стороной к объекту

Диаметр, мм	Фокусное расстояние, мм	Относительное фокусное расстояние
30	190	6,3
40	300	7,5
50	420	8,3
60	550	9,1
80	840	10,5
100	1200	12,0
200	3300	16,7

Таблица 3

Минимальные фокусные расстояния сферических зеркал

Диаметр, мм	Фокусное расстояние, мм	Относительное фокусное расстояние
70	230	3,3
80	290	3,6
100	400	4,0
120	530	4,4
150	735	4,9
200	1130	5,7
250	1580	6,3

только постоянно помнить, что фотографировать одиночной линзой можно только через светофильтр.

К ó м а. *Кома* — aberrация наклонных пучков, и проявляет она себя на краю поля. Она вызывается тем, что наклонные пучки на линзах и зеркалах преломляются или отражаются несимметрично, и поэтому сходящиеся пучки не успевают сфокусироваться в одинаковой мере и по-разному смещаются с оси пучка. Налагаясь друг на друга, эти пятна дают характерное пятно комы (рис. 11).

Для параболического зеркала радиус наибольшего пятна равен

$$\rho = \frac{1}{16} \omega A^2 f, \quad (7)$$

где A — относительное отверстие, ω — угол между центром поля и изображением звезды, выраженный в радианах,

f — фокусное расстояние зеркала. Максимальная ширина пятна комы в два, а длина в три раза больше ρ .

Если кружок рассеяния эмульсии равен 0,05 мм, то и пятно комы (3ρ) не должно превышать 0,05 мм. Тогда предельный угол, на котором пятно комы не больше допуска,

$$\omega = 0,27 \frac{\sqrt{f}}{f}.$$

Вычислим угловые размеры поля для 150-миллиметрового зеркала с относительным отверстием 1/7: $\omega = 0,27 \cdot 49/1050 = 0,0126$ рад или $0,72^\circ$. Так как это половина поля зрения, то диаметр равен $1,44^\circ$.

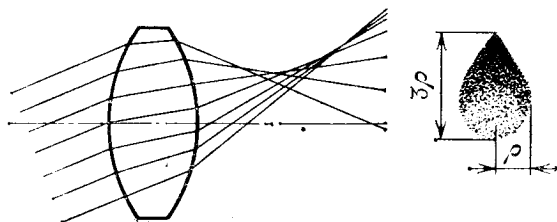


Рис. 11. Аберрация комы и вид пятна

Умножив половину поля в радианах на фокусное расстояние, мы получим радиус поля в миллиметрах: $r = 0,0126 \cdot 1050 = 13,2$ мм или диаметр 26,4 мм.

Практически с таким рефлектором на формате 24×36 мм получается вполне приемлемое качество изображения до самого края. Величина пятна комы зависит от квадрата относительного отверстия. Поэтому, диафрагмируя объектив, мы можем значительно снизить влияние комы и увеличить полезное поле зрения.

Кома ахроматического объектива — *ахромата* (в котором сведена к минимуму хроматическая аберрация) зависит от нескольких причин, в частности, от кривизны линз. Возможны типы ахроматов с комой, равной нулю. Созданы и двухзеркальные системы рефлекторов с нулевой комой: системы Шварцшильда, Ричи — Кретьена, МаксUTOва. Многолинзовые объективы в наше время обычно тоже хорошо исправлены на кому. Системы, свободные от комы, а также от сферической аберрации и хроматизма, называются *апланатическими* или *апланатами*.

Астигматизм. Перед объективом (или зеркалом), на который падает наклонный пучок света, установим диафрагму с двумя узкими взаимно перпендикулярными

щелями. После такой диафрагмы световой пучок будет распространяться в вертикальной и горизонтальной плоскостях. Вертикальную плоскость назовем меридиональной, а горизонтальную — сагиттальной (рис. 12). Если преломление на поверхности рассмотреть внимательно, то станет ясно, что в меридиональной плоскости (если смотреть на схему сбоку) симметрия пучка резко нарушается, так как

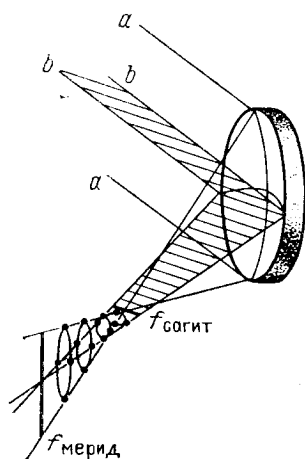


Рис. 12. Астигматизм:
a — a — меридиональный пучок, *b — b* — сагиттальный пучок (заштриховано)

ось пучка наклонена к оптической оси объектива. С другой стороны, рассматривая сверху преломление в сагиттальной плоскости, заметим, что симметрия не нарушилась. Такое нарушение симметрии в одной плоскости и ее сохранение в другой приводят к тому, что фокусные расстояния в обеих плоскостях оказываются разными.

В каждом из фокусов изображение точки будет выглядеть вертикальным или горизонтальным штрихом. В промежутке изображение точки будет постепенно переходить от штриха к эллипсу, кругу, снова эллипсу и к штриху. В этом выражается *астигматизм* объектива. В фокальной плоскости параболического зеркала изображение имеет

форму штриха, вытянутого от центра поля к краю. Длина штриха равна

$$2a = A\omega^2 f.$$

Астигматическая разность фокусных расстояний пропорциональна квадрату угла наклона пучка и прямо пропорциональна относительному отверстию. Это значит, что астигматизм в меньшей степени, чем кома, зависит от относительного отверстия, но при больших углах он значительно превосходит кому.

Диафрагмируя объектив, мы несколько уменьшаем размер астигматического пятна. Минимальное значение он принимает в промежутке между плоскостью, где фокусируются сагиттальные пучки, и поверхностью, на которой фокусируются меридиональные пучки. Эта поверхность для параболического зеркала в первом приближении выглядит

сферой, обращенной вогнутой стороной к зеркалу. Именно на ней можно получить относительно качественные изображения. Однако это означает, что мы имеем дело с еще одной aberrацией — *кривизной поля*.

Кривизна поля свойственна многим объективам. Фокальная поверхность может быть обращена выпуклостью к объективу или от него, а часто она имеет более сложную форму. Размещая пластинку в некотором среднем положении, когда aberrационные кружки не превышают пятна рассеяния фотоэмульсии, мы получаем удовлетворительные изображения. Радиус кривизны поля параболического рефлектора равен его фокусному расстоянию.

Дисторсия. *Дисторсия* выражается в том, что масштаб изображения на различном расстоянии от центра

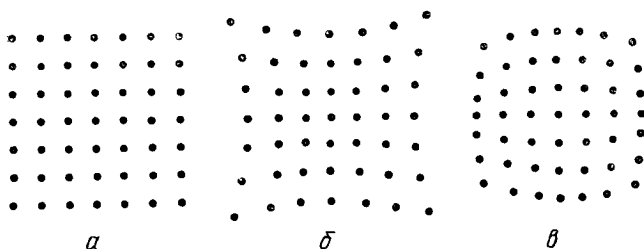


Рис. 13. Дисторсия: *а* — объект, *б* — положительная дисторсия, *в* — отрицательная дисторсия

поля зрения оказывается различным (рис. 13). Различают положительную, «подушкообразную», и отрицательную, «бочкообразную», дисторсию. Подушкообразную дисторсию (рис. 13, *б*) имеют телеобъективы и биноклярные системы. Бочкообразная дисторсия (рис. 13, *в*) характерна для широкоугольных объективов с отрицательной передней компонентой и с увеличенным рабочим отрезком. Особенно велика дисторсия у сверхширокоугольных объективов типа «рыбий глаз» и у камер «олл-скэй». Параболическое, как и сферическое зеркала свободны от дисторсии.

Хроматические aberrации. К счастью для большинства любителей, телескопы-рефлекторы и другие зеркальные камеры совершенно свободны от *хроматической aberrации*, но любители, работающие с линзовыми объективами, должны познакомиться и с этими неприятными aberrациями.

Стекло марки К8 для длины волны света $6563 \text{ \AA}$ (водородная линия H_α) имеет показатель преломления $n_c =$

$=1,51390$. Для желтого излучения натрия с волной 5896 и 5890 Å $n_D=1,51630$. Для голубой линии водорода H_β с длиной волны 4861 Å $n_F=1,52196$ и т. д. Для других стекол также характерен различный показатель преломления в разных участках спектра. Это значит, что фокусные расстояния одной и той же линзы для разных диапазонов спектра отличаются друг от друга.

Голубые лучи, входящие в состав белого света звезды, сфокусируются ближе к объективу, красные дальше. Это

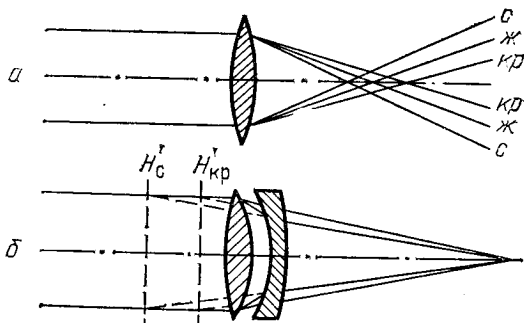


Рис. 14. Хроматическая aberrация: а — хроматизм положения, б — хроматизм увеличения

хроматизм положения (рис. 14, а). Разница между фокусными расстояниями лучей с длиной волны 4861 Å (H_β), обозначаемых F, и лучей с длиной волны 6563 Å (H_α или C) называется *продольным хроматизмом*. Если экран расположить в фокусе голубых лучей F, изображение точки будет окружено розовым ореолом, если экран переместить в фокус красных лучей C, то появится голубой ореол.

Известно, что наибольшая чувствительность глаза лежит вблизи длины волны 5550 Å. В непосредственной близости лежат яркие линии натрия D с длиной волны 5896 и 5890 Å. Оптике берут среднее значение 5893 Å, хотя в спектре такой линии нет.

Диаметр кружка наименьшего рассеяния равен

$$2\rho_{FC} = \pm \frac{D}{2 \frac{n_D - 1}{n_F - n_C}}, \quad (8)$$

где n_C , n_D и n_F — показатели преломления для лучей C, D и F. Величина $\nu_D = \frac{n_D - 1}{n_F - n_C}$ называется *коэффициентом дисперсии*. Для стекла К8 $\nu_D=64,06$. Подставив в формулу

(8) коэффициент дисперсии и приравняв ее к кружку 0,05 мм, получим

$$D_{\max} = 0,05 \cdot 2 \cdot 64 = 6,4 \text{ мм.}$$

Увеличив допустимый кружок до 0,1 мм, получим максимально возможный диаметр одиночной линзы, пригодной для фотографирования, около 13 мм независимо от фокусного расстояния и относительного отверстия. Ясно, что одиночная линза пригодна для фотографии, если ее фокусное расстояние невелико.

Значительно лучше применить вместе с линзой оранжевый светофильтр. В этом случае диаметр линзы можно увеличить (см. табл. 2). К сожалению, ее кома и астигматизм достаточно велики, и поэтому поле зрения не должно превышать двух-трех градусов.

Можно значительно уменьшить хроматизм, если изготовить двухлинзовый объектив из двух различных стекол.

Тщательный расчет двухлинзовых объективов позволяет свести в одну точку пару лучей, обычно F и C. Такие объективы называют *ахроматами*. Красные и голубые лучи оказываются в одном фокусе, но синие и фиолетовые образуют ореол, который хорошо заметен у рефракторов при наблюдении ярких звезд.

Подбором не только стекол, но и их кривизн удастся в значительной степени свести к нулю сферическую aberrацию, а в некоторых случаях и кому.

Нередко конструктору удастся свести в одну точку фокусы для лучей F и C, но при этом главные плоскости для этих лучей не совпадают. Тогда и фокусные расстояния оказываются несколько различными, а вслед за этим различным оказывается и масштаб изображения в красных и синих лучах — *хроматизм увеличения* (рис. 14, б). Предположим, что фокусное расстояние для синих лучей больше, чем для красных, тогда синее изображение Луны в фокусе такого объектива окажется несколько больше красного. Налагаясь друг на друга, эти изображения дадут белое изображение, но с синей каймой вокруг. Точечные изображения звезд на краю поля зрения будут походить на крошечные спектрики с сине-фиолетовым концом, направленным от центра поля зрения. Длина такого спектрика будет тем больше, чем дальше от центра расположено изображение звезды. При небольшом поле зрения этот недостаток сказывается мало.

Заканчивая описание двух хроматических aberrаций, автор с облегчением ставит точку, так как на протяжении

многих лет, работая только с рефлекторами, он не имел на сердце тяжелого камня, который не дает покоя владельцам рефракторов. И если любитель, работая с рефрактором, не замечает его недостатков, то это потому, что он не знает, что такое изображение, свободное от хроматизма.

§ 1.7. РАЗРЕШАЮЩАЯ СИЛА ФОТОГРАФИЧЕСКОГО ОБЪЕКТИВА

Мы уже рассмотрели разрешение визуального объектива, работающего на дифракционном пределе (см. конец § 1.5).

Фотографическая эмульсия — более грубый приемник, чем глаз, поэтому только при относительных отверстиях $1/50$ или даже меньше разрешающая сила визуального и фотографического телескопов уравнивается. При больших относительных отверстиях благодаря зернистости и светорассеянию эмульсии разрешающая сила фотографического объектива может быть значительно меньше без ущерба для дела.

Для испытания фотообъектива пользуются специальной испытательной таблицей (мирой), которая представляет собой серию черных и светлых параллельных штрихов *). На изображении, которое дает объектив при достаточно малом изображении миры, эти штрихи могут слиться. Разрешающей силой объектива называют количество линий на миллиметр, которое в изображении еще не сливается в сплошную массу. Например, в центре поля стандартный объектив «Гелиос-44» с фокусным расстоянием 58 мм имеет разрешение 35 линий на миллиметр, на расстоянии 20 мм от центра поля разрешающая сила падает до 14 лин/мм.

Разрешающая сила объектива для низкочувствительных эмульсий из-за их меньшей зернистости должна быть выше, чем для объектива, работающего с крупнозернистой высокочувствительной пленкой. Разрешающая сила высокочувствительных пленок около 70—80 лин/мм, низкочувствительных до 120—140 и больше.

§ 1.8. ОБРАЩЕНИЕ С ОБЪЕКТИВОМ

Вечером 6 февраля 1970 г. незадолго до полуночи служащий обсерватории Мак-Дональд в Техасе внезапно сделал семь выстрелов из 9-миллиметрового револьвера в ли-

*) Применяются и радиальные миры с линиями, расходящимися из одного центра и имеющими различную ширину в центре и на краю поля.

цевую сторону зеркала 2,7-метрового телескопа. В довершение он нанес несколько ударов по зеркалу молотком. Оказалось, что этот человек наблюдается в местной психиатрической больнице. Директор обсерватории Мак-Дональд Гарлан Смит сообщил, что на поверхности зеркала образовалось несколько ямок диаметром от 60 до 100 мм, которые уменьшили светособирающую силу телескопа только на 1 % и практически не повлияли на качество дифракционной картины. Астрономические наблюдения всех видов практически не пострадали от этого трагического эпизода. Следующей ночью телескоп завершил наблюдательную программу, произведя несколько отличных фотографий.

Печальная история... Однако оказывается, что несколько крупных сколов существенно не влияют на качество объектива. Но было бы неверно думать, что объектив не требует к себе бережного отношения. Дело в том, что сетка многочисленных, хотя и мелких царапин может привести в полную негодность любой объектив или зеркало. На каждой царапине происходит такая же дифракция, как и на участке оправы объектива. От этого общая дифракционная картина точки резко ухудшается. Контраст изображения катастрофически падает. Особенно это сказывается на различимости мелких темных объектов на светлом поле, например, мелких деталей на поверхности планет.

У автора имеется объектив «Гелиос-44», который долгое время хранился без крышки в портфеле. В результате на поверхности линз образовалась сеточка мелких царапин, которая хорошо видна, если объектив установить в сильном пучке солнечного света и рассматривать его линзы на темном фоне. От этой небрежности изображения, даваемые этим объективом, пострадали больше, чем у 4-тонного зеркала обсерватории Мак-Дональд.

Современные просветляющие покрытия по твердости соперничают со стеклом, и чрезвычайная осторожность при протирке этих объективов необязательна. Достаточно протирать объектив чистыми фланелевыми или полотняными салфетками, предварительно «подышав» на поверхность стекла.

Жировые пятна от пальцев действуют так же, как и сеточка царапин. Слабые пятна можно стереть салфеткой, жирные — салфеткой, смоченной в спирте. Одиночные линзы и зеркала можно мыть руками, намыленными хозяйственным мылом. После мытья поверхность нужно промыть проточной водой, а в заключение ополоснуть дистиллированной водой. Линзу или зеркало нужно поставить на

ребро, снять уголком промокашки капли воды и оставить сушиться.

Пыль с поверхностей лучше сдвигать медицинскими «грушами». Применение кистей нежелательно, так как в них со временем накапливается пыль. Вообще объектив все время должен быть закрыт крышками, которые снимаются только на время работы и чистки.

§ 1.9. ФОТОГРАФИЧЕСКИЕ ОБЪЕКТИВЫ ДЛЯ АСТРОНОМИЧЕСКОЙ ФОТОГРАФИИ

О возможностях одиночной линзы мы уже говорили. На первых порах она может служить для фотографии фаз

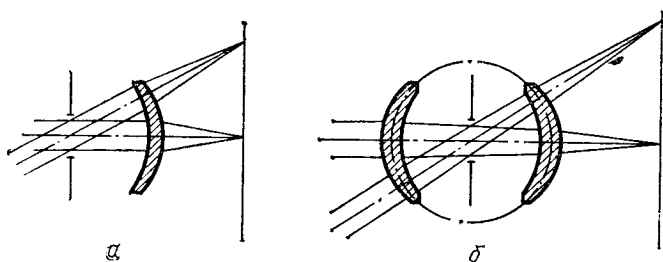


Рис. 15. Простейшие объективы

Луны, солнечной поверхности, лунных и солнечных затмений, наиболее крупных и ярких звездных скоплений, туманностей, галактик, комет ... Поле зрения одиночной линзы $1-3^\circ$ в зависимости от фокусного расстояния и относительного отверстия.

Для того чтобы увеличить поле до $10-12^\circ$, можно использовать положительный вогнуто-выпуклый мениск (например, очковое стекло) с фокусным расстоянием 20—30 см (оптическая сила 5—3 диоптрии), если его установить выпуклой стороной к пленке, а перед ним на некотором расстоянии диафрагму (рис. 15, а). Относительное отверстие при этом следует уменьшить до $1/11-1/16$.

Этот самый дешевый объектив из числа «широкоугольных» в 1802 г. предложил Волластон.

Если перед диафрагмой мениска установить второй мениск, как показано на рис. 15, б, получится предложенный в 1865 г. Штейнгелем «перископ». Перископ — симметричный объектив; при относительном отверстии $1/12-1/10$ он свободен от комы и дисторсии, но хроматизм остается заметным. Поле ограничивает астигматизм.

Ахроматический объектив из пары линз имеет хроматическую aberrацию в 16 раз меньше хроматизма одиночной линзы. Если ахромат, скорректированный для визуального диапазона спектра, применяется с панхроматическими эмульсиями типа «Фото», «КН», «А-2» и др., то можно быть спокойным, но для несенсибилизированных (чувствительных только к излучению в синем диапазоне спектра) астрономических эмульсий типа «А-500» и др. нужен объектив с

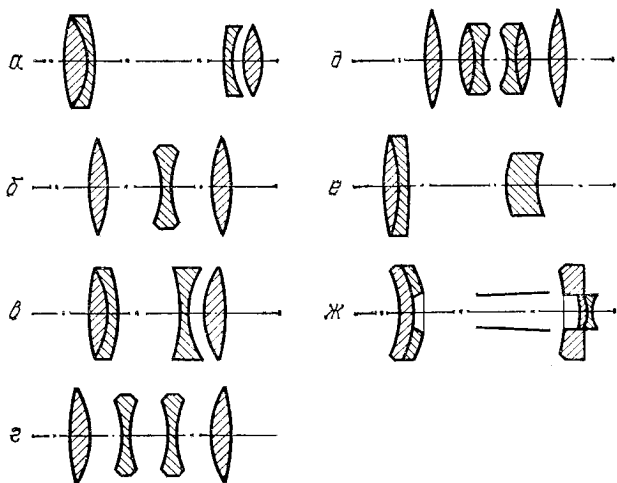


Рис. 16. Некоторые объективы, применяемые в любительской астрофотографии: «Петцваль» (а), «Триплет» (б), «Тессар» («Индустар») (в), «Ортогвоз» (объектив Росса) (г), «Гелиос» (д), «Таир» (е), «МТО-1000» (ж)

«фотографической» коррекцией, иначе эмульсия зарегистрирует несфокусированный сине-фиолетовый ореол.

В 1839 г. венский профессор математики Й. Петцваль рассчитал первый сложный фотографический объектив, а в 1840 г. этот объектив был выпущен фирмой «Фойхтлендер». Объектив имел невиданное до той поры относительное отверстие $1/3,4$. Он состоял из четырех линз (рис. 16, а). Поле для обычной фотографии составляло 30° , для астрономических целей — $10\text{--}15^\circ$. Верой и правдой этот объектив служил астрономам почти сто лет и только в наше время стал музейной редкостью.

В 1894 г. английский оптик Денис Тэйлор разработал для фирмы «Кук и сыновья» удивительно простой и достаточно совершенный объектив, послуживший впоследствии прототипом для многочисленных подражаний и усовершен-

ствований. Этот объектив, называемый триплетом Тэйлора или иногда триплетом Кука (рис. 16, б), исправляет сферическую абберацию в меньшей степени, чем объектив Петцваля, но кома, астигматизм и кривизна поля исправлены в нем очень хорошо. Поэтому объектив используется как широкоугольный.

В 1902 г. сотрудник фирмы «Цейс» Пауль Рудольф значительно усовершенствовал триплет, заменив последнюю линзу двумя склеенными. Этот объектив получил название «Тессар» и выпускается до сих пор в разных странах под различными названиями. В СССР он широко известен как «Индустар» (рис. 16, в).

Разделив центральную линзу триплета на две, Герц уменьшил кривизну этих линз, снизив тем самым остаточные абберации. Аналогичен объектив Росса, который широко применяется в астрономии. Крупнейший из них имеет диаметр 500 мм и относительное отверстие 1/7. В СССР объективом подобной конструкции «Ортагоз» снабжался фотоаппарат «Фотокор-1» (рис. 16, г).

Длиннофокусные объективы страдают существенным недостатком. Габариты астрографа велики, так как фокусное расстояние и вершинное фокусное расстояние практически равны. Можно значительно сократить длину камеры, если вслед за положительной компонентой на некотором расстоянии установить отрицательную (см. рис. 7, б). В этом случае задняя главная плоскость будет вынесена вперед, и при достаточно большом фокусном расстоянии вершинное фокусное расстояние сократится и уменьшится длина астрографа. Такие объективы называют *телеобъективами*.

Если телеобъектив повернуть отрицательной компонентой к падающему пучку света, его задняя главная плоскость окажется сзади положительной компоненты, вершинное фокусное расстояние увеличится и может стать даже больше фокусного расстояния. Это очень удобно для короткофокусных объективов, предназначенных для зеркальных камер, когда необходимо значительное место для размещения зеркала. Короткофокусные объективы, как правило, и широкоугольны, поэтому передняя отрицательная компонента делается очень большого диаметра, чтобы не допустить виньетирования (срезания) наклонных пучков (см. рис. 7, в).

Таблица 4 дает представление о современных объективах, исправленных на хроматизм, сферическую абберацию, кому и астигматизм и называемых анастигматами (см. также рис. 16, д, е, ж).

Таблица 4

Некоторые отечественные объективы для различных форматов

Марка объектива	f' , мм	v	$\omega/2$, град	R , лин/мм
Формат 24×36 мм				
«Мир-20»	20	3,5	94	50
«Мир-14»	24	3,5	84	52
«Мир-4»	28	3,5	76	—
«Мир-2»	28	3,5	75	40
«Мир-1»	37	2,8	62	55
«Гелиос-65»	50	2,0	45	—
«Индустар-22»	52	3,5	56	35
«Индустар-61»	52	2,8	45	46
«Вега-3»	52	2,8	45	55
«Гелиос-81»	52	2,0	45	—
«Юпитер-3»	52	1,5	45	30
«Гелиос-44»	58	2,0	40	35
«Гелиос-40»	85	1,5	28	32
«Юпитер-9»	85	2,0	29	32
«Вега-13»	100	2,8	24	50
«Таир-11»	135	2,8	18	44
«Таир-38»	135	4,0	18	45
«Юпитер-11»	135	4,0	19	42
«Юпитер-6»	180	2,8	14	35
«Юпитер-21»	200	4,0	12	40
«Таир-3»	300	4,5	8	36
«МТО-500»	500	8,0	5	35
«МТО-1000»	1000	10,0	2,5	35
Формат 6×6 см				
«Мир-22»	45	3,5	84	48
«Мир-3»	66	3,5	65	40
«Уран-13»	70	2,5	61	33
«Вега-2»	86	2,8	52	40
«Индустар-56»	110	2,8	42	25
«Юпитер-36»	250	3,5	19	—
«Таир-33»	300	4,5	16	25
Формат 6×9 см				
«Уран-27»	100	2,5	57	45
«Индустар-24»	105	3,5	54	23
«Индустар-23»	110	4,5	52	30
«Индустар-27»	113	3,5	51	24
«Уран-25»	200	2,5	30	43
«Т-26»	135	6,8	52	22
«Таир-16»	500	4,5	13	—
«Таир-10»	750	4,5	9	—

Марка объектива	f' , мм	v	$\omega/2$, град	R , лин/мм
Формат 9×12 см				
«Индустар-2»	135	4,5	55	25
«Индустар-55»	140	4,5	56	38
«Индустар-36»	150	4,5	56	38
«Триплет»	365	3,7	22	—
Формат 13×18 см				
«Индустар-4»	210	4,5	56	20
«Индустар-51»	210	4,5	56	21
«Уран-9»	250	2,5	54	30
«Телемар-17»	400	6,3	30	—
«Триплет»	500	3,5	25	—
Формат 18×24 см				
«Индустар-13»	300	4,5	53	15
«Индустар-37»	300	4,5	53	20
«Индустар-17»	500	5,0	38	—
«Уран-12»	500	2,5	38	—
«Уран-16»	750	3,5	30	—

ФОТОГРАФИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

§ 2.1. ГАЛОГЕНИДОСЕРЕБРЯНЫЕ ФОТОМАТЕРИАЛЫ

Фотографические материалы бывают двух видов: галогенидосеребряные, в которых изображение получается в результате действия света на микрокристаллы галогенида серебра, и бессеребряные — диазотипные, электрофотографические, термопластические и др. В астрономических наблюдениях применяются только галогенидосеребряные фотоматериалы, поскольку их чувствительность на несколько порядков выше чувствительности бессеребряных фотослоев.

Еще несколько лет назад бытовало мнение, что галогенидосеребряной фотографии грозит скорая смерть из-за истощения запасов серебра (и резкого роста цен на серебро) и большого расхода его в различных областях науки и техники (электротехнике, космической промышленности и т. д.), и все надежды возлагались на бессеребряные фотоматериалы, которые смогут их заменить. Но оказалось, что это не соответствовало действительности. Выпуск серебряных фотоматериалов во всем мире увеличивается, цены на серебро стабилизировались и предполагается, что в ведущих капиталистических странах США и Японии вплоть до 2010 г. ежегодный прирост производства будет составлять не менее 2—3 %.

Произошло это благодаря уменьшению расхода серебра при изготовлении новых видов фотоматериалов, широкому распространению цветной фотографии и увеличению возврата серебра из обрабатывающих растворов.

Одновременно непрерывно улучшаются свойства галогенсеребряных фотоматериалов — повышается их чувствительность и разрешающая способность, расширяется зона спектральной чувствительности.

Настоящая научно-техническая революция происходит в цветной фотографии — если в 1982 г. максимальная чувствительность цветных негативных и обрабатываемых фотоэле-

нок составляла 400 ед. АСА (~350 ед. ГОСТ), то в 1985 г. ряд зарубежных фирм выпускал негативные фотопленки чувствительностью в 1600 ед. АСА, а чувствительность обрабатываемых фотопленок (со специальным проявлением) достигала 3200 ед. АСА.

Таким образом, можно с оптимизмом смотреть на будущее галогенидосеребряных фотоматериалов и их длительное и успешное применение в астрономии.

Фоточувствительный (или, как его обычно называют, *эмульсионный*) *слой* состоит из диспергированных в желатине микрокристаллов галогенида серебра. Этот слой наносят на стеклянную или пленочную подложку.

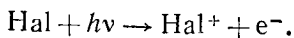
В современных фотографических эмульсиях линейный размер микрокристаллов может колебаться от 5—6 нм (гомографические фотоматериалы) до 6—10 мкм (высокочувствительная цветная негативная пленка Кодак VR-1000) и иметь различную форму — сферическую, октаэдрическую, пластинчатую (рис. 17). Общим для них всех является то, что они состоят из галогенидов серебра — AgCl , AgBr , AgBr(J) и т. д., для строения которых характерна кубическая решетка ионного типа.

Если кристалл не имеет нарушений структуры, то он не будет чувствителен к свету. К счастью для фотографии, практически все микрокристаллы имеют отклонения от идеальной структуры — в междоузлиях находятся ионы серебра, необходимые для образования центров скрытого изображения.

В строении самой решетки также существуют дефекты — трещины, вкрапления металлического и сернистого серебра, золота, которые образуются при синтезе фотографической эмульсии и на последующих стадиях ее изготовления. Благодаря этим несовершенствам, которые выполняют роль центров светочувствительности, микрокристалл становится чувствительным к свету.

§ 2.2. СКРЫТОЕ ИЗОБРАЖЕНИЕ

Процесс образования центра скрытого изображения схематически может быть представлен следующим образом: фотон света, попадая в кристалл галогенида серебра, вырывает электрон из иона галоида:



Электрон, двигаясь внутри кристаллической решетки, может попасть на центр чувствительности, который явля-

ется «ловушкой» для электронов. Он сообщает центру отрицательный заряд, нейтрализуемый положительно заряженным междоузельным ионом серебра. В результате на центре светочувствительности образуется атом серебра, что увеличивает глубину ловушки электронов, благодаря чему

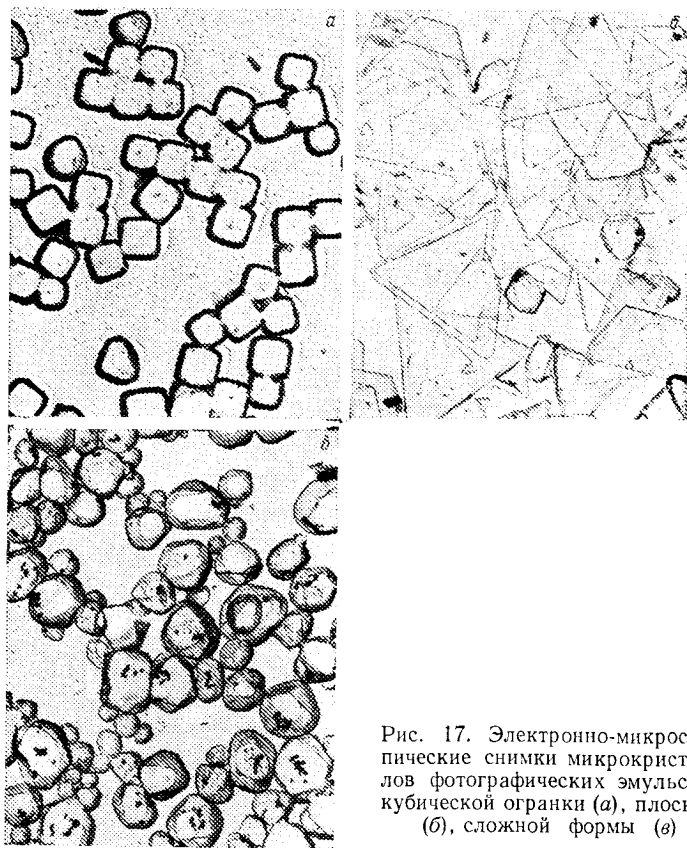


Рис. 17. Электронно-микроскопические снимки микрокристаллов фотографических эмульсий: кубической огранки (а), плоских (б), сложной формы (в)

возрастает вероятность захвата электронов при последующем поглощении фотонов света. Этот процесс продолжается до тех пор, пока не образуется достаточно крупный и устойчивый во времени центр скрытого изображения. Минимальное количество атомов серебра в центре скрытого изображения — три-четыре; это собственно и является верхней границей чувствительности микрокристалла галогенида серебра к видимому свету — 3—4 фотона на микрокристалл.

Поскольку фотон света может образовать в кристалле галогенида серебра только один фотоэлектрон, процесс образования скрытого изображения может затормозить атом галоида, если он не удален из микрокристалла. Взаимодействуя с электроном (рекомбинируя), он может связать его и тем самым воспрепятствовать росту центра скрытого изображения. Роль достаточно эффективного акцептора галоида выполняет желатина фотографического слоя. Если же скорость попадания фотонов в микрокристалл мала или, напротив, очень велика, то центр скрытого изображения растет неэффективно из-за того, что скрытое изображение распадается (при малой скорости поступления фотонов) или, напротив, будет образовываться неэффективно (при высокой интенсивности) вследствие того, что фотоэлектроны будут расплываться по всему кристаллу, а не собираться в одном месте — центре скрытого изображения. При этом происходит уменьшение чувствительности из-за так называемых отклонений от закона взаимозаместимости.

Если же на фотослой действуют рентгеновское излучение или заряженные частицы, то даже при однократном попадании рентгеновского фотона или частицы в микрокристалле образуется большое количество фотоэлектронов, достаточное для образования центра скрытого изображения, и закон взаимозаместимости выполняется.

С п е к т р а л ь н а я с е н с и б и л и з а ц и я . Зона собственной чувствительности галогенидов серебра находится в коротковолновой ультрафиолетовой и синей частях спектра. Они практически нечувствительны к излучению с длиной волны ≥ 500 нм, т. е. к основной части видимого излучения — от зеленой до красной, а также к инфракрасному излучению.

Чтобы расширить зону спектральной чувствительности, в светочувствительный слой вводят красители, которые, адсорбируясь на поверхности микрокристаллов, очуствуют их к области спектра, соответствующей поглощению красителя. Этот процесс называется *спектральной сенсibilизацией* фотослоя, а красители — спектральными сенсibilизаторами.

В зависимости от строения спектральный сенсibilизатор (обычно применяют органические соединения, так называемые цианиновые красители) может очуствовать фотослой к различным участкам спектра.

Поскольку красители эффективно поглощают излучение лишь в небольшом спектральном диапазоне, для сенсibilизации используют смесь двух и более красителей. В ряде

случаев наблюдается так называемый эффект суперсенситизации, когда повышение чувствительности больше, чем суммарный эффект действия каждого из красителей, в некоторых случаях до 10 раз. Область поглощения красителя и эффективность сенситизации зависят также от галогенидного состава микрокристаллов и их структуры.

Свет, поглощенный красителем, образует в нем фотоэлектроны, которые затем переходят в микрокристаллы галогенида серебра. Последующие стадии образования центра скрытого изображения аналогичны прямому действию света на галогенид серебра.

Все фотографические материалы условно можно разделить на следующие классы: 1) синечувствительные (несенсибилизированные); 2) зеленочувствительные (ортохроматические); 3) красночувствительные (панхроматические); 4) равномерночувствительные ко всей видимой области спектра (изопанхроматические); 5) инфрахроматические (чувствительные к невидимому глазом инфракрасному излучению).

Разумеется, панхроматические фотоматериалы чувствительны и к синей и зеленой части спектра, а ортохроматические чувствительны не только к зеленой, но и к синей и желтой областям спектра.

Основная часть кинофотоплёнок спектрально сенситивирована, исключение составляют лишь кинопозитивные, рентгеновские (форматные) и некоторые фототехнические пленки.

Напротив, практически все виды фотобумаг не содержат спектральных сенситизаторов. Фотоластинки, особенно астрономические, выпускаются со всеми перечисленными видами спектральной сенситизации и чувствительны от синей до далекой инфракрасной области спектра.

Сенситометрия. Правильное применение фотографических материалов невозможно без точного определения их общей и спектральной чувствительности. Метод определения фотографических свойств называется *сенситометрией* (от латинского *sensitivus* — чувствительный и греческого *metreo* — измеряю). Наряду с чувствительностью измеряются и другие характеристики — контрастность, фотографическая ширина, вуаль, а также разрешающая способность и зернистость.

Для измерения характеристик фотослоя применяют сенситометры — приборы, позволяющие сообщить фотоматериалу ряд последовательно изменяющихся калиброванных экспозиций. Мы не будем описывать здесь устройство сенситометра, укажем лишь, что это достаточно сложный при-

бор, основу которого составляют высокостабильный источник излучения, затвор и оптический клин, позволяющий изменять освещенность в широких пределах (до 1000 раз).

Сенситометрическое испытание фотоматериала заключается в получении сенситограмм при заданных условиях экспонирования и проявления и построения характеристических кривых, по которым определяют численные значения основных фотографических характеристик.

§ 2.3. ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКАЯ КРИВАЯ

Характеристическая кривая фотографического материала представляет собой зависимость оптических плотностей от логарифмов экспозиции.

На рис. 18 приведена типичная характеристическая кривая фотоматериала. Ее принято делить на несколько участков: *АВ* — начальная часть — область недодержек; *ВВ* — прямолинейная часть — область нормальных экспозиций; *ВГ* — участок передержек; *ГД* — участок соляризации, на котором, несмотря на увеличение экспозиции, наблюдается уменьшение плотности почернения.

Основная часть характеристической кривой *ВВ* — прямолинейная, и здесь приращение оптической плотности пропорционально увеличению логарифма экспозиции. Если оптические плотности самого темного и самого светлого участков изображения находятся на прямолинейном участке характеристической кривой, отношение яркостей объекта съемки будет воспроизведено пропорционально.

По характеристической кривой находят численные значения следующих величин: общей светочувствительности *S* (для разных типов фотоматериалов критерий светочувствительности может быть различным), коэффициента контрастности γ (для всех фотоматериалов), среднего полезного градиента q (для негативных фото- и кинофотоматериалов), минимальной плотности $D_{\min}$ и максимальной плотности $D_{\max}$ (для обращаемых материалов), оптической плотности вуали D_0 (для всех остальных фотоматериалов).

Общая светочувствительность *S* вычисляется по формуле $S = \frac{K}{H_{кр}}$, где $H_{кр}$ — экспозиция, отвечающая оптической плотности почернения, которая для всех фотоматериалов, кроме обращаемых на $K_{кр}$ (критерий светочувствительности), превышает плотность неэкспонированного фотоматериала; *K* — условный коэффициент, значение которого,

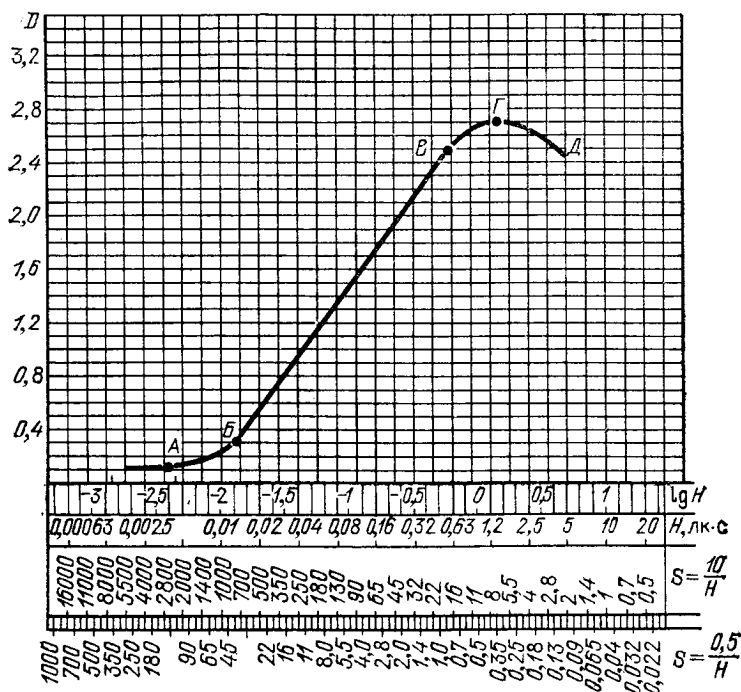


Рис. 18. Характеристическая кривая, построенная на сенситометрическом бланке

так же как и значение $H_{кр}$, приводится в стандартах на методы определения чисел светочувствительности:

для негативных фотопленок
$$S = \frac{0,8}{H_{кр}},$$

для негативных фотопластинок
$$S = \frac{2}{H_{кр}},$$

для негативных кинопленок
$$S = \frac{0,5}{H_{кр}},$$

для обращаемых фотопленок
$$S = \frac{5}{H_{кр}},$$

для позитивных кинопленок и диапозитивных фотопластинок
$$S = \frac{10}{H_{кр}}.$$

Для негативных фотопленок, фотопластинок и кинопленок $D_{кр} = 0,1 + D_0$; для позитивных кинопленок и диапозитивных фотопластинок $D_{кр} = 0,9 + D_0$.

Помимо общей светочувствительности, определяют эффективную светочувствительность при экспонировании фотослоя за желтым, оранжевым или красным светофильтрами.

Коэффициент контрастности — способность фотослоя передавать яркость объекта съемки с тем или иным различием почернений. Он численно равен тангенсу угла наклона прямолинейного участка характеристической кривой к оси логарифмов экспозиций

$$\gamma = \operatorname{tg} \alpha = \frac{D_2 - D_1}{\lg H_2 - \lg H_1}.$$

Укажем для примера, что если коэффициент контрастности равен единице, то интервал логарифмов экспозиций передается такой же разностью плотностей почернения, т. е. изображение точно воспроизводит яркости объекта съемки. В зависимости от вида фотографируемого объекта (туманности, поверхность Луны, звезды и т. д.) выбирают фотоматериал и условия его проявления таким образом, чтобы получить необходимый контраст в изображении объекта.

Средний градиент $\bar{q}$ необходим для нахождения оптимального времени проявления фотослоя. Мерой $\bar{q}$ служит разность плотностей ΔD в двух точках характеристической кривой, отстоящих друг от друга на $\Delta \lg H = 1,3$, из которых меньшая равна $0,1 + D_0$.

Значению среднего полезного градиента $\bar{q} = 0,62$ соответствует рекомендуемая степень проявленности фотоматериала. При этом разность плотностей ΔD составляет $\Delta D = \bar{q} \Delta \lg H = 0,62 \cdot 1,3 \approx 0,8$.

Поскольку сенситометрические показатели зависят от продолжительности проявления, для полной оценки свойств фотоматериала строят кривые кинетики проявления, т. е. зависимости сенситометрических величин от времени проявления.

По кривым кинетики проявления для рекомендуемой степени проявленности находят численные значения числа общей светочувствительности и оптимального времени проявления. Число светочувствительности округляется до ближайшего из следующих чисел: 16; 22; 32; 45; 65; 90; 130; 180; 250; 350; 500; 700 и т. д.

Одной из существенных сенситометрических характеристик является *фотографическая широта*. Ее значение соответствует проекции прямолинейного участка на ось абсцисс (см. рис. 18). Чем больше фотографическая широта,

тем больше допустимый интервал выдержек или значений диафрагм при съемке, т. е. тем больше предел допустимой погрешности при расчете экспозиции. Чем выше контраст фотоматериала, тем меньше фотографическая широта и более вероятна погрешность при неверно определенной экспозиции.

Оптическая плотность вуали D_0 — это разница между средним значением оптической плотности неэкспонированных участков фотослоя и плотностью подложки. Вуаль возрастает при увеличении продолжительности проявления и при хранении фотоматериалов.

В настоящее время существует ряд систем измерения светочувствительности, что осложняет правильное экспонирование фотоматериалов. В связи с этим международная организация по стандартизации предложила создать единую для всех стран систему сенситометрии. Этим рекомендациям практически полностью соответствуют основные системы — американская ASA, система ДИН, принятая в ГДР и ФРГ, и ГОСТ 10691-73 в СССР.

Эти системы сенситометрии предусматривают получение семейства характеристических кривых по сенситограммам, проявленным в течение различного времени.

В системе ASA критерием светочувствительности является оптическая плотность 0,1 над плотностью вуали.

Светочувствительность в единицах ASA рассчитывают по следующей формуле:

$$S = \frac{0,8}{H_{D=0,1+D_0}}.$$

Рассчитанное значение светочувствительности округляют до ближайшего числа геометрической прогрессии со знаменателем 1,26: 4; 6; 8; 10; 12; 16; 20; 25; 32; 40; 64; 80 и т. д.

В отличие от системы ASA, светочувствительность в системе ДИН выражается в логарифмических единицах и вычисляется по формуле

$$S = 10 \lg \frac{1}{H_{D=0,1+D_0}}.$$

В соответствии с этой формулой изменению числа светочувствительности на единицу соответствует изменение экспозиции в 1,26 раза.

Измеренное значение светочувствительности округляется до ближайшего члена ряда чисел 1; 2; 3; 4; 5 и т. д.

Поскольку ГОСТ 10691-73 предусматривает тот же критерий светочувствительности, что и в системах ASA и ДИН, можно дать достаточно точное соотношение между величинами светочувствительности в этих системах (табл. 5).

Таблица 5

Светочувствительность фотоматериалов в различных системах

ГОСТ	ДИН	ASA	ГОСТ	ДИН	ASA
4	8	5	65	20	70
6	9	6	90	21	100
8	10	8	130	23	140
11	12	12	180	24	200
16	13	16	250	25	300
22	15	25	350	27	400
32	16	32	500	28	600
45	18	50	700	30	800
			1000	32	1200

Обычно на упаковке фотоматериала или в инструкции указывают величины чувствительности в двух и более системах измерения светочувствительности.

§ 2.4. СТРУКТУРА ПРОЯВЛЕННОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ

Зернистость фотослоя. Проявленное изображение состоит из зерен металлического серебра, образовавшихся из микрокристаллов галогенида серебра, и имеет вид клубка серебряных нитей. При химическом проявлении размер зерна более чем в 2—2,5 раза превышает размер исходных микрокристаллов. Неоднородность проявленного изображения становится различной при 10—20-кратном увеличении. Чем больше увеличение, тем заметнее становится зернистость, но только при 1000-кратном увеличении различают отдельные зерна. Степень зернистости зависит от типа фотоматериала (чем больше размер микрокристаллов, тем больше зернистость) и от условий химико-фотографической обработки. Этот фактор будет рассмотрен в § 3.3.

Разрешающая способность. Способность фотографического материала раздельно воспроизводить однотипные мелкие детали называется *разрешающей способностью*. Выражают ее обычно максимальным числом

штрихов или промежутков между ними на единицу длины (1 мм), различаемых фотографическим слоем.

Для определения разрешающей способности применяют специальные приборы — резольвометры. В качестве испытательной таблицы применяют миры, состоящие из ряда групп штрихов различной ширины.

Сильно уменьшенное изображение миры экспонируют на светочувствительный слой. Проявленное изображение рассматривают в оптический микроскоп и определяют еще различимую визуально группу штрихов. Количество линий на 1 мм, еще различаемых в этой группе, и является разрешающей способностью фотоматериала.

Разрешающая способность фотоматериала определяется двумя главными факторами:

- 1) размером и однородностью микрокристаллов галогенида серебра: чем меньше размер и чем более однородны микрокристаллы по размеру и чувствительности, тем выше разрешающая способность;

- 2) рассеянием света в эмульсионном слое и его отражением от подложки, уменьшающими разрешающую способность. В сине-фиолетовой и, особенно, в ультрафиолетовой области спектра разрешающая способность выше, чем в видимой области спектра, поскольку коротковолновое излучение интенсивно поглощается и слабо рассеивается в галогениде серебра.

Чтобы значительно уменьшить отражение света от подложки, между ней и эмульсионным слоем помещают окрашенный противоореольный слой, поглощающий свет. Противоореольный слой наносят и на обратную сторону основы. В процессе химико-фотографической обработки противоореольный слой обесцвечивается. Для уменьшения рассеяния и отражения часто используют окрашенную в серый или светлосиний цвет основу.

Ч а с т о т н о - к о н т р а с т н а я х а р а к т е р и с т и к а. Разрешающая способность оценивает способность фотоматериала передавать мельчайшие детали объекта съемки, но по ней нельзя определить качество передачи деталей различного размера. Для этого необходимо знать *частотно-контрастную характеристику (ЧКХ)*, которая позволяет оценить способность фотоматериала воспроизводить детали различного размера и передачу контраста. В ряде публикаций ЧКХ имеет иное наименование — *функция передачи модуляции (ФПМ)*.

Для измерения ЧКХ на светочувствительный слой экспонируют специальные тест-объекты (миры) с известным

распределением освещенностей. Проявленное изображение мира затем измеряют при помощи микрофотометра.

ЧКХ, в отличие от разрешающей способности, не зависит от условий химико-фотографической обработки. Она может быть определена для всех звеньев оптико-фотографической системы — объектива телескопа, процесса проявления, печати и т. д. Суммарная ЧКХ процесса получается перемножением ЧКХ отдельных составляющих.

К в а н т о в а я э ф ф е к т и в н о с т ь д е т е к т и р о в а н и я. В последние годы в астрономии и других областях науки для оценки эффективности регистрации излучения различными приемниками применяется интегральный критерий, учитывающий как чувствительность, так и шумовые характеристики, прежде всего гранулярность фотографического изображения, — *квантовая эффективность детектирования (КЭД)*.

Введение такого критерия позволяет сопоставлять эффективность регистрации одного и того же излучения различными детекторами — электронно-оптическим преобразователем, фотоэлементом, телевизионной камерой, фотографическим слоем.

Величина КЭД обычно выражается в процентах, и для фотографических материалов при действии видимого света максимальное значение не превышает 2—4 %, что, кстати, близко к значениям КЭД человеческого глаза. Водородная гиперсенсibilизация может повысить КЭД до 8 %. Значительно более высокие значения КЭД достигаются при действии на фотослой электронов средних энергий: ~80—90 %. Для повышения КЭД в астрономии применяют электронографические преобразователи изображения, в которых свет, попадающий на фотокатод, преобразуется в электроны с энергией 25—40 килоэлектронвольт. В этом случае один электрон способен сообщить способность к проявлению большому количеству микрокристаллов галогенида серебра. Разумеется, в таких системах можно с успехом применять мелкозернистые фотослои, имеющие низкую гранулярность. Применение электронографических преобразователей изображения в астрономии позволяет наряду с увеличением (более чем на порядок величины) чувствительности системы регистрации одновременно повысить и КЭД. Величина КЭД растет также с величиной γ , поэтому в астрономических наблюдениях, особенно при длительных выдержках, для повышения КЭД следует применять мелкозернистые, с достаточно высокими значениями контрастности фотографические материалы.

§ 2.5. НЕВЗАИМОЗАМЕСТИМОСТЬ

Эффективность образования центров скрытого изображения при поглощении микрокристаллами фотонов света, как правило, зависит от интенсивности излучения и продолжительности его действия на фотослой. Величина плотности почернения при одинаковом количестве освещения может сильно изменяться при различных соотношениях интенсивности излучения E и выдержки t . Оптимальные значения выдержек находятся в интервале $0,1—0,01$ с; при очень коротких, 10^{-3} с, или длительных, ≥ 10 с, выдержках эффективность проявления экспонированных микрокристаллов уменьшается. Из-за того, что в фотографии выдержки могут изменяться от 10^{-9} с до нескольких часов, невязимозаместимость скорее правило, чем исключение. Впервые это заметил астроном Шайнер еще в конце прошлого века; он обнаружил уменьшение чувствительности при низкой освещенности. Подробное исследование этого эффекта, названного позднее *невязимозаместимостью* (НВЗ), было проведено также немецким астрономом К. Шварцшильдом, по имени которого НВЗ при малых освещенностях часто называют *эффектом Шварцшильда*.

Для астрономов-любителей наибольший интерес и практическую значимость представляет НВЗ при длительных выдержках.

На обычных фотоматериалах при часовой выдержке чувствительность может быть ниже, чем указанная на упаковке фотоматериала, в $10—50$ раз. Мы не будем здесь рассматривать причины этого процесса и его механизм, укажем лишь, что вызвано это неэффективностью процесса образования скрытого изображения вследствие распада медленно растущих центров.

Невязимозаместимость выражается в том, что величина экспозиции H , равная произведению освещенности E и выдержки t и необходимая для получения определенной оптической плотности D , зависит от абсолютных величин E и t . Зависимость $\lg H_{D=\text{const}}$ от $\lg t$ или $\lg E$ изображают графически в виде *изоопак* (линий равных плотностей). На рис. 19 приведена типичная изоопака в широком интервале выдержек.

Минимум изоопак, как правило, приходится на выдержки порядка $10^{-1}—10^{-2}$ с; их принято называть *оптимальными выдержками*. При изменении продолжительности экспонирования может изменяться также и коэффициент контрастности.

На величину НВЗ влияет ряд факторов, но главными из них являются свойства эмульсионного слоя. За рубежом и в нашей стране выпускаются специальные астрономические фотоматериалы с малыми отклонениями от закона взаимозаменяемости: фирма Кодак (США) поставляет большое количество фотоматериалов такого типа серий «Ia-O», «IIa-O», «III-aJ», «127-04» и др., предприятие ОРВО (ГДР) — фотопластинки «ZU-1», «ZU-2» и «ZU-21» (последние обладают очень высокой чувствительностью при длительных выдержках). В нашей стране опытный завод Казниитехфотопроект выпускает серию астрономических

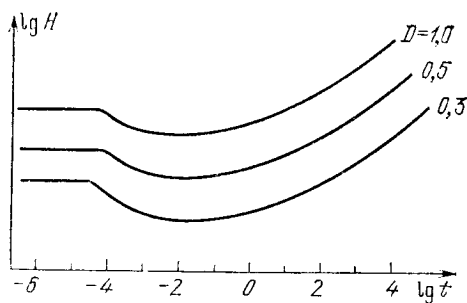


Рис. 19. Изопаки фотографического слоя

фотоплёнок А-500, А-600, А-700. Для некоторых сортов фотоплёнок (в частности А-500Н) предусматривается нагревание фотослоя в течение определенного времени для уменьшения НВЗ.

Невзаимозаменяемость может быть несколько снижена полным (длительным) проявлением фотослоя. Поскольку отдельные стадии образования центров скрытого изображения зависят от температуры, при которой экспонируется фотослой, снижение температуры (что и происходит при астрономических съемках, особенно в зимнее время) уменьшает НВЗ при низких освещенностях. Наиболее эффективный способ повышения чувствительности фотослоя при длительных выдержках — гиперсенсibilизация, а также латенсификация фотографического материала.

Г и п е р с е н с и б и л и з а ц и я и л а т е н с и ф и к а ц и я. Эти два метода достаточно широко применяются в астрономии для повышения чувствительности фотослоя, прежде всего при длительных выдержках. Метод повышения чувствительности фотоматериала перед экспонированием

называется *гиперсенсibilизацией*, а усиление скрытого изображения или повышение его проявляемости после съемки — *латенсификацией*.

В настоящее время существует большое количество самых различных способов гиперсенсibilизации астрономических фотоматериалов, в том числе купание в растворе аммиака, растворе азотно-кислого серебра и перекиси водорода, промывка водой, выдерживание в парах ртути, прогрев фотослоя в атмосфере обычного воздуха и инертных газов, выдерживание фотослоя в газообразном водороде или в смеси водорода с инертными газами.

Обработка в растворах аммиака, выдерживание фотоматериала в парах ртути может повысить исходную чувствительность в три-четыре раза. Однако степень повышения светочувствительности по всей площади может оказаться различной, быстро нарастает вуаль уже после нескольких дней хранения фотоматериала. Поэтому эти методы гиперсенсibilизации имеют в настоящее время ограниченное применение, хотя и позволяют существенно повысить чувствительность низко- и среднечувствительных фотоматериалов.

Промывка в воде и особенно купание фотослоя в водных растворах азотно-кислого серебра широко и успешно применяются для повышения чувствительности инфрахроматических материалов (фотопластинок и фотопленок «И-840», «И-880», «И-920», «И-1070» и т. д.). Благодаря этому способу гиперсенсibilизации чувствительность фотоматериала может увеличиться в несколько раз.

В последние годы в Госниихимфотопроекте разработана высокочувствительная инфрахроматическая фотопленка «И-1060В», обладающая очень высокой чувствительностью к длинноволновой области спектра (с максимумом сенсibilизации 1060 нм) и не требующая гиперсенсibilизации. Ее чувствительность в 10 раз выше чувствительности фотопленки «I-Z» фирмы Кодак (США) после гиперсенсibilизации. В настоящее время эта пленка серийно выпускается Переславским опытным заводом Госниихимфотопроект, г. Переславль-Залесский, Ярославской области.

Для уменьшения отклонений от закона взаимозаменяемости при низких освещенностях применяют уже названные выше прогрев фотоматериалов в контролируемой атмосфере и водородную гиперсенсibilизацию.

Наиболее простым методом гиперсенсibilизации, зачастую дающим хороший эффект, является прогрев фотоматериалов при температуре 50—60 °С в течение одного-трех часов. Для гиперсенсibilизации прогревом можно

использовать обычный лабораторный термостат или сушильный шкаф.

В последние 10—15 лет широкое распространение получил способ повышения чувствительности фотоматериалов, прежде всего для уменьшения НВЗ при низкой освещенности, выдерживанием их в атмосфере газообразного водорода. На широко применяющихся в астрономических наблюдениях фотопластинках «Кодак-IIIa-J» выдерживание в водороде в течение пяти часов при 21 °C повышает чувствительность примерно в 8 раз.

Поскольку гиперсенсibilизация водородом, хотя и технически сложна для реализации в условиях любительской астрономии, но дает недостижимую другими методами степень повышения чувствительности, мы ее кратко опишем. Для проведения гиперсенсibilизации необходимы металлический бокс с вакуумным уплотнением и штуцерами, баллон с водородом или какое-либо устройство для получения водорода (известный из химии аппарат Киппа или электролизер) и вакуумный насос. Если водород подается из баллона, в котором он находится под высоким (~150 атм) давлением, необходим также манометр с редуктором.

Перед гиперсенсibilизацией фотографические материалы освобождаются от упаковки, помещаются в бокс и герметизируются. Затем из бокса откачивают воздух в течение 30—60 мин и впускают газообразный водород. Фотослой выдерживают в водороде 6—12 часов при комнатной температуре.

Разумеется, при работе с водородом следует соблюдать все необходимые предосторожности, поскольку в смеси с кислородом он взрывоопасен. У астрономов-профессионалов долгое время бытовало весьма осторожное отношение к гиперсенсibilизации водородом. Такое отношение к применению водорода в различных областях науки и техники даже имеет название «синдром Гинденбурга» («Гинденбург» — название дирижабля, взорвавшегося в 30-х годах; его оболочка была наполнена газообразным водородом).

В настоящее время практически на всех крупных обсерваториях мира имеются камеры для водородной гиперсенсibilизации. К тому же сейчас все чаще применяют не чистый водород, а его взрывобезопасную смесь с инертным газом, «форминг-газ» — 8 % водорода и 92 % инертного газа или азота. В этом случае продолжительность гиперсенсibilизации для достижения высокой чувствительности возрастает в несколько раз (до трех суток). Для ускорения

процесса фотоматериалы выдерживают при достаточно высокой (50—60 °C) температуре 6—12 часов.

Сохраняемость достигнутых фотографических свойств зависит от типа фотоматериала и условий его хранения после гиперсенсibilизации водородом. В среднем эффект действует две-четыре недели при хранении гиперсенсibilизированных фотоматериалов в холодильнике. Затем чувствительность уменьшается до исходной.

Что касается латенсификации, то обычно применяются два метода — засветка после экспонирования и химическая обработка.

В первом варианте фотоматериал засвечивают светом очень малой интенсивности в течение длительного времени (~1 часа). Интенсивность света должна быть выбрана такой, чтобы плотность вуали после латенсификации возрастала незначительно. По-видимому, при латенсификации увеличиваются размеры центров скрытого изображения и возрастает вероятность их проявления. Наибольший эффект повышения чувствительности, в два-четыре раза, достигается на средне- и низкочувствительных фотоматериалах.

Латенсификация светом обычно малоэффективна для высокочувствительных материалов — она даже может снизить их чувствительность. Напротив, воздействие на фотослой аммиаком, перекисью водорода, парами ртути позволяет повысить чувствительность и высокочувствительных фотоматериалов. К сожалению, эти методы дают плохо воспроизводимые результаты, к тому же уже через несколько дней после латенсификации наблюдается быстрый рост вуали и, как следствие, падение чувствительности.

По этим причинам способы латенсификации в астрономии применяются значительно реже, чем гиперсенсibilизация.

§ 2.6. ФОТОГРАФИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ И ИХ СВОЙСТВА

В настоящее время во всем мире выпускается большое количество черно-белых и цветных фотоматериалов для самых различных целей и с очень широким спектром свойств.

Мы рассмотрим лишь те черно-белые фотоматериалы, которые пригодны для астрономии и, что не менее важно, могут быть доступны астрономам-любителям.

Фотопластинки. В нашей стране фотографические пластинки выпускаются двумя предприятиями — Московским заводом технических фотопластинок (МЗТФ) и Переславским производственным объединением «Славич».

Фотопластинки изготавливают на листовом стекле большого формата, которое разрезают затем на стандартные размеры — 6×9 , 9×12 , 13×18 и более; толщина стекла от 1 до 3 мм в зависимости от типа фотопластинок. Для голографических пластинок толщина стекла достигает 5 мм. Фотостекло для астрономических пластинок должно обладать высокой плоскостностью, не иметь дефектов в виде раковин, царапин.

Перед поливом эмульсии на стекло наносят подслои для удержания эмульсии и ее равномерного растекания по поверхности.

Для предотвращения образования ореолов отражения на обратную сторону некоторых типов фотопластинок наносят противоореольный слой (оранжевого, темно-красного или

Т а б л и ц а 6

Сенситометрические характеристики фотопластинок

Сенситометрические показатели	«Фото-65»	«Фото-90»	«Фото-130»	«Фото-180»	«Фото-250»
Светочувствительность $S_{0,1}$, ед. ГОСТ	65	90	130	180	250
Коэффициент контрастности γ пластинок нормальных контрастных	1,3 1,7	1,3 1,7	1,3 1,7	1,3 1,7	1,3 1,7
Оптическая плотность вуали D_0	0,12	0,12	0,13	0,14	0,14
Разрешающая способность R , лин/мм	70	65	65	60	60
Фотографическая широта L	1,2	1,2	0,9	0,9	0,9
Сенситометрические показатели	Репродукционные пластинки				
	полутонные		штриховые		
	норм.	контр.	особо-контр.	сверх-контр.	контр.
Светочувствительность $S_{0,9}$, ед. ГОСТ	8—16	8—16	5,5—11	5,5—11	5,5—11
Коэффициент контрастности γ пластинок нормальных контрастных	1,3 1,6	1,7 2,0	3,0 3,5	4,0 4,5	4,5 5,0
Оптическая плотность вуали D_0	0,10	0,10	0,09	0,09	0,012
Разрешающая способность R , лин/мм	80	80	120	120	120

темно-зеленого цвета), который обесцвечивается при химико-фотографической обработке.

Фотографические свойства ряда фотопластинок, выпускаемых МЗТФ, приведены в табл. 6.

К сожалению, среди них нет ни одного сорта, который бы в полной мере отвечал определению «астрономические фотопластины».

В 12-й пятилетке производство астрономических фотопластинок будет организовано на ППО «Славич».

Репродукционные и штриховые фотопластины спектрально не сенсibilизированы, и их можно проявлять при

Таблица 7

Сенситометрические характеристики черно-белых фотоматериалов

Сенситометрические показатели	Фотопленки			
	«Фото-32»	«Фото-65»	«Фото-130»	«Фото-250»
Светочувствительность S , ед. ГОСТ	32	65	130	250
Коэффициент контрастности γ : рекомендуемый	0,8	0,8	0,8	0,8
максимальный	1,0—1,4	1,0—1,4	1,0—1,4	1,0—1,4
Оптическая плотность вуали D_0 , не более	0,10	0,15	0,25	0,3
Разрешающая способность R , лин/мм	135	110	100	82
Фотографическая широта L	1,5	1,5	1,5	1,5

Сенситометрические показатели	Кинопленки						
	«КН-1»	«КН-2»	«КН-3»	«НК-1»	«НК-2»	«НК-3»	«НК-4»
Светочувствительность S , ед. ГОСТ	11	32	90	32	90	250	350—500
Коэффициент контрастности γ : рекомендуемый	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65
максимальный	—	—	—	—	—	—	—
Оптическая плотность вуали D_0 , не более	0,1	0,15	0,20	0,06	0,10	0,12	0,20
Разрешающая способность R , лин/мм	135	100	78	120	110	90	75
Фотографическая широта L	—	—	—	—	—	—	—

Таблица 8

Сенситометрические характеристики астрономических фотопленок

Сенситометрические показатели	Тип фотоматериала				
	«А-500У»	«А-600У»	«А-700У»	«А-500РП»	«А-550РП»
Светочувствительность S , ед. ГОСТ, не менее	32	45	65	10	10
Коэффициент контрастности γ , не менее	1,5	1,5	1,5	4	3,5
Оптическая плотность вуали D_0 , не более	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Разрешающая способность	63	63	63	140	155

Сенситометрические показатели	Тип фотоматериала			
	«А-600РП»	«А-700РП»	«А-500Н»	«А-600Н»
Светочувствительность S , ед. ГОСТ, не менее	12	22	32	40
Коэффициент контрастности γ , не менее	3,5	4	1,5	1,5
Оптическая плотность вуали D_0 , не более	0,2	0,2	0,26	0,26
Разрешающая способность	140	155	75	75

неактивным (темно-красном или желто-зеленом) освещении. Напротив, фотопластинки серии «Фото» целесообразно проявлять в полной темноте, чтобы избежать возможной засветки при обработке.

Фотопленки. Отечественная фотопромышленность выпускает большое количество различных видов кино- и фотопленок. Мы опишем лишь те, которые пригодны и доступны астрономам-любителям. Кинопленки типа КН и НК предназначены для различных видов кинематографических съемок, фотопленки «Фото-32, 65» и т. д. предназначены для художественной, репортажной и любительской фотографии, фототехнические пленки — для репродукционных работ в полиграфической промышленности.

В табл. 7 приведены свойства фото- и кинопленок, а в табл. 8 характеристики астрономических фотопленок, выпускаемых опытным заводом Казниитехфотопроект. Кроме того, на рис. 20 приведены кривые спектральной чувствительности, а на рис. 21 изоопакти астрономических фотопленок.

Упомянем также фототехнические пленки, предназначенные в основном для репродукционных работ в полиграфической промышленности — «ФТ-11», «ФТ-12», «ФТ-30», «ФТ-101» и др., отличающиеся различной чувствительностью и коэффициентом контрастности, а также инфрахроматические фотопленки «И-810», «И-920», «И-1030», «И-1070» (число означает максимум спектральной сенсibilизации в нанометрах). Эти пленки выпускаются опытным заводом Казниитехфотопроект. Переславский опытный завод выпускает высокочувствительную фотопленку «И-1060В», а также фотопленку «И-3» с зоной спектральной сенсibilизации вплоть до 1315 нм. Фотопленка «И-1060В» чувствительнее аналогичных фотопленок зарубежных фирм примерно в 10 раз, а фотопленка «И-3» не имеет аналогов за рубежом. Инфрахроматические фотопленки следует хранить в холодильнике, а длинноволновые «И-1060В», «И-1070» и особенно «И-3» — в морозильной камере при температуре минус 3—10 °С.

Фотографические бумаги. В настоящее время выпускается большое количество черно-белых и цветных фотобумаг. Их классифицируют следующим образом:

по способу применения — фотобумаги без проявления (для видимой печати) и с фотографической обработкой;

по свойствам поверхности — гладкие: глянцевые и матовые; структурные, с шероховатой поверхностью: бархатистые, зернистые тисненые и т. д.;

по плотности подложки — обыкновенные и картон;

по цвету подложки — белые и окрашенные (розоватого или кремового цвета);

по контрастности — мягкие, полумягкие, нормальные, контрастные и особоконтрастные;

по назначению — общего назначения и технические.

Здесь мы рассмотрим лишь бумаги общего назначения, обычно применяющиеся в любительской фотографии.

«Унибром» — самый массовый сорт — универсальная фотобумага наиболее светочувствительная для контактной и проекционной печати, мягкая, полумягкая, нормальная, контрастная и особоконтрастная, с глянцевой, матовой и тисненой поверхностью.

«Бромпортрет» — для художественной фотографии, в основном для портретных и пейзажных съемок. Дает большие плотности почернений, выпускается нормальной и контрастной градаций.

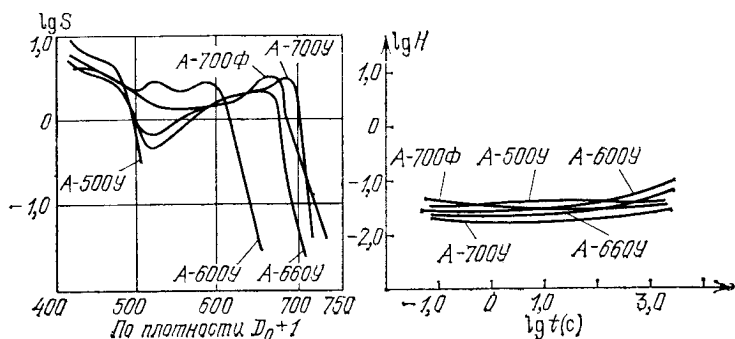


Рис. 20. Кривые спектральной чувствительности и изопаки астрономических пленок А-500У, А-600У, А-700У, А-700Ф

«Фотобром» — также для художественной фотографии. Эта фотобумага при проявлении дает изображение несколько более темного тона, чем «Унибром», для нее характерен сильный глянец и большие максимальные плотности.

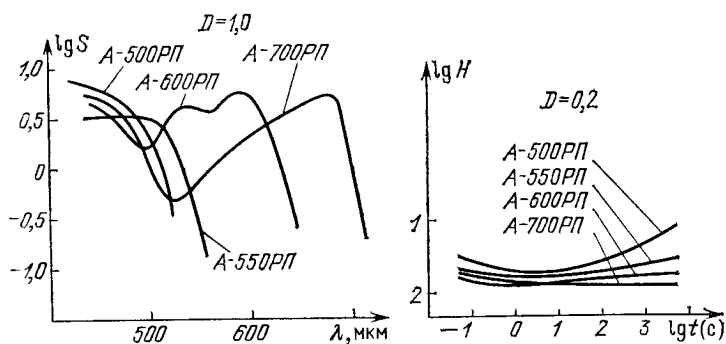


Рис. 21. Кривые спектральной чувствительности и изопаки астрономических пленок А-500РП, А-550РП, А-600РП, А-700РП

«Контабром» — контрастная, средней чувствительности, предназначена в основном для контактной печати. В зависимости от условий проявления цвет изображения от темно-коричневого до красно-оранжевого. Фотобумага имеет достаточно большую широту, хорошо передает мелкие детали изображения.

«Новобром» — обладает большой фотографической широтой, благодаря чему возможны значительные отклонения в экспозиции, хорошо передает мелкие детали.

«Фотоконт» — фотографическая бумага средней чувствительности и высокой детализирующей способности, дает большие плотности почернения.

«Иодоконт» — низкочувствительная фотобумага, дает изображение зеленоватого цвета.

Для обработки фотобумаг рекомендуются следующие растворы:

Проявитель

Метол	1 г
Сульфит натрия безводный	26 г
Гидрохинон	5 г
Натрий углекислый, безводный	20 г
Калий бромистый	1 г
Вода	до 1 л

Останавливающий раствор (стоп-ванна)

Кислота уксусная (28 %-ный водный раствор)	50 мл
Вода	до 1 л

Фиксирующий раствор

Тиосульфат натрия кристаллический	250 г
Калий пир сернистокислый	25 г
Вода	до 1 л

Для придания отпечаткам на глянцевой бумаге повышенного блеска их обычно прикатывают к зеркальной поверхности или применяют электроглянцеватели. Перед прикаткой к стеклу снимки следует размочить в теплой воде и обработать 10 %-ным раствором соды.

Для получения хорошего качества глянцевой поверхности при использовании электроглянцевателей следует применять дубящий кислый фиксаж.

Состав фиксажа

Тиосульфат натрия, кристаллический	240 г
Сульфит натрия безводный	15 г
Кислота уксусная (28 %-ный водный раствор)	50 мл
Квасцы алюмокалиевые	15 г
Вода	до 1 л

В табл. 9 приведены режимы и последовательность операции химико-фотографической обработки фотобумаг.

Первые четыре стадии проводят при неактивном (оранжево-красном или желто-зеленом) освещении.

Таблица 9

Обработка фотобумаг

Последовательность операций	Продолжительность обработки, мин	Температура растворов, °С	Последовательность операций	Продолжительность обработки, мин	Температура растворов, °С
Проявление	2	$20 \pm 0,5$	Фиксирование	10—15	20 ± 5
Стоп-ванна	0,2	20 ± 2	Промывка	20—30	15 ± 5
Промывка	1—2	15 ± 5	Сушка	50—60	35 ± 5

Цветные фотобумаги. Отечественная промышленность выпускает цветные фотобумаги следующих типов: «Фотоцвет-2» и «Фотоцвет-4».

Бумага «Фотоцвет-2» предназначена для получения позитивных отпечатков с негативов на цветных фотопленках без маскирующих компонент. При печати с негативов на цветных фотопленках с маскирующими компонентами следует увеличивать плотность корректирующих фильтров, прежде всего голубого.

Бумага «Фотоцвет-4» предназначена для печати с негативов маскированных цветных киноплёнок.

В продажу поступают также цветные фотобумаги, выпускаемые фотохимическими предприятиями ВНР и ЧССР.

Хорошее цветовоспроизведение достигается при печати с правильно экспонированных и проявленных негативов с применением корректирующих светофильтров.

Режим проявления и составы обрабатывающих растворов следует еще более строго соблюдать, чем при обработке черно-белых фотобумаг, поскольку даже небольшие отклонения могут исказить цветопередачу.

Цветные негативные и обращаемые фотопленки. В настоящее время черно-белая фотография вытесняется цветной фотографией, и за последние годы разработано очень большое количество новых видов цветных фотоматериалов с высокой (до 1600 ASA) чувствительностью и улучшенными структурометрическими характеристиками.

В астрономических наблюдениях преимущественно применяются черно-белые фотоматериалы, однако и здесь возрастает удельный вес цветной фотографии. Появляются публикации о гиперсенсibilизации (в частности, водоро-

дом и форминг-газом) цветных фотопленок для уменьшения НВЗ при длительных выдержках.

Нет сомнения в том, что и в дальнейшем роль цветной фотографии в астрономических съемках будет увеличиваться.

Практически во всех цветных фотографических материалах цветное изображение строится из трех субтрактивных («вычитательных») цветов — желтого, пурпурного и голубого. Эти цвета являются дополнительными к основным — синему, зеленому и красному.

Чтобы получить хорошую цветопередачу, необходимы минимум три светочувствительных слоя: сине-, зелено- и красночувствительный. Современные цветные фотопленки имеют суммарную толщину 20—25 мкм и состоят из 14—16 слоев, а отдельные светочувствительные слои состоят из двух или даже трех частичных слоев. Кроме них имеются специальные вспомогательные слои.

На рис. 22 приведен электронно-микроскопический снимок вертикального среза высокочувствительной цветной негативной фотопленки «Кодаколор» VR-1000. Верхний, синечувствительный слой состоит из микрокристаллов сферической формы, а зелено- и красночувствительные слои содержат плоские микрокристаллы большого (6—10 мкм) размера, а также мелкодисперсные микрокристаллы.

Мы рассмотрим лишь основные слои, определяющие образование цвета. В каждый из них помимо сенситизаторов, очувствляющих слой к различным участкам спектра, вводятся цветообразующие вещества — компоненты. В процессе проявления компоненты реагируют с окисленной формой проявляющего вещества и образуют красители соответствующих цветов.

Верхний слой синечувствительный, поэтому спектральный сенситизатор в него обычно не вводят, поскольку галогенид серебра сам поглощает в этой части (400—500 нм) спектра. В этот слой вводят «желтую» компоненту, дающую при проявлении желтое изображение.

Средний, зеленочувствительный слой очувствлен к излучению 500—600 нм и в него вводят пурпурную компоненту.

Нижний, красночувствительный слой очувствлен к излучению 600—700 нм и в него вводят голубую компоненту.

Порядок расположения слоев может быть и другим. Мы же, объясняя основные принципы образования цветного изображения, будем исходить из указанного расположения.

Для получения правильного цветовоспроизведения каждый краситель должен точно поглощать излучение в одной трети спектра и быть прозрачным в двух других. Желтый краситель должен поглощать световые волны только в синем диапазоне спектра и пропускать в красной и зеленой области, пурпурный краситель должен поглощать только



Рис. 22. Электронно-микроскопический снимок вертикального среза цветной фотопленки «Кодаколор» VR-1000

в зеленом диапазоне, а голубой только в красном. Но таких идеальных красителей нет; все красители поглощают излучение и в других областях спектра.

Для исправления этого недостатка применяют метод внутреннего маскирования — вводят маскирующие компоненты или окрашивают сами компоненты. Например, компонента зеленочувствительного слоя окрашена в желтый цвет, а красночувствительного — в оранжевый.

В табл. 10 приведены основные характеристики отечественных цветных фото- и киноплёнок.

Фотоплёнки «ДС-4», «ДС-5» и «ЦНД» предназначены для съёмок при дневном свете; «ЛН-7», «ЛН-8» и плёнки типа «ЦНЛ» — для искусственного освещения.

В продажу поступают также зарубежные цветные фотоплёнки, в основном из ГДР: фотоплёнки предприятия ОРВО — негативные «НС-19», а также обрабатываемые фотоплёнки серии «УТ» чувствительностью 16, 18, 21 и 23 ДИН, предназначенные для съёмок при дневном свете, а также фотоплёнки «УК-18» для ламп накаливания.

§ 2.7. ХРАНЕНИЕ ФОТОМАТЕРИАЛОВ И НЕГАТИВОВ

Свойства фотоматериалов не являются постоянными. В процессе хранения снижается светочувствительность, изменяется значение коэффициента контрастности, возрастает оптическая плотность вуали. У цветных фотоплёнок, кроме того, изменяется соотношение чувствительности и контрастности слоёв, так называемый цветовой баланс.

Степень изменения фотосвойств зависит от типа фотоматериала и условий хранения, главным образом от температуры и влажности окружающего воздуха. Оптимальным для астрономов-любителей является хранение фотоматериалов в холодильнике при температуре 3—5 °С во влагонепроницаемой упаковке.

Перед съёмкой фотоматериалы необходимо выдержать 1—2 часа в первичной упаковке при той же температуре, при которой их будут использовать. Если же фотоматериалы, взятые из холодильника, сразу раскрыть в помещении с комнатной температурой, то на них появится влага, что может привести к слипанию плёнок в рулоне или пластинок в коробке и возникновению пятен на светочувствительном слое.

Проявленные фотоплёнки и фотопластинки желательно хранить в сухом прохладном помещении. Особое значение для сохранения проявленного изображения имеет тщательная промывка фотоматериалов после фиксирования. Оставшийся в слое тиосульфат натрия или образовавшиеся в процессе фиксирования комплексы тиосульфата реагируют в процессе хранения с серебром изображения. В результате изображение приобретает коричневую окраску и покрывается пятнами.

Цветное изображение сохраняется значительно хуже, чем черно-белое, поскольку в процессе хранения происходит

Фотографические характеристики цветных кинофотопленок

Сенситометрические показатели	Негативные фотопленки					Негативные кинопленки			Обращаемые фотопленки		
	«ДС-4»	«ЦНД-32»	«ЦНЛ-32»	«ЦНЛ-63»	«ЦНЛ-90»	«ДС-3М»	«ЛН-7»	«ЛН-8»	«ЦО-22»	«ЦО-33Д»	«ЦО-63»
Общая светочувствительность, ед. ГОСТ	24	32	32	65	90	22	65	100	22	32	65
Коэффициент контрастности *) γ	0,7— 0,85	0,7± 0,1	0,7± 0,1	0,7±0,1	0,65± 0,05	0,6±0,1	0,6±0,05	0,6± 0,05	1,8— 2,2	1,8—2,2	1,8—2,2
Фотографическая широта L^{**})	1,2	0,9	0,9	1,2	1,3	1,05	1,5	1,5	1,2	1,2	1,2
Общая разрешающая способность R	63	58	58	63	63	58	63	70	70	53	68

*) Всех слоев; коэффициенты контрастности отдельных слоев могут различаться не более чем на 0,1—0,15.

**) Для обращаемых фотопленок вместо фотографической широты применяется показатель «полезный интервал экспозиции».

разложение красителей. Предотвратить этот процесс нельзя, но его можно существенно замедлить. Для этого надо хранить цветные материалы при температуре 5—8 °С и относительной влажности 20—30 %.

Фотопластинки следует хранить в конвертах из кальки или прозрачной бумаги и складывать в коробки, разделив их узкими бумажными прокладками, надеваемыми на края фотопластинок. Коробки должны стоять на ребре, лучше их укладывать в ящики типа тех, которые применяются в библиотечных картотеках.

Плоские фотопленки хранят в конвертах, рулонные нужно разрезать на отрезки длиной в несколько кадров, завернув их в кальку или просто в белую бумагу.

Как в профессиональной астрономии, так и в любительской следует иметь каталог всех снимков, в который должны быть внесены время фотографирования, тип фотоматериала, продолжительность выдержки, условия проявления.

Фотоснимки нужно хранить в конвертах или коробках, в которых они были первоначально упакованы, или в альбоме. На них следует указать увеличение при печати.

ЛАБОРАТОРНАЯ ОБРАБОТКА
ФОТОМАТЕРИАЛОВ

§ 3.1. ХИМИКО-ФОТОГРАФИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА

Скрытое изображение, возникшее в микрокристаллах галогенида серебра при действии света, становится видимым в результате действия проявителя. Степень усиления действия света при проявлении очень велика — примерно миллиард раз. Действительно, достаточно попадания в микрокристалл трех-четырех фотонов света и образования центра скрытого изображения, состоящего из такого же количества атомов серебра, чтобы кристалл стал проявляемым и после проявления зерно стало состоять из 10^9 атомов серебра.

Существуют два вида проявления — химическое и физическое. В любительской практике физическое проявление обычно не применяется из-за ряда существенных недостатков — низкой (примерно в 10 раз по сравнению с химическим проявлением) чувствительности, плохой сохраняемости растворов и длительности процесса. Единственное достоинство этого метода проявления — очень мелкозернистое изображение, поскольку размер и форма микрокристаллов после проявления практически не изменяются.

Процесс химического проявления представляет собой восстановление ионов серебра, входящих в состав кристаллической решетки, до металлического серебра. Ионы проявляющего вещества подходят к центрам скрытого изображения и передают им электроны, которые восстанавливают ионы серебра сначала на поверхности кристалла, а затем и во всем его объеме. После проявления микрокристалл представляет собой бесформенный клубок серебряных нитей. Диаметр их 15—25 нм, а длина несколько сотен нанометров. Начальный линейный размер микрокристаллов увеличивается в 2—2,5 раза.

Для того чтобы микрокристалл полностью проявился, достаточно одного центра проявления, вообще же число центров проявления мало. Реакция проявления эмульсион-

ного зерна имеет автокаталитический характер, т. е. скорость проявления непрерывно возрастает до полного проявления зерна. Происходит это потому, что серебро центров скрытого изображения является катализатором процесса проявления; поскольку по мере проявления зерна выделяются новые порции серебра, количество катализатора увеличивается и скорость проявления растет.

Стадия проявления фотографического материала в значительной степени определяет свойства изображения, поэтому ниже подробно рассмотрены основные компоненты проявителей и их назначение, приведена рецептура проявляющих растворов.

§ 3.2. ОСНОВНЫЕ КОМПОНЕНТЫ ПРОЯВИТЕЛЕЙ И ИХ НАЗНАЧЕНИЕ

Рецептура современных проявителей многообразна. В состав проявителя входят следующие вещества: проявляющие, сохраняющие (препятствующие окислению кислородом воздуха проявляющих веществ), щелочь, антиуалирующие соединения. В некоторых случаях в проявитель вводят растворители галогенида серебра, смачиватели, водоумягчающие средства.

При составлении проявителей в основном применяют растворы твердых веществ в воде. Для сокращения времени растворения химикатов воду подогревают до температуры 35—40 °С. Последовательность растворения веществ обычно указывается в рецептах. Для приготовления проявителей применяют дистиллированную, кипяченую или очищенную водопроводную воду. Если вода жесткая (а это означает, что она содержит ионы магния, кальция и др.) в проявитель вводят водоумягчающие вещества трилон А (натриевая соль нитрилотриуксусной кислоты) и трилон Б (динатриевая соль этилендиаминотетрауксусной кислоты), метафосфат натрия (NaPO_3). Эти вещества образуют с примесями легко растворимые в воде комплексные соединения.

По степени чистоты химикаты имеют следующие квалификации: технические, чистые (Ч), чистые для анализа (ЧДА), химически чистые (ХЧ) и особочистые (ОСЧ). Для целей фотографии некоторые химикаты выпускают марки «Фото». Для фотолабораторных работ достаточно, чтобы химикаты были «чистые» или с маркой «Фото».

Рассмотрим основные виды веществ, входящих в состав проявителя.

Проявляющие вещества предназначены для восстановления экспонированных микрокристаллов галогенида серебра до металлического серебра. При этом проявляющее вещество должно иметь высокую избирательность, т. е. не восстанавливать в течение длительного времени неэкспонированные микрокристаллы. Все проявляющие вещества делят на две группы — неорганические и органические.

Неорганические проявляющие вещества — гидразин, соли двухвалентного железа и ванадия, трехвалентного титана, гидросиламин и др. Из-за плохой сохраняемости и нестабильности свойств эти вещества в фотолабораторной практике применяются очень редко.

Обычно применяют *органические* проявляющие вещества, являющиеся производными бензола (C_6H_6) — гидрохинон, метол, парафенилендиамин, парааминофенол, глицин или пиразолидона — фенидон, метилфенидон.

Гидрохинон — энергично проявляющее вещество; обычно применяется в сочетании с метолом или фенидоном. Скорость проявления зависит от pH раствора (см. ниже) и концентрации бромида. Дает контрастное изображение с малой вуалью.

Метол проявляет быстро; изображение малоконтрастное с хорошей проработкой теней и малыми плотностями в светах; вуаль значительная.

Амидол — одно из наиболее энергично восстанавливающих веществ даже в кислой среде и может применяться без ускоряющего вещества. Быстро окисляется в растворе, поэтому сохраняемость проявителя несколько часов.

Парааминофенол — мягко проявляющее вещество, дает низкие плотности вуали.

Парафенилендиамин — медленно проявляющее вещество, дает мелкозернистое изображение.

Фенидон — энергично проявляющее вещество, обычно применяется вместо метола в метол-гидрохиноновых проявителях в количествах, в 5—10 раз меньших. Проявители, содержащие фенидон, обладают хорошей сохраняемостью.

Метилфенидон — по проявляющим свойствам близок к фенидону, однако более устойчив в щелочных растворах.

С о х р а н я ю щ и е в е щ е с т в а. В водном растворе (особенно в присутствии щелочи) проявляющее вещество окисляется и теряет восстановительную способность. Для предотвращения этого процесса в проявитель вводят консервирующие вещества — сульфит натрия безводный (Na_2SO_3) или кристаллический ($Na_2SO_3 \cdot 7H_2O$), метабиф-

сульфит калия ($K_2S_2O_5$), бисульфит натрия ($NaHSO_3$) и др. Сульфит натрия не только консервирует раствор проявителя, но и способствует мелкозернистому проявлению.

Ускорители проявления. В этом качестве применяются следующие вещества: едкие щелочи — едкий натр ($NaOH$) и едкое кали (KOH), кислые щелочи — углекислый натрий, или сода безводная (кальцинированная) (Na_2CO_3) или сода кристаллическая ($Na_2CO_3 \cdot 10H_2O$), бора — тетраборнокислый натрий ($Na_2B_4O_7$), метаборат натрия ($NaBO_2$).

Ускоряющие вещества поддерживают определенную щелочность раствора, благодаря чему обеспечивается необходимая концентрация активной формы проявляющего вещества. Кроме того, ускорители проявления нейтрализуют образующуюся при проявлении бромистоводородную кислоту, которая тормозит восстановление галогенида серебра.

Основная роль щелочи в проявляющем растворе сводится к созданию определенной концентрации водородных ионов. Кислотные и основные свойства растворов характеризуются концентрацией ионов водорода $[H^+]$ в растворе. Поскольку ионное произведение воды $[H^+] \cdot [OH^-] = k_w$ при данной температуре постоянно, а $[H^+]$ и $[OH^-]$ — величины переменные, по значению $[H^+]$ или $[OH^-]$ можно судить о степени кислотности и щелочности раствора. Ионное произведение воды $k_w = 1 \cdot 10^{-14}$, поэтому в нейтральном водном растворе значение $[H^+]$ равно 10^{-7} г-ион/л, в кислотном $[H^+] > 10^{-7}$, а в щелочном $[H^+] < 10^{-7}$ г-ион/л.

Кислотность и щелочность раствора обычно выражают десятичным логарифмом концентрации ионов водорода $[H^+]$, взятым с обратным знаком, обозначают рН ($pH = -\lg[H^+]$) и называют *водородным показателем*.

В нейтральном растворе $pH = 7$, в кислотном $pH < 7$, в щелочном $pH > 7$. Для измерения значения рН применяют различные методы: качественные — с применением специальных реактивов, изменяющих окраску в зависимости от рН раствора, и количественные — при помощи специальных приборов, рН-метров.

Антивуализующие вещества. Для предотвращения образования вуали (восстановления неэкспонированных микрокристаллов) в состав проявителя вводят бромистый калий или другие противовуализующие вещества. Они резко снижают скорость роста вуали и в значительно меньшей степени скорость проявления изображения. Особенно эффективны бензотриазол и 6-нитробензимидазол. Обычно их применяют в сочетании с бромистым калием.

Специальные добавки. Наряду с основными компонентами в состав проявителя вводят различные соединения, которые могут изменить эффективность действия проявителя, его сохраняемость.

Для ускорения процесса проявления и повышения светочувствительности в проявитель вводят активаторы проявления — гидразин, полиэтиленгликоли (полиокс-100), 1-парааминофенил-3-аминопиразолин (АП-3), повышающие скорость проявления или светочувствительность на 30—40 %. Следует указать, что в большинстве случаев при этом наблюдается ускоренный рост плотности вуали или уменьшение разрешающей способности.

Для увеличения срока действия амидолового, глицинового и пирогаллолового проявителей в них вводят молочную кислоту. Для проявления при повышенной температуре в проявитель добавляют вещества, снижающие набухание эмульсионного слоя, — сернокислый натрий (50—150 г/л), этиловый спирт (30—60 мл/л), алюмокалиевые или хромокалиевые квасцы (10—30 г/л).

Для смягчения жесткости воды в проявитель вводят динатриевую соль этилендиаминотетрауксусной кислоты (1,0—2,0 г/л), трехзамещенный фосфат натрия или метафосфат натрия.

Фиксирующие и вспомогательные растворы. Для того чтобы изображение долго хранилось и не изменяло своих свойств во времени, процесс фиксирования должен обеспечить полное удаление находящегося в эмульсионном слое невосстановленного галогенида серебра. Наиболее часто для растворения серебра используется тиосульфат натрия $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ (техническое название — гипосульфит). В ряде случаев для растворения галогенида серебра применяют и другие вещества — тиомочевину, роданистый аммоний, различные цианиды.

Помимо тиосульфата в фиксаж вводят сульфит, кислоту, соль, дубитель и т. д. Как и при растворении проявителя, при приготовлении фиксажа вещества следует растворять в последовательности, указанной в рецепте. Первым растворяют тиосульфат, затем сульфит, кислоту, дубитель и т. д. Кислоту и квасцы вводят медленно при непрерывном перемешивании раствора.

Отличительные особенности проявителей

Основными характеристиками проявителя являются: значение достигаемой светочувствительности, максимальный коэффициент контрастности, избирательность действия

и связанная с нею способность к вуалированию, зернистость изображения, сохраняемость и истощаемость.

Светочувствительность фотоматериала определяется по различным критериальным плотностям ($D=0,1; 0,2; 0,85$ и т. д.), и ее значение зависит от рекомендуемого значения коэффициента контрастности и в определенной степени от типа проявителя и его состава.

Максимальное значение коэффициента контрастности в обычных проявителях (исключение составляют лишь лит-проявители, применяемые в полиграфии и литографии) практически не зависит от состава раствора.

В контрастных и универсальных проявителях максимальный контраст достигается быстрее, чем в мягкорботающих проявителях, но и в последних те же значения γ могут быть достигнуты при длительном проявлении.

В фотографической практике редко проявляют фотослой в течение длительного времени, поскольку при этом увеличение чувствительности практически не происходит, возрастает лишь оптическая плотность вуали. Поэтому для получения контрастного изображения и применяют энергично работающие проявители. Это находится в хорошем соответствии с физическим смыслом коэффициента контрастности, являющегося мерой однородности микрокристаллов по чувствительности.

В лит-проявителях, применяемых в полиграфии, очень высокие (до 10—12) значения коэффициента контрастности достигают за счет инфекционного проявления, когда проявляются микрокристаллы, расположенные рядом с экспонированными. Для этого применяют бессульфитные или с очень малым содержанием сульфита проявители, содержащие формальдегид или ацетон.

Избирательность действия. Одно из основных требований к проявляющим растворам — они не должны вуалировать фотослой, т. е. скорость проявления экспонированных микрокристаллов должна быть значительно больше, чем скорость проявления неэкспонированных. Это свойство проявляющих растворов характеризуют степенью избирательного действия u ,

$$u = k \frac{v_n}{v_b},$$

где k — условный коэффициент, обычно равный 100, v_n и v_b — скорости проявления соответственно изображения и вуали.

Избирательное действие тесно связано с наличием в микрокристаллах центров проявления, являющихся катализаторами процесса проявления.

Заметная неоднородность почернения называется *зернистостью*. Чем больше увеличение, тем заметнее становится зернистость, которая весьма существенно зависит от состава проявляющих растворов и температуры проявления. Она может быть существенно уменьшена введением в проявитель веществ, растворяющих галогенид серебра — роданистого калия, увеличенного количества сульфита натрия, являющегося слабым растворителем галогенида серебра, или применением парафенилендиаминовых проявителей, также обладающих способностью частично растворять галогенид серебра. Мелкозернистое изображение получается при проявлении негатива до малых (0,5—0,7) значений коэффициента контрастности.

Как уже указывалось выше, очень мелкое зерно можно получить при физическом проявлении, когда серебро изображения образуется за счет ионов серебра, находящихся в проявителе. При этом ионы серебра восстанавливаются на центрах скрытого изображения.

Сохраняемость и истощаемость проявляющих растворов зависят от вида применяемого проявляющего вещества, количества сульфита натрия в растворе, концентрации активизирующих веществ, значения pH. Наибольшей стабильностью и хорошей сохраняемостью обладают универсальные и контрастно работающие проявители с высоким (10—11) значением pH.

Напротив, слабощелочные мелкозернистые проявители менее стабильны, поскольку очень чувствительны к снижению pH и накоплению бромидов при проявлении. Для увеличения срока пригодности проявителя в него вводят подкрепляющие добавки в процессе проявления. Рецептура добавок и условия их применения описаны в фоторецептурных справочниках.

Проявляющие растворы следует хранить в заполненной доверху стеклянной посуде. Пластмассовые емкости для хранения проявителей не рекомендуются, поскольку некоторые пластмассы могут поглощать химические соединения, что может привести к изменению состава раствора.

Перед применением или хранением проявитель следует профильтровать через марлю, вату или фильтровальную бумагу.

Мелкозернистые проявители

Проявитель № 2 (ГОСТ 10691.2-73, «Агфа-12»)

Метол	8 г
Сульфит натрия безводный	125 г
Натрий углекислый (сода) безводный	5,75 г
Калий бромистый	2,5 г
Вода	до 1000 мл

Проявитель применяется при сенситометрических испытаниях любительских и фотографических фотопленок.

Продолжительность проявления фотопленок «Фото-32» и «Фото-65» 4—10 мин, «Фото-130» и «Фото-250» 6—14 мин, фототехнических фотопленок ФТ-10, ФТ-11 6—12 мин. Проявитель мало истощается и хорошо сохраняется.

Проявитель № 5 (ГОСТ 10691.3-73)

Метол	1,6 г
Сульфит натрия безводный	2 г
Натрий тетраборнокислый (бура)	2 г
Калий бромистый	0,4 г
Вода	до 1000 мл

Этот проявитель предназначен для проявления негативных кинопленок. Продолжительность проявления пленок типа «КН» 7—13 мин, пленок «НК-1», «НК-2» и «НК-3» 4—8 мин, «НК-4» 8—12 мин.

Проявитель «ДК-23»

Метол	7,5 г
Сульфит натрия безводный	100 г
Вода	до 1000 мл

Самый простой по составу проявитель предназначен для негативных фотоматериалов, дает мало контрастное изображение. Продолжительность проявления 12—18 мин. Проявитель очень хорошо хранится.

Проявитель «D-76»

Метол	2 г
Сульфит натрия безводный	100 г
Гидрохинон	5 г
Натрий тетраборнокислый (бура)	2 г
Вода	до 1000 мл

(наиболее часто применяемый за рубежом мелкозернистый проявитель).

Продолжительность проявления фотопленок в этом проявителе зависит от чувствительности фотоматериала и со-

ставляет 5—10 мин для низкочувствительных и 10—18 мин для высокочувствительных пленок. Позволяет достичь высокой чувствительности при умеренном контрасте

Проявитель «ID-68»

Сульфит натрия безводный	100 г
Гидрохинон	5 г
Натрий тетраборнокислый (бура)	2 г
Борная кислота	1 г
Калий бромистый	1 г
Фенидон или метилфенидон	0,2 г
Вода	до 1000 мл

Применяется для проявления негативных фотопленок, продолжительность проявления 6—12 мин. Проявитель стабилен в работе, хорошо сохраняется.

Проявитель «ФГЛ»

Сульфит натрия безводный	100 г
Гидрохинон	0,25 г
Натрий тетраборнокислый (бура)	2 г
Калий бромистый	0,5 г
Фенидон или метилфенидон	0,05 г
Вода	до 1000 мл

Универсальные проявители

Этот вид проявителей предназначен для достижения высокой чувствительности при умеренном контрасте изображения.

Проявитель № 1 (ГОСТ 10691.1-73)

Метол	1 г
Сульфит натрия безводный	6 г
Гидрохинон	5 г
Натрий углекислый (сода) безводный	20 г
Калий бромистый	1 г
Вода	до 1000 мл

Стандартный проявитель при сенситометрических испытаниях фотопластинок и фотобумаг. Продолжительность проявления фотопленок и фотопластинок 4—6 мин, фотобумаг 2 мин.

Проявитель «УП-2»

Метол	5 г
Сульфит натрия безводный	40 г
Гидрохинон	6 г
Натрий углекислый (сода) безводный	31 г
Калий бромистый	4 г
Вода	до 1000 мл

Широко используемый проявитель; в настоящее время существуют его различные модификации — «УП-4», «УП-5» и др. Хорошо сохраняется, устойчив в работе. Продолжительность проявления фотопленок 4—8 мин, фотобумаг 2—4 мин. Для проявления фотобумаг проявитель следует разбавлять водой в соотношении 1 : 1.

Проявитель «ID-62» концентрированный

Сульфит натрия безводный	50 г
Гидрохинон	12 г
Натрий углекислый (сода) безводный	60 г
Калий углекислый	2 г
Бензотриазол	0,2 г
Фенидон или метилфенидон	0,5 г
Вода	до 1000 мл

Для проявления фотопленок и фотопластинок основной раствор разбавляют водой 1 : 3, время проявления 2—4 мин, проявление фотобумаг 1,5—2 мин, при разбавлении 1 : 7 продолжительность проявления увеличивают до 4—8 мин.

Контрастные и быстрые проявители

Проявитель «D-19»

(Наиболее часто рекомендуемый проявитель в нашей стране и за рубежом для проявления астрономических фотоматериалов.)

Метол	2,2 г
Сульфит натрия безводный	96 г
Гидрохинон	8,8 г
Натрий углекислый (сода) безводный	48 г
Калий бромистый	5 г
Вода	до 1000 мл

Продолжительность проявления 4—8 мин, в некоторых случаях разбавляют водой 1 : 1. Близким по составу является применяемый для проявления рентгеновских медицинских пленок проявитель Рентген-2.

Проявитель «D-11» для получения очень высокого контраста

Метол	1 г
Сульфит натрия безводный	75 г
Гидрохинон	9 г
Натрий углекислый (сода) безводный	25 г
Калий бромистый	5 г
Вода	до 1000 мл

Продолжительность проявления 4—5 мин, для уменьшения контраста разбавить водой 1 : 1. Проявитель хорошо сохраняется, стабилен в работе.

Быстрый проявитель «SD-26» с едкой щелочью

Метол	20 г
Сульфит натрия безводный	60 г
Гидрохинсон	20 г
Едкий натр (щелочь)	20 г
Калий бромистый	10 г
Вода	до 1000 мл

Едкий натр растворяют в 100—200 мл холодной воды и медленно вливают в общий раствор при интенсивном перемешивании. Продолжительность проявления 1 мин при 20 °С.

§ 3.3. ФИКСИРОВАНИЕ ПРОЯВЛЕННОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ

Основная цель процесса фиксирования — растворение оставшихся в эмульсионном слое после проявления микрокристаллов галогенида серебра с последующим вымыванием образовавшихся растворимых в воде комплексных соединений серебра.

Среди большого числа веществ, превращающих галогенид серебра в растворимые соединения, наиболее широко применяется тиосульфат натрия.

Скорость фиксирования и его полнота зависят от свойств фотослоя — толщины слоя и концентрации галогенида серебра в нем, величины микрокристаллов, состава и концентрации тиосульфата, температуры и интенсивности перемешивания. Тонкослойные и мелкозернистые эмульсии фиксируются очень быстро.

Максимальная скорость фиксирования достигается при 35—40%-ной концентрации тиосульфата натрия в растворе, но на практике применяют 20—35%-ные растворы для фиксирования негативных и 15—20%-ные растворы для позитивных фотоматериалов. В состав фиксажа обычно вводят кислоты или кислые соли для предотвращения образования пятен на поверхности фотослоя в случае попадания проявителя в фиксаж.

Фиксирование можно ускорить, заменив тиосульфат натрия тиосульфатом аммония. При этом скорость фиксирования возрастает примерно в два раза.

В табл. 11 приведена рецептура кислых фиксирующих растворов.

В процессе фиксирования уменьшается количество тиосульфата в результате растворения галогенида серебра и уноса, а также разбавления фиксажа водой, заносимой фотоматериалом, накапливается серебро, щелочные галогениды,

Состав фиксирующих растворов

Вещество	Номер рецепта				
	1	2	3	4	5
Тиосульфат натрия, г	250	240	200	340	—
Тиосульфат аммония, г	—	—	—	—	200
Сульфит натрия безводный, г	25	—	—	3	5
Метабисульфит калия *), г	—	15	30	30	25
Серная кислота (плотность 1,84 г/мл), г	3	—	—	—	—
Вода	до 1000 мл				

*) Метабисульфит калия можно заменить таким же количеством метабисульфита натрия.

компоненты проявителя и продукты его окисления. Все это ведет к истощению фиксажа и ухудшению качества фиксирования. Фиксирующий раствор следует применять до тех пор, пока время фиксирования не превышает более чем в два раза продолжительность фиксирования в свежеприготовленном растворе.

§ 3.4. ПОГРАНИЧНЫЕ ЭФФЕКТЫ ПРОЯВЛЕНИЯ

Под названием «пограничные эффекты» подразумевают ряд различных эффектов, ведущих к искажению изображения при проявлении.

Обычно считают, что проявление в любом месте изображения не зависит от распределения интенсивности освещения в смежных местах. Однако некоторые проявители расходуются быстро и проявляют только поверхность эмульсионного слоя, не проникая в его глубину.

Тогда на границе сильно и слабо экспонированных участков происходит следующее. Проявитель диффундирует от слабо экспонированного участка к участку, получившему большую экспозицию, а продукты реакции, тормозящие проявление, движутся в противоположном направлении. Вследствие этого на границе раздела увеличивается большая оптическая плотность и снижается меньшая.

Впервые влияние диффузии проявителя в слое наблюдалось астрономом Эберхардом. Он обнаружил изображение маленького темного кольца в середине изображения

Солнца. Это явление, характерное для изображения объектов размером более одного миллиметра, названо *эффектом Эберхарда*.

Для передачи фотослоем мелких деталей также большое значение имеет процесс диффузии, происходящей в слое или в области, непосредственно граничащей со слоем. Это было впервые обнаружено русским астрономом С. К. Костинским. При этом происходит увеличение промежутка между двумя соседними, близко расположенными изображениями (например, спектральными линиями).

Эффект бордюра (каймы) заключается в увеличении плотности изображения, получившего большую экспозицию, а *эффект бахромы (линии Маки)* — в снижении плотности почернения слабо экспонированного участка или в появлении вуали рядом с сильно экспонированным участком.

Эффекты проявления в значительной степени могут быть устранены применением энергичных проявителей и интенсивным перемешиванием проявителя, прежде всего на границе раздела проявитель — эмульсионный слой (например, проявление с резиновой кистью).

Если рулонная пленка проявляется в бачке, следует поворачивать несколько раз в минуту улитку для перемешивания раствора; это улучшает равномерность проявления, хотя и не разрушает полностью пограничный слой.

§ 3.5. МЕТОДЫ УСИЛЕНИЯ ПЛОТНОСТИ ПРОЯВЛЕННОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ

Усиление как способ повышения плотности неверно экспонированных или получивших недостаточную экспозицию негативов давно и успешно применяется в фотографической практике. При этом с самого начала следует учитывать то обстоятельство, что практически невозможно усилить начальный, «пороговый» участок характеристической кривой. Возможно лишь более или менее существенное увеличение плотности ее линейного участка. Этот способ вполне пригоден для повышения плотностей почернения недодержанных негативов.

На нормально экспонированных и проявленных негативах хорошо усиливаются лишь слабые почернения, а участки почернения, получившие «большую экспозицию», очень сильно уплотняются и печать таких снимков становится практически невозможной.

В настоящее время существует большое количество способов усиления проявленного изображения, но на практике

используются немногие из них. Здесь будут описаны наиболее простые и вместе с тем достаточно эффективные способы усиления.

Хромогенное усиление (способы окрашивания изображения). Эти процессы усиления можно проводить на свету. При этом следует учитывать, что при увеличении плотности почернения в случае применения усиливающих растворов будет возрастать зернистость изображения. Обязательным условием процесса является предварительное превращение серебра изображения в способный к проявлению галогенид серебра.

Обработка негативов проводится следующим образом. В отбеливающем растворе, содержащем феррицианид калия (красная кровяная соль $K_3[Fe(CN)_6]$) и галогенид (бромистый калий), серебро изображения окисляется в бромистое серебро. После отбеливания и тщательной промывки проводится хромогенное (окрашивающее) проявление в черно-белом проявителе с цветной компонентой.

При восстановлении галогенида серебра в серебро изображения происходит окисление проявителя. В тех местах, где образовалось серебро, идет реакция между цветной компонентой и продуктами окисления компонент проявителя с образованием красителя — аналогично тому, как это было описано в § 2.6. Особенно активно образуется краситель на отдельно расположенных зернах серебра, благодаря чему на участках негатива, находящихся на «пороге» характеристической кривой, начинается образование красителя.

Краситель, образующий цветное «облачко» вокруг серебряных зерен, изменяет распределение спектрального пропускания фотослоя. Суммарное почернение теперь состоит из двух слагаемых — поглощения света проявленными зернами серебра и образовавшимся красителем. При этом как бы происходит увеличение чувствительности фотослоя, поскольку почернение становится видимым. На самом деле лишь извлекается информация из фотослоя, не выявленная обычным черно-белым проявлением. Поскольку при хромогенном проявлении образуется серебро, оно вновь может быть отбелено и проявлено. При этом вновь образуются серебро и краситель, который отлагается в тех же местах, где уже имеется краситель после первого проявления, что ведет к повышению плотности изображения.

Однократное усиление повышает чувствительность фотослоя в 2—2,5 раза. Повторное хромогенное усиление позволяет повысить чувствительность более чем в 3 раза. Обычно

проводят не более трех операций из-за интенсивного роста вуали.

При копировании хромогенно усиленных негативов для улучшения градационных характеристик можно использовать спектрально сенсibilизированный копировальный материал и цветные светофильтры. Фотоматериалы (фотобумага, диапозитивные пластинки), применяемые для копирования, чувствительны только к синей части спектра, и поэтому хромогенное усиление в дополнительный (к синему) желтый цвет ведет к повышению контраста при печати белым светом. Увеличения контраста можно добиться введением в процесс печати светофильтра, окрашенного в дополнительный к цвету изображения цвет — синее хромогенное проявление, желтый светофильтр. Если же применить светофильтр, имеющий тот же цвет, что и полученный при хромогенном проявлении, наблюдается противоположный эффект — уменьшение контраста в позитивном изображении.

Методика проведения процесса. Все процессы усиления требуют чистоты в работе и точного соблюдения рецептуры.

Раствор для бромирования

Красная кровяная соль $K_3[Fe(CN)_6]$	250 г
Калий бромистый	12 г
Сульфат натрия Na_2SO_4	50 г
Вода	до 1000 мл

Цветной проявитель

Раствор А

Диэтилпарафенилендиаминсульфат $(C_2H_5)_2NC_6H_4NH_2 \cdot H_2SO_4$	1,2 г
Вода	до 100 мл

Раствор Б

Сульфат натрия безводный (Na_2SO_4)	1 г
Калий бромистый	1 г
Карбонат натрия безводный (K_2CO_3)	50 г
Водосмягчающее средство (трилон Б)	2 г
Вода	до 900 мл

Цветные компоненты

Желтый проявитель

Раствор 0,75 г бензоилацетанилида $C_6H_5COCH_2CONHC_6H_5$ в 20 мл диоксана

Пурпурный проявитель

Раствор 0,90 г 1-фенил-3 метил-5 пиазолонa в 40 мл этилового спирта

Синий проявитель

Раствор 0,75 г нафтола в 10 мл диоксана

Растворы А и Б сливают непосредственно перед использованием, затем вводят выбранную цветную компоненту.

Фотографический слой, подвергающийся усилению, должен быть нормально проявлен. После обычного фиксирования и последующей промывки влажный фотоматериал может быть подвергнут усилению. Сухой фотоматериал перед усилением должен быть размочен.

Длительность стадий

Отбеливание	1—3 мин
Промывка	5 мин
Цветное проявление (20 °C)	5—10 мин

Процесс может быть повторен, если степень усиления изображения после однократного усиления окажется недостаточной.

Образующееся при цветном проявлении серебро способствует некоторому увеличению контраста, поэтому при низком контрасте негатива его удалять не следует.

Напротив, если негатив получается слишком плотным и контрастным, металлическое серебро необходимо удалить из слоя, проведя сначала его отбеливание, а затем и фиксирование.

В этом случае необходимо выполнить следующие операции:

Отбеливание	1—3 мин
Промывка	5 мин
Цветное проявление	5—10 мин
Промывка	5 мин
Отбеливание	1—3 мин
Промывка	5 мин
Фиксирование	2 мин
Окончательная промывка	5—10 мин

Для фиксирования следует применять нейтральные или слабощелочные фиксажи, поскольку красители, особенно синий, в кислой среде неустойчивы. Следует работать в резиновых перчатках или пользоваться пинцетом, чтобы на изображении не появлялись пятна и не пачкались руки.

Усиление солями железа. Этот процесс заключается в переводе серебра изображения в комплексное

соединение железа — ферриферроцианид (берлинская лазурь) и является весьма эффективным: с его помощью можно сделать видимыми даже мельчайшие частицы серебра. Поэтому негатив, предназначенный для усиления, должен иметь минимально возможную вуаль.

Преимуществом метода усиления солями железа является то, что синий цвет является прозрачным даже при больших плотностях изображения, поэтому информационное содержание астроснимка передается практически полностью.

Растворы для тонирования

Основной раствор Ia (для максимального усиления)

Вода	1000 мл
Соляная кислота конц. (HCl)	20 мл

Основной раствор Ib (для среднего усиления)

Вода	100 мл
Серная кислота конц. (H_2SO_4)	30 мл

Основной раствор II

Феррицианид калия (красная кровяная соль)	14 г
Бихромат калия $K_2Cr_2O_7$	0,2 г
Вода	до 1000 мл

Основной раствор III

Железоаммонийные квасцы $NH_4Fe(SO_4)_2$	40 г
Вода	до 1000 мл

Желтый тонирующий раствор

Желтый краситель (тартрацин или хризоидин)	2 г
Вода	до 1000 мл

Усиливаемый негатив опускают на несколько минут для набухания эмульсионного слоя. Затем готовят тонирующий раствор, состоящий из равного количества растворов I—III. Для снижения эффективности окрашивания тонирующий раствор можно разбавить водсй в соотношении 1 : 1 или 1 : 2.

Набухший в воде негатив опускается на 5 мин в синий тонирующий раствор. Во время тонирования раствор следует непрерывно перемешивать. Затем окрашенный негатив промывают в течение 30 с в воде.

Усиление солями железа является более простым, чем хромогенное усиление с цветным проявлением, однако метод не следует применять для усиления негативов с достаточно высокой плотностью вуали.

Высокая степень усиления при малом росте зернистости достигается применением хинонтиосульфатного усилителя.

Его рабочий раствор составляют из трех запасных растворов:

Раствор А

Серная кислота (плотность 1,84)	30 мл
Духромовокислый калий	22,5 г
Вода	до 1000 мл

Раствор Б

Бисульфит натрия	3,8 г
Гидрохинон	15 г
Вода	до 1000 мл

Раствор В

Тиосульфат натрия кристаллический	22,5 г
Вода	до 1000 мл

Запасные растворы смешивают в такой последовательности: А — 1 часть, Б — 2 части, В — 2 части, А — 1 часть. Продолжительность усиления 5—10 мин. Сохраняемость рабочего раствора 2—3 часа.

Усиленный негатив промывают в проточной воде в течение 10—25 мин до полного просветления неэкспонированных участков изображения.

§ 3.6. ОСЛАБЛЕНИЕ ПРОЯВЛЕННОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ

Суть этого процесса исправления негатива — уменьшение оптической плотности удалением из изображения части металлического серебра.

Существует несколько способов ослабления: *пропорциональное* — все плотности и соответственно контраст изображения уменьшаются пропорционально; *сверхпропорциональное* — малые плотности почти не уменьшаются, большие плотности ослабляются сильнее, чем средние, контраст уменьшается; *субпропорциональное* — малые плотности ослабляются сильнее, чем большие, контраст изображения увеличивается.

Ниже приводятся три наиболее употребительных рецепта ослабителей. Как и при усилении, негатив перед ослаблением должен быть хорошо отфиксирован и промыт. Сухой фотоматериал следует предварительно размочить в дистиллированной воде в течение 15—20 мин.

Марганцевоокислый ослабитель

(для пропорционального ослабления изображения)

Марганцевоокислый калий KMnO_4	2 г
Вода	до 1000 мл

Продолжительность ослабления 2—10 мин в зависимости от плотности изображения. Затем негатив споласкивают, освещают в свежем фиксаже и промывают в проточной воде 15 мин.

Хромовый ослабитель

(для ослабления переэкспонированных и перепроявленных негативов)

Двуххромовокислый калий $K_2Cr_2O_7$	0,5 г
Серная кислота (10%-ная)	10 мл
Вода	до 1000 мл

Продолжительность обработки этим раствором 5—10 мин. Затем негатив следует быстро ополоснуть водой, осветлить в свежем фиксаже и промыть в течение 15 мин.

Фармеровский ослабитель

(для исправления переэкспонированных негативов и удаления вуали)

Поскольку рабочий раствор не хранится, предварительно готовят два запасных раствора, которые смешивают с водой перед усилением:

Запасной раствор А

Железосинеродистый калий	1—5 г
Вода	до 1000 мл

Запасной раствор Б

Тиосульфат натрия кристаллический	30 г
Вода	до 100 мл

Рабочий раствор составляют смешиванием 1 части раствора А, 1 части раствора Б и 8 частей воды. За ходом ослабления следует наблюдать, и когда негатив ослаблен до необходимой плотности, его промывают в проточной воде в течение 10—15 мин.

ФОТОГРАФИЧЕСКИЕ ИНСТРУМЕНТЫ И ПРИСПОСОБЛЕНИЯ

§ 4.1. ФОТОГРАФИЧЕСКИЕ ТЕЛЕСКОПЫ

Для многих работ любитель вынужден сам строить себе инструмент вместе с оптикой.

Телескоп Ньютона, его изготовление и применение в качестве фотографического инструмента описаны достаточно подробно [6, 7]. Здесь мы рассмотрим только некоторые проблемы, связанные с фотографированием небесных объектов.

Возможны два основных способа съемки телескопом: фотографирование в ньютоновском фокусе и фотографирование с окулярной камерой. В первом случае грубая структура фотоэмульсии «замывает» дифракционную картину, и качество зеркала может быть ниже, чем для визуальных наблюдений. Так, если принять диаметр кружка рассеяния 0,03 мм, то можно применить вместо параболического зеркала сферическое, но его относительное фокусное расстояние должно быть не меньше

$$\nu_{\min (\text{фот})} = 0,51 \sqrt{D},$$

где D — диаметр зеркала в миллиметрах.

Диаметр зеркала при этом не должен превышать

$$D_{\max (\text{фот})} = 3,84 \nu^2.$$

Например, зеркало диаметром 100 мм не должно иметь относительное фокусное расстояние меньше 5,1. Для 200-миллиметрового зеркала оно не должно быть меньше 7,2 (см. также § 1.6, но там выбран кружок рассеяния 0,05 мм, поэтому коэффициенты в формуле другие).

Если же применяется окулярное увеличение, то разрешающая сила телескопа используется максимально. Он работает на дифракционном пределе, и сферическое зеркало не должно иметь относительное фокусное расстояние меньше

$$\nu_{\min (\text{виз})} = 1,52 \sqrt[3]{D},$$

а диаметр зеркала не должен быть больше

$$D_{\text{max (виз)}} = 0,284\sqrt[3]{V}.$$

Так, при относительном фокусном расстоянии $V=7$ диаметр зеркала не должен превышать примерно 100 мм, а для 200-миллиметрового телескопа относительное фокусное расстояние не должно быть меньше 8,9.

Рассмотрим влияние комы на диаметр полезного поля зрения. Если исходить из самых жестких требований и принять кружок рассеяния 0,02 мм, то в этом кружке должно уместиться пятно комы длиной 3ρ . Максимальный угол, на котором пятно еще не превышает этой величины, равен

$$\omega = \frac{16}{3} \rho \frac{V^2}{f} = 0,11 \frac{V^2}{f}. \quad (9)$$

Здесь угол выражен в радианной мере. Если его нужно выразить в градусах, результат нужно разделить на 0,0175. Например, телескоп с относительным отверстием $1/5$ и фокусным расстоянием 1 000 мм будет иметь радиус полезного поля

$$\omega = \frac{16}{3} \cdot 0,02 \cdot \frac{25}{1000} = 0,00275 \text{ рад} = 9,4'.$$

Поперечник поля будет вдвое больше (около $19'$).

Для того чтобы выразить диаметр поля зрения в линейной мере, нужно угол в радианной мере умножить на фокусное расстояние зеркала. В нашем примере поле зрения составляет 5,5 мм. Линейное поле зрения рефлектора не зависит от фокусного расстояния, а только от относительного отверстия.

Для кружка рассеяния 0,03 мм коэффициент в формуле (9) должен быть 0,16, для кружка 0,05 мм — 0,27, для кружка 0,1 мм — 0,53, для кружка 0,2 мм — 1,06.

У любительского телескопа с относительным отверстием $1/6$ этим кружкам соответствуют поперечники полезного поля 8, 12, 19, 38 и 76 мм. Как правило, мы используем уже готовый фотокадр формата 24×36 мм, и приведенные величины показывают, какую часть кадра мы можем практически использовать.

Для современных достаточно чувствительных эмульсий («Фото-130», «Фото-250») предельная выдержка при съемке вдали от города при относительном отверстии $1/6$ — $1/7$ составляет 1,5—2 часа. В пригородах засвеченное небо начнет вуалировать пленку через 1,5—2 часа при относительном отверстии $1/10$.

Фотографический телескоп диаметром 150—300 мм в любительских условиях может быть только телескопом-рефлектором. Он не только доступнее и качественнее рефрактора, но и много удобнее в работе.

§ 4.2. ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ФОКУСНОГО РАССТОЯНИЯ

Владельцу телескопа системы Кассегрена заманчиво иной раз получить фотографию туманности или галактики, а для этого нужно увеличить относительное отверстие. Это можно сделать, укоротив фокусное расстояние телескопа, для чего

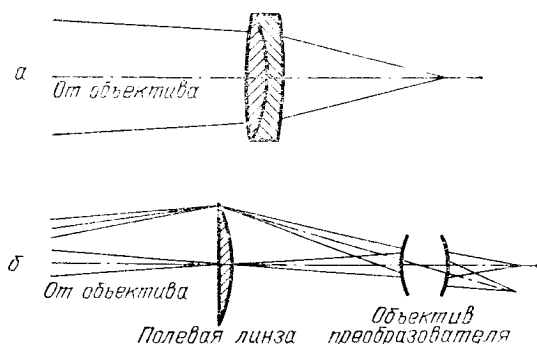


Рис. 23. Преобразователи фокусного расстояния

в пучок сходящихся лучей перед фокусом достаточно ввести положительный ахроматический объектив (рис. 23, а). Расстояние между задней главной плоскостью кассегреновского телескопа, лежащей далеко впереди телескопа, и ахроматом определяется по формуле (3).

К сожалению, эта простейшая система в результате виньетирования дает очень малое поле зрения. Чтобы его увеличить, в фокальной плоскости телескопа нужно установить полевую линзу (рис. 23, б). Ее диаметр должен быть не меньше полезного поля зрения телескопа. Позади полевой линзы на расстоянии 100—150 мм нужно установить камеру с фотообъективом. С помощью насадочной линзы или удлиняющих колец фокусируем камеру на полевую линзу. Фокусное расстояние полевой линзы должно быть равно расстоянию от нее до объектива камеры. Иначе говоря, выходной зрачок телескопа с полевой линзой должен лежать приблизительно в районе диафрагмы объектива.

Диаметр системы равен диаметру телескопа, а относительное отверстие равно относительному отверстию камеры.

Например, камера с объективом, имеющим относительное отверстие $1/4$, вместе с 250-миллиметровым телескопом эквивалентна 250-миллиметровой камере с относительным отверстием $1/4$, но поле зрения ее мало.

При наблюдении планет, поверхностей Луны, Солнца требуется резкое увеличение масштаба. В самом деле, Юпитер, имеющий видимый угловой диаметр порядка $40''$, в фокусе телескопа с фокусным расстоянием 1000 мм изображается кружком диаметром около 0,2 мм. Если принять кружок рассеяния или размер одного «зерна» мелкозернистой эмульсии 0,02 мм, то по диаметру изображения планеты расположатся всего 10 зерен, а в построении всей поверхности примет участие только 75—80 зерен. Ясно, что никаких подробностей на поверхности планеты зарегистрировать не удастся.

К счастью, поверхностная яркость планет достаточно велика (табл. 12), и это позволяет применять сравнительно короткие выдержки при малых относительных отверстиях телескопов. Обычно для увеличения масштаба изображения (а следовательно, и эквивалентного фокусного расстояния) используются три способа.

Прежде всего это применение отрицательной ахроматизированной линзы Барлоу. Она устанавливается так, что сходимость пучка уменьшается, а это равносильно увеличению фокусного расстояния (см. рис. 7, б). В сущности, с применением линзы Барлоу простой объектив или зеркало превращаются в телеобъектив большого увеличения *).

Второй способ — проекция изображения окуляром. К сожалению, окуляры страдают остаточными aberrациями, но эти aberrации нетрудно оценить практически.

Установив в фокусе окуляра небольшую электрическую лампочку и станем рассматривать изображение ее волоска, проецируя его на какой-либо экран (например, на стену). Ясно, что окуляр должен быть обращен своей полевой диафрагмой к лампе, а глазной линзой к стене. Тщательно сфокусировав изображение, мы заметим, что волосок окружен радужной каймой. При разной фокусировке она может быть то синей, то розовой. Это хроматизм положения. Несколько наклонив окуляр к оптической оси, мы увидим, что изображение волоска вытянулось в спектр с синей каймой на одном конце и красной на другом. Это хроматизм увеличения. При фотографировании планет он не страшен, но при фотографировании поверхности Луны или Солнца он будет пор-

*) Подробнее о линзе Барлоу см. [7].

Поверхностная яркость некоторых объектов

Объект	Яркость. кд/м ²
<i>Луна</i>	
Серп молодой Луны над горизонтом	100
4-дневный возраст	200
6-дневный возраст	280
1-я четверть	400
10-дневный возраст	800
Полная Луна	2500
<i>Лунные затмения</i>	
Темная полутень	200
Край тени	2
Центр тени	0,05
<i>Солнце</i>	
Поверхность Солнца	$1,3 \cdot 10^9$
Протуберанцы	10^4
Спектр вспышки (с 45-градусной призмой)	1
Корона протяженностью до одного радиуса Солнца	50—500
до двух радиусов Солнца	15
до трех-пяти радиусов Солнца	2
<i>Планеты</i>	
Венера	20 000
Марс	1 200
Юпитер	250
Сатурн	100

тить изображения на краях поля. Установив на пути пучка светофильтр (обычно желтый), мы заметим, что влияние хроматических аберраций на качество изображения снизилось.

Если хроматическая аберрация окуляра малозаметна, то туманный бесцветный ореол вокруг волоска говорит о наличии сферической аберрации. Ее влияние можно снизить, установив сразу за глазной линзой маленькую диафрагму, которая меньше выходного зрачка окуляра [6, 7]. Правда, нужно помнить, что пропорционально уменьшится и количество света, прошедшего через телескоп.

На поверхности колбы лампы всегда можно найти пузырьки, бугорок и т. д. Проецируя на стену точечный блик на таком дефекте, мы сможем рассмотреть и аберрации наклонных пучков — кому и астигматизм. Правда, картина изоб-

ражения точки будет сложнее, чем в случае одиночной линзы или зеркала, но все-таки оценить влияние этих аберраций на качество изображения можно.

Если эти изображения проецировать не на чистую стену, а на листок из тетради в клеточку, можно оценить линейные размеры аберрационных пятен. Разделив линейный размер пятна на величину проекционного расстояния, мы получим размер пятна в радианной мере. Если затем этот размер умножить на проекционное расстояние (от окуляра до пленки) в окулярной камере, то получится размер аберрационного пятна в фокальной плоскости этой камеры. Очевидно, что

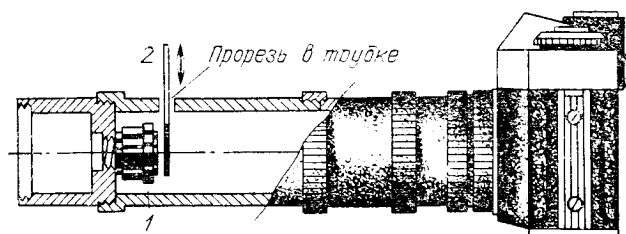


Рис. 24. Окулярная камера: 1 — проекционный объектив или окуляр, 2 — затвор-заслонка

это пятно должно быть меньше или равно пятну рассеяния фотоэмульсии.

Наилучшие результаты получаются при использовании в окулярной камере короткофокусных фото- и кинообъективов. Нужно помнить, что остаточные аберрации тем меньше, чем меньше объектив. Кроме того, короткофокусные объективы требуют меньшего проекционного расстояния. Поэтому желательно использовать объективы с фокусным расстоянием 10—20 мм. Это — объективы для 16- и 8-миллиметровых кинокамер (рис. 24). Возможности окулярной камеры показывает рис. 25.

Хорошие результаты получаются и с применением микрообъективов *). Объектом здесь служит изображение в фокусе телескопа. Объектив устанавливается к фокусу той же стороной, которой он устанавливается в микроскопе к объекту. В любом случае прежде чем окончательно выбрать объектив для окулярной камеры, нужно его испытать, проецируя лампочку на стену.

*) Все микрообъективы рассчитываются на определенное проекционное расстояние, обычно это 160 мм, реже 190 мм. Поэтому и окулярная камера с микрообъективом должна иметь примерно такое же проекционное расстояние.

В третьем способе получения крупномасштабных изображений фотоаппарат на специальном кронштейне крепится к трубе телескопа так, чтобы его объектив оказался напротив окуляра телескопа и чтобы их оси совпадали. Окуляр

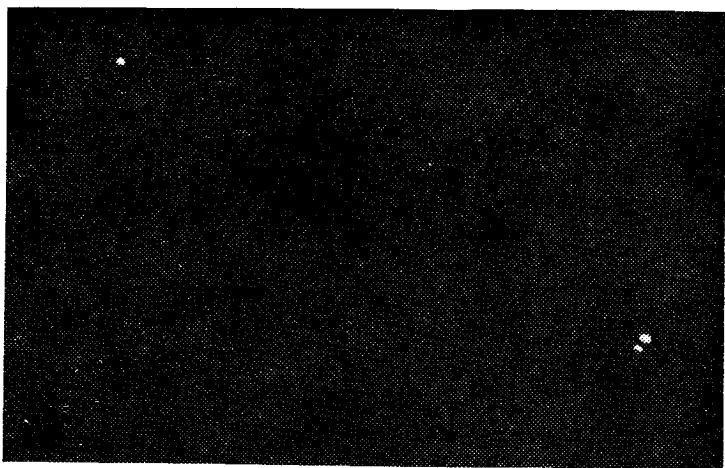


Рис. 25. Мицар (справа) и Алькор (слева). 150-миллиметровый рефлектор с окулярной камерой, $A=1/40$, выдержка 4 с, масштаб 1 мм=10".
Фото Л. Л. Сикорука

дает параллельные пучки, которые перехватываются объективом фотокамеры и фокусируются на фотоэмульсию. Масштаб изображения зависит от фокусного расстояния фотоаппарата и увеличения телескопа с данным окуляром. Например, увеличение телескопа $200\times$, фокусное расстояние объектива фотоаппарата 58 мм. Эквивалентное фокусное расстояние системы $200 \times 58 = 11\,600$ мм = 11.6 м.

§ 4.3. АЭРОФОТООБЪЕКТИВЫ ДЛЯ АСТРОФОТОГРАФИИ И АСТРОГРАФЫ

В аэрофотосъемке применяются достаточно длиннофокусные объективы с большим полем зрения. Это многолинзовые анастигматы, дающие кружок рассеяния около 0,05—0,1 мм. Учитывая, что такие поля при большом масштабе в любительских условиях получить трудно, можно смириться с не очень высоким качеством изображения, даваемого этими объективами. Относительное отверстие у них

достаточно велико, и они с успехом могут применяться для фотографирования больших туманностей, галактик, комет. А широкоугольные аэрообъективы прекрасно подойдут для фотографии метеоров и их спектров, спутников Земли, болидов, больших участков Млечного Пути.

Остаточные aberrации этих объективов довольно велики. Это приводит к тому, что слабые звезды на негативе имеют довольно малые размеры, так как регистрируется только центральная конденсация пятна, а более яркие, передержанные звезды имеют размеры значительно больше, так как

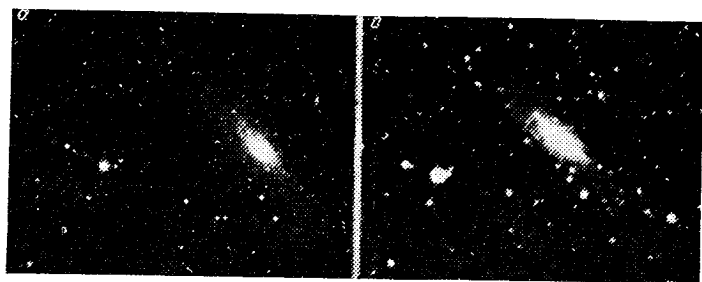


Рис. 26. Туманность Андромеды. Снимки сделаны объективами «Таир-3» (а) и «Уран-9» (б). Сравните качество обоих объективов по группе звезд, окружающих γ Андромеды (слева от Туманности)

регистрируется весь кружок рассеяния. Это не очень приятное качество подобных объективов оказывается полезным в двух случаях. Во-первых, когда они применяются для фотографирования переменных звезд. В этом случае оценка блеска звезд легко производится по их диаметру на негативе. Во-вторых, эти объективы могут по тем же причинам использоваться для получения негативов для фотографических атласов. В таком атласе различным звездным величинам будут соответствовать различные диаметры звездных изображений, притом разница диаметров достаточно велика, чтобы без труда ее различать (рис. 26).

Вообще говоря, астрографом следовало бы называть фотографический телескоп любой конструкции и размеров, но исторически сложилось так, что астрографами называют главным образом широкоугольные фотокамеры с линзовыми объективами.

Если у читателя есть возможность приобрести аэрофотокамеру и пользоваться пленкой подходящего формата, лучше всего использовать камеру без всяких переделок, уста-

27 новив ее на подходящей экваториальной монтировке. Но чаще всего удастся достать только объектив и использовать пластинки или пленку небольшого формата. Тогда придется построить корпус астрографа.

Рассмотрим три наиболее употребительных варианта.

Корпус астрографа выполняется в форме параллелепипеда. Материалом может быть листовая металл, многослойная фанера, текстолит и т. п. (рис. 27, а). Главные необходимые свойства материала — достаточная жесткость при относительно небольшом весе, коэффициент температурных

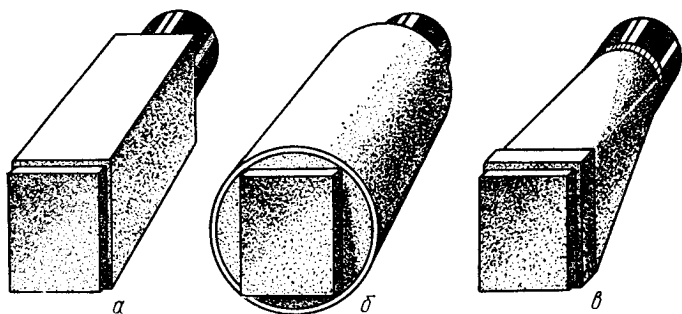


Рис. 27. Формы корпуса астрографов: прямоугольного сечения (а), цилиндрический (б), более сложной конфигурации (в)

расширений, близкий к температурному коэффициенту стекла, чтобы при перепадах температур не перефокусировать астрограф.

Можно корпус выполнить в виде цилиндра (рис. 27, б). Это может быть точеная металлическая труба, труба, собранная на каркасе или склеенная из стеклоткани эпоксидной смолой. В последнем случае она будет достаточно жесткой, легкой, а ее коэффициент температурного расширения близок к коэффициенту температурного расширения стекла. Для астрографов с фокусным расстоянием не более 200—250 мм при относительном отверстии не более $1/3$ — $1/4$ последнее обстоятельство несущественно, и поэтому можно широко применять для корпуса материалы с любым температурным коэффициентом, например, бумагу, склеенную эпоксидным клеем.

Наконец, можно склеить корпус более сложной конфигурации (рис. 27, в).

Для кассетной части астрографа лучше всего использовать кассетную часть от старого фотоаппарата соответствующего формата. Например, один из первых астрографов

Новосибирского клуба им. Д. Д. МаксUTOва с объективом от эпидиаскопа «Индустар-51» (который, кстати, применялся в аэрофотокамерах) с фокусным расстоянием 210 мм имеет кассетную часть, полностью взятую от старого фотоаппарата «Фотокор-1». Применяется стандартная кассета этого аппарата формата 9×12 см. Считается, что такие (тонкие) кассеты мало пригодны для астрономической фотографии. Однако это не так. Опыт показал, что кассеты и удобны, и надежны.

Если фабричной кассетной части аппарата нет, ее можно сделать самостоятельно. Так, у нашего двойного астрографа

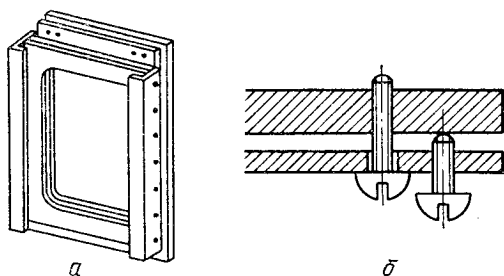


Рис. 28. Кассетная часть астрографа (а) и юстировочные винты (б)

с двумя объективами «Уран-12» применяются готовые кассеты 18×24 см от павильонной фотокамеры типа ФК, но сама кассетная часть выполнена из алюминиевых уголков (рис. 28, а). Кассетная часть должна содержать приспособление для установки кассеты перпендикулярно оптической оси объектива. Наклон пластинки к оси приведет к тому, что одна из сторон окажется ближе фокуса, а противоположная — дальше. В результате края негатива окажутся нерезкими. Простое устройство для регулирования наклона состоит в том, что три пары винтов, подобно тому, как это делается для юстировки оправ зеркал рефлекторов, позволяют регулировать угол наклона кассетной части (рис. 28, б). Юстировочные винты можно установить также и на передней стенке корпуса астрографа, несущей оправу объектива.

§ 4.4. СВЕРХШИРОКОУГОЛЬНЫЕ КАМЕРЫ

При патрульных наблюдениях болидов, полярных сияний, при исследовании общей структуры Млечного Пути нужны очень большие поля зрения. В этом случае можно применить широкоугольные аэрофотообъективы типа «Ор-

тогон», «Руссар» и т. п. с полем зрения 100° и более. Для малоформатных камер с успехом можно использовать объективы типа «рыбий глаз», имеющие поле зрения 180° . Это дисторзирующие объективы, вносящие значительную дисторсию по той причине, что достичь точного изображения полусферы на плоскости невозможно. К сожалению, эти объективы довольно дороги, и многие любители используют так называемые «олл-скай» камеры, или камеры всего неба. В простейшем случае это обычный малоформатный аппарат, установленный на некотором расстоянии от выпуклого сферического зеркала большой кривизны. Размеры зеркала должны быть достаточными, чтобы оно в кадре камеры занимало практически всю его ширину [1, 7].

На рис. 29 дан пример съемки «олл-скай» камерой.

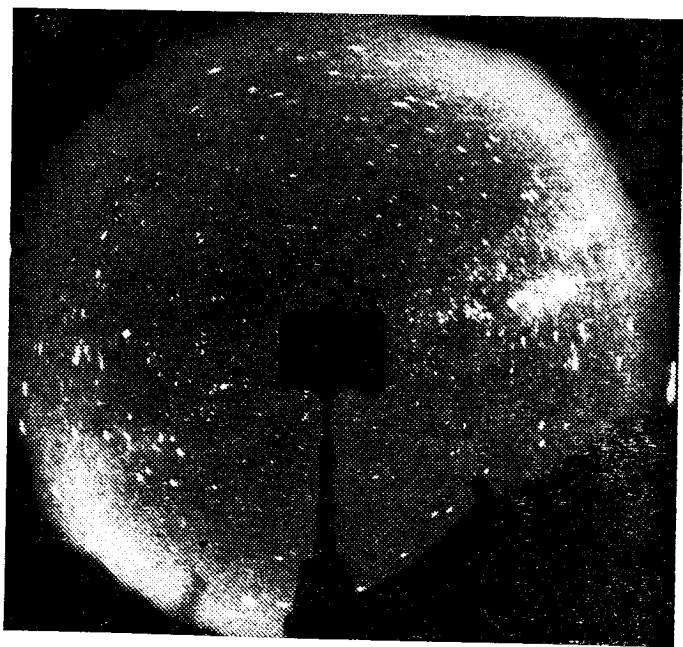


Рис. 29. Млечный Путь, как он виден «олл-скай» камере. В центре отражение фотоаппарата «Зенит-В» на стойке. Объектив «Гелкос-44», пленка «Фото-130», выдержка 40 мин. Камера была смонтирована на параллактической монтировке и гидрировалась. Изображение зеркальное: север внизу, запад справа. В нижнем левом и верхнем правом углах видна засветка ближайшими железнодорожными станциями, которая стала особенно заметной из-за легкого тумана. В других частях горизонта посветление вызвано общим посветлением неба у горизонта. Фото И. Авдеева

§ 4.5. ЗАТВОРЫ

Затворы предназначены для ограничения времени экспонирования (выдержки) и имеют различные конструкции. Очевидно, что для длительных выдержек от нескольких секунд и более роль затвора может выполнять простая заслонка, которая прикрывает объектив до начала экспонирования и на время экспозиции открывает его. Если астрограф достаточно длинный и наблюдатель находится у противоположного конца трубы, приходится делать какую-нибудь тягу или поворотное устройство, которое позволяло бы оперировать затвором, не отрываясь от окуляра гида (рис. 30).

Когда наблюдателю нетрудно дотянуться до крышки объектива астрографа, ее можно просто снимать и после

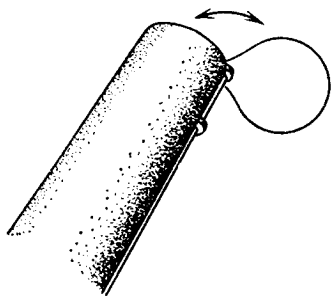


Рис. 30. Механизм управления затвором

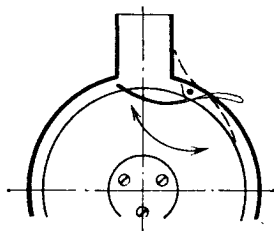


Рис. 31. Затвор в телескопе системы Ньютона

экспонирования надевать снова. Так как это может вызвать сотрясение инструмента, то, сняв крышку с оправы, нужно поддерживать ее перед объективом до тех пор, пока не успокоятся вибрации (1—2 с), и только после этого убрать с пути пучка света.

При всей простоте и удобности затворы-крышки имеют два серьезных недостатка. В тех случаях, когда астрограф не имеет специального гида и гидирование ведется с помощью микроскопа по звезде на краю поля (см. § 4.8), наблюдатель не может заранее перед началом экспозиции установить ведущую звезду на крест нитей и приготовиться к гидированию. В этом случае затвор приходится перенести ближе к фокальной поверхности так, чтобы он не закрывал пучка света микроскопа-гида. В телескопах системы Ньютона заслонка может располагаться прямо перед касетой или корпусом малоформатной камеры (рис. 31).

Второй недостаток затворов-крышек сказывается при фотографировании деталей поверхности Луны и планет. Проведем такой опыт. Сняв окулярную камеру, направим телескоп на яркую звезду или планету. Установим в фокальной плоскости нож Фуко, роль которого может играть любой тонкий предмет: лезвие перочинного ножа, расческа, край резко отрезанной плотной бумаги и т. п. Перемещая нож вдоль оси телескопа, сфокусируем теневую картину на максимальную чувствительность, когда тени, бегущие по поверхности объектива (зеркала), видны лучше всего (см. § 4.7). Затем при работающем часовом приводе ненадолго закроем объектив непрозрачной заслонкой и резко ее откроем. Если в эту ночь изображения хороши и бегущие тени не слишком мешают, мы ясно увидим картину сильного волнения воздуха, которое успокоится только через 5—10 с. Обычно ясно видно, что вихри «тянутся» за тенью заслонки. Экспозиция произойдет при очень плохом качестве изображения.

Поэтому лучше перенести заслонку в другое место системы, а именно в район выходного зрачка системы «телескоп — окулярная камера», т. е. сразу за проекционным объективом (или окуляром) — там, где расположен выходной зрачок визуального телескопа [1, 2, 6, 7] (см. рис. 24). Роль затвора в этом случае может выполнять кусочек черной бумаги от фотопакета. Эта заслонка вводится через щель в корпусе окулярной камеры. Перед началом экспозиции наблюдатель придерживает бумажку за выступающий из окулярной трубки конец, давая ему свободно лежать на краю выреза. Затем бумажка отводится в сторону и снова вдвигается на место. Затвор работает без вибраций, не создавая завихрений воздуха.

Для своей окулярной камеры автор соорудил электромагнитный затвор (рис. 32). Электромагнит небольшого реле поднимает, а пружинка опускает легкую заслонку затвора. Электромагнит укреплен на корпусе камеры и связан тонким проводом с трансформатором и кнопкой. Нажимая на кнопку, мы начинаем выдержку, которая может составлять 1/5 с и даже 1/10 с. В тех случаях, когда нужны

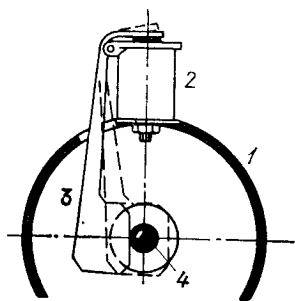


Рис. 32. Электромагнитный затвор окулярной камеры: 1 — трубка окулярной камеры, 2 — электромагнит, 3 — лепесток затвора, 4 — объектив (или окуляр) камеры

выдержки существенно меньше секунды, требуется механический затвор-автомат, который позволял бы получать выдержки от 1/10 до 1/500 и даже 1/1000 с.

§ 4.6. ФОКУСИРОВОЧНЫЕ МЕХАНИЗМЫ

Ошибки в фокусировке снижают резкость изображения и разрешение мелких деталей. Потери деталей пропорциональны квадрату диаметра кружка рассеяния.



Рис. 33. Пределы фокусировки в зависимости от размеров кружка рассеяния эмульсии

Если в результате неточной фокусировки кружок рассеяния возрастет в два раза, то мы на каждом участке негатива потеряем в четыре раза больше мелких деталей. По той же причине теряется одна звездная величина, если кружок рассеяния возрастет в 1,6 раза.

Чем больше относительное отверстие, тем жестче требования к точности фокусировки. Однако ошибки фокусировки скрываются, если эмульсия крупнозернистая (рис. 33). С окулярной камерой дело обстоит сложнее. Если мы фокусируем, перемещая проекционный объектив (или окуляр телескопа), то требования к точности фокусировки те же, что и при визуальных наблюдениях (табл. 13). Если

Таблица 13

Допустимая погрешность в фокусировании окулярной камеры при перемещении окуляра или проекционного объектива

∇ телескопа	$\Delta f'$, мм	∇ телескопа	$\Delta f'$, мм
3	0,01	8	0,06
4	0,02	10	0,10
5	0,03	15	0,23
6	0,04	20	0,40

фокусировка производится перемещением фотопленки, а проекционный объектив остается неподвижным, то точность будет та же, что и при съемке в прямом фокусе, но с учетом эквивалентного относительного отверстия (табл. 14). Таким образом, в последнем случае требования к точности фокусировки ниже.

Таблица 1

Допустимая погрешность в фокусировании астрографа (мм)
при различных диаметрах кружка рассеяния

v	Кружок рассеяния, мм			v	Кружок рассеяния, мм		
	0,03	0,05	0,10		0,03	0,05	0,10
3	$\pm 0,09$	$\pm 0,15$	$\pm 0,30$	10	0,30	0,50	1,00
4	0,12	0,20	0,40	15	0,45	0,75	1,50
5	0,15	0,26	0,50	20	0,60	1,00	2,00
6	0,18	0,30	0,60	30	0,90	1,50	3,00
8	0,24	0,40	0,80				

Рассмотрим механические устройства для фокусирования. Для относительно короткофокусных астрографов, когда размеры объектива малы в сравнении с размерами камеры, наилучший способ фокусирования — перемещение

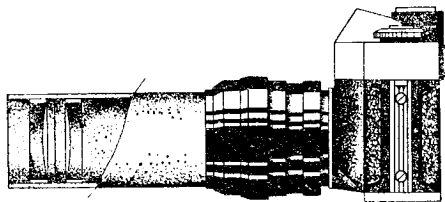


Рис. 34. Фотоаппарат с фокусирующим устройством

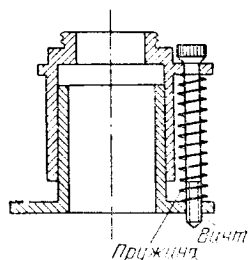


Рис. 35. Фокусирующее устройство с винтом

объектива относительно неподвижного корпуса камеры. Так как это перемещение должно быть относительно медленным, используют винтовую резьбу, нарезанную на оправе объектива и на кольце, которое крепится к передней стенке камеры. Обычно для объективов с фокусным расстоянием 100—300 мм шаг резьбы должен быть 1—2 мм. Слишком крупный шаг делает фокусировку грубой, когда легко «проскочить» наилучшую резкость; а мелкий шаг затрудняет определение момента, когда резкость достаточна.

Можно воспользоваться готовым фокусирующим устройством фотообъектива, если из оправы старого объектива вынуть оптический блок. Именно так поступили при постройке астрографа с объективной призмой в клубе

им Д. Д. МаксUTOва. Здесь из оправы объектива «Юпитер-9» был извлечен оптический блок, который употребляется в другом приборе, а фокусирующее устройство было через простой переходник соединено с трубой астрографа (рис. 34).

Иногда применяют фокусирующие устройства, которые представляют собой две гладкие трубы, плотно входящие друг в друга, одна из которых перемещается с помощью винта (рис. 35). Нужно иметь в виду, что длина участка соприкосновения трубок должна быть не менее двух диаметров трубок, и выступы для фокусирующего винта не должны быть слишком длинными. В противном случае трубки будут перекашиваться и заклинивать.

§ 4.7. КОНТРОЛЬ ФОКУСА

Недостаточно иметь фокусирующее устройство, нужно еще ясно видеть момент, когда изображение стало резким. Очень удобны в этом смысле зеркальные фотоаппараты, так как позволяют вплоть до самого момента съемки видеть то, что делается на матовом стекле, а значит, в следующее мгновение будет фиксироваться на пленке.

К сожалению, матовое стекло рассеивает довольно много света, и поэтому астрономические объекты видны недостаточно яркими. Если камера установлена в ньютоновском фокусе телескопа с большим относительным отверстием, то можно сфокусировать по ярким звездам, расположенным на расстоянии нескольких градусов от объекта, который предстоит фотографировать. Но даже в случае ярких звезд установка на фокус производится неуверенно и часто снимок получается недостаточно резким.

Гораздо надежнее фокусирование с помощью ножа Фуко. Вынув пленку из аппарата и открыв заднюю крышку, наблюдаем звезду первой — второй звездной величины прямо глазом на расстоянии 15—20 см позади фотоаппарата. Приведем с помощью ключей тонких движений звезду в центр кадра и начнем постепенно приближать глаз к кадровому окну, не теряя звезды из виду. В тот момент, когда в зрачок глаза «провалится» весь пучок света (это произойдет в непосредственной близости глаза от кадрового окна), мы увидим, что зеркало телескопа равномерно залито светом звезды. Теперь устанавливаем на продольные направляющие, по которым движется пленка, нож Фуко, в данном случае представляющий собой металлическую полоску толщиной 2—3 мм и шириной около 5 мм. Один край полоски должен быть тщательно обработан напильником под углом 45° .

так, чтобы острая грань не имела зазубрин. Медленно перемещаем нож навстречу изображению звезды. Если нож не в фокусе телескопа, то будет видна темная тень на одной половине объектива или зеркала.

Наша задача — с помощью механизма фокусировки приблизить к фокусу зеркала нож так, чтобы полутень на границе тени ножа, постепенно расширяясь, заполнила всю поверхность зеркала. Нужно поймать положение ножа, когда его рабочая грань «режет» дифракционное изображение звезды пополам. В этом случае зеркало заметно померкнет одновременно по всей поверхности, но не погаснет. (Подробнее о методе Фуко см. [6, 7].)

При беспокойной атмосфере по зеркалу будут бежать тени. Однако при некотором опыте можно установить нож так, чтобы суммарная площадь теней и светлых участков была примерно одинаковой.

Так как нож установлен точно в фокальной плоскости, то фокусировка выполнена, и можно заряжать аппарат пленкой, не сбивая фокусировочного устройства.

Если задняя крышка камеры не открывается, мы не можем установить нож Фуко в кадр. В этом случае нужно выточить специальный «стакан», который наворачивался бы вместо фотоаппарата на фокусирующую трубку (рис. 36). Высота трубки должна в точности равняться рабочему отрезку камеры, и точно на том расстоянии, где устанавливается пленка, должен быть установлен нож Фуко. Так как с этим можно немного ошибиться, нужно предусмотреть возможность несколько приподнимать или опускать нож во время регулировки приспособления.

Чтобы можно было уверенно установить нож на стакане, придется сделать серию пробных снимков. Установив фотоаппарат на место, делаем серию снимков на резкость (см. § 5.10). После проявления пленки находим кадр с наиболее резкими изображениями звезд. Устанавливаем фокусирующий механизм в положении наилучшей фокусировки. Снимаем аппарат и устанавливаем «стакан» с ножом Фуко. Если при наведении на звезду не видна полутень, разлившаяся по всей поверхности зеркала (конечно, при введении ножа в пучок, и только при введении ножа!),

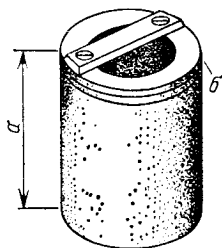


Рис. 36. Фокусирующее устройство с ножом Фуко: *a* — рабочий отрезок фотоаппарата, *б* — тонкие прокладки для точной установки ножа в фокусе

не трогая фокусировочного механизма, слегка приподнимаем или опускаем нож, например, с помощью нескольких тонких прокладок. После того как нож установлен точно и при введении его в пучок света по зеркалу разливается полутень, можно снова установить аппарат и провести серию контрольных снимков, изменяя в пределах нескольких десятых долей миллиметра положение аппарата.

Фокусировка с помощью ножа Фуко очень наглядна, убедительна и практически не допускает ошибок, тогда как фокусировка по матовому стеклу всегда неуверенна, и в течение всей экспозиции и дальше, вплоть до проявления материала, вас мучат сомнения относительно того, был ли достаточно хорошо сфокусирован телескоп.

К сожалению, нож Фуко не пригоден для телескопа с окулярной камерой. Здесь приходится пользоваться матовым стеклом зеркального фотоаппарата. При эквивалентном относительном отверстии $1/40$ — $1/50$ яркость изображения Юпитера и Сатурна на матовом стекле еще достаточна для того, чтобы телескоп можно было сфокусировать. Но при меньших относительных отверстиях, которые часто применяются (около $1/120$ — $1/150$), даже Марс и Луна оказываются недостаточно яркими. Поэтому в практике планетной фотографии часто используются фокусировочные приспособления без матового стекла, когда в сильный окуляр рассматривается «воздушное» изображение.

В этом случае в фокальной плоскости фокусировочного устройства вместо матового стекла устанавливается полированное стекло с крестом нитей точно в фокальной плоскости. Наблюдатель фокусирует сначала только окуляр с таким расчетом, чтобы перекрестие было видно резко, а потом начинает фокусировку телескопа. Наблюдая за изображением планеты, наблюдатель старается сделать его максимально резким одновременно с перекрестием. В этот момент изображение планеты и перекрестие находятся в одной плоскости.

Можно провести и такой несложный контроль. Слегка покачаем головой так, чтобы глаз смещался с оптической оси, и пронаблюдаем за изображением. Если изображение планеты и перекрестие лежат в одной плоскости, то они неподвижны относительно друг друга. Если изображение планеты смещается в ту же сторону, что и глаз, оно расположено ближе к объективу. Если изображение смещается от перекрестия в сторону, противоположную смещению глаза, то оно расположено позади перекрестия, а значит, дальше плоскости пленки.

При фотографировании планет очень важно следить за качеством изображения, которое ежесекундно меняется то в худшую, то в лучшую сторону. Но и в этом случае нет полной уверенности в том, что в момент, когда открылся затвор и, значит, планета перестала быть видна в визире фотоаппарата, случайное движение воздуха не испортило изображения. Английский любитель астрономии Рой Уиллоби предложил камеру с расщепленным лучом (рис. 37).

После проекционного объектива (или окуляра) установлена призма Дове, передняя грань которой алюминирована, и в камеру отражается примерно 75% света. Из оставшегося пучка 5—10% теряется на поглощение в призме и в алюминированном слое, а 15—20% достигают окуляра. Этого света вполне достаточно для того, чтобы можно было фокусировать камеру по воздушному изображению. Очевидно, главное преимущество этой камеры в том, что в момент экспозиции, время которой в случае планетной фотографии может достигать 1—5 с, мы не только следим за изменениями качества изображения, но и видим вибрации после срабатывания затвора или от порывов ветра. Уже к концу экспозиции через несколько секунд можно с уверенностью сказать, достаточно ли велики помехи.

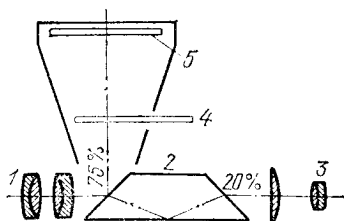


Рис. 37. Окулярная камера с расщепляемым лучом: 1 — проекционный объектив, 2 — призма Дове, 3 — окуляр визира, 4 — затвор, 5 — фотопластинка

§ 4.8. ГИД

Как бы точно ни работал часовой механизм телескопа, если не принять специальных мер, звездные изображения не получатся точками: они на негативе растянутся в более или менее длинные штрихи. Этому есть несколько причин. Во-первых, атмосферная рефракция приводит к тому, что все светила над горизонтом несколько приподнимаются против их истинного положения. Поэтому видимая скорость в суточном вращении небесной сферы на востоке и западе ниже, чем в меридиане. Значит, при больших выдержках наблюдатель вынужден иногда вносить поправки в движение телескопа с помощью механизма тонких движений.

Во-вторых, неточная установка полярной оси приводит к тому, что время от времени приходится поправлять телескоп по склонению.

В-третьих, прогибы трубы телескопа при различных его положениях относительно горизонта также приводят к смещению звездных изображений на фотоэмульсии.

В-четвертых, часовой привод может работать недостаточно равномерно.

Все фотографические телескопы снабжаются дополнительной трубой, в поле зрения которой располагается перекрестие нитей. Задача наблюдателя перед началом экспозиции установить на перекрестие нитей какую-нибудь достаточно яркую звезду и на протяжении всей экспозиции с помощью механизма тонких движений удерживать эту звезду, называемую ведущей, на перекрестии. Эта труба называется *гидом*, и само собой разумеется, что он должен быть максимально жестко скреплен с астрографом.

Рассмотрим некоторые требования, которые предъявляются к гиду. Прежде всего важно, чтобы наблюдатель уверенно видел звезду на перекрестии. Для этого или звезда должна быть достаточно яркой или диаметр гида достаточно большим. Таблица 15а показывает, звезды какого блеска могут быть выбраны в качестве ведущих для уверенного гидирования на линзовом астрографе, а таблица 15б — на рефлекторе и зеркально-линзовом телескопе.

Когда фотографируют с помощью короткофокусного астрографа с большим полем зрения, например, обычным фотоаппаратом с размером кадра от 24×36 до 90×120 мм и полем зрения 10 — 15° и более, можно обойтись гидом диаметром 30 — 50 мм, так как в радиусе нескольких градусов от точки, на которую направлена ось камеры, можно найти звезду 4—6-й звездной величины (4—6^m). Тогда, повернув весь телескоп на эту звезду, мы несколько сместим с центра поля объект, который собрались сфотографировать, и это будет нестрашно, так как поле зрения камеры значительно больше.

Лучше, однако, поступить иначе. В системе крепления гида к камере нужно предусмотреть приспособление, которое позволяло бы наклонять оптическую ось гида к оси камеры по обеим координатам в пределах 3 — 5° . В этом случае мы центрируем (направляем) камеру на нужный нам объект, а гид — на ближайшую ведущую звезду.

Поле зрения телескопа диаметром 150 мм с фокусным расстоянием 1 м составляет примерно $0,7^\circ$. Это значит, что ведущую звезду нужно найти в области площадью около $0,5$ кв. градуса. Если в районе Млечного Пути мы сможем подобрать звезду 8—9^m без особого труда, то на значительном удалении от Млечного Пути, возможно, придется до-

Таблица 15а

Характеристики гида (увеличение Γ и диаметр объектива D) и предельная звездная величина m в зависимости от фокусного расстояния линзового астрографа f' , допустимого кружка рассеяния ρ , ошибки ведения телескопа Δ

Параметр			Характеристика гида		Звездная величина
f' , мм	ρ , мм	Δ , "	$\Gamma, \times$	D , мм	
50	0,05	50	20	30	4 ^m
100	0,05	25	40	50	5
200	0,075	20	50	75	6
500	0,075	8	100	100	7
1000	0,10	5	180	150	8
2000	0,10	2,5	300	200	8

Таблица 15б

Аналогичные данные для рефлектора и зеркально-линзового телескопа

Параметр			Характеристика гида		Звездная величина
f' , мм	ρ , мм	Δ , "	$\Gamma, \times$	D , мм	
50	0,03	30	30	30	4 ^m
100	0,03	15	60	50	5
200	0,03	7	120	75	6
500	0,03	4	300	100	7
1000	0,03	2	500	150	7
2000	0,03	1	800	250	8

вольствоваться звездой 10—11^m. Как видим, для уверенного гидирования нужен гид диаметром 300 мм. Конечно, очень нерентабельно к астрографу максимального в наших условиях диаметра строить гид еще большего диаметра. Поэтому принято диаметр гида выбирать равным диаметру фотографического телескопа, и уж не меньше, чем 0,7 диаметра основного телескопа. Так, автор на протяжении многих лет фотографировал 150-миллиметровым рефлектором Ньютона, гидом которому служил 100-миллиметровый рефлектор (рис. 38). Чаще всего удастся найти ведущую звезду без особых хлопот. Изображение фотографируемого объекта при этом может немного сместиться с центра кадра, но это в допустимых пределах, когда полевые аберрации и прежде

всего кома еще не начинают сказываться. Но уже при фотографировании Большой Туманности Андромеды (М 31) трудно найти подходящую ведущую звезду. Это усугубляется тем, что с гидом используется максимальное увеличение, и яркость дифракционных изображений звезд резко падает.

Почему же приходится применять очень большие увеличения? Дело в том, что в течение долгого и утомительного

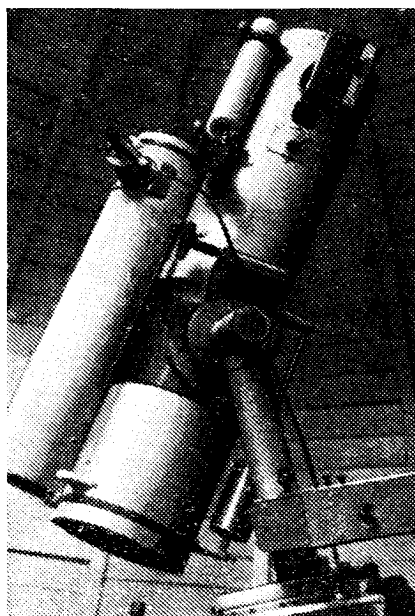


Рис. 38. 150-миллиметровый рефлектор автора со 100-миллиметровым гидом и 50-миллиметровым искателем. Телескоп имеет электрический часовой привод. Противовес расположен в нижней части полярной оси. Рядом с фотоаппаратом видно отверстие и крепежный винт для гидамикроскопа. Телескоп построен в 1968 г.

гидирования глаз наблюдателя устает и может заметить смещение звезды с перекрестия, если оно в поле зрения окуляра составляет не менее 30 мин дуги. На первых порах замечаются и меньшие смещения, но уже через 20—30 мин глаз заметно устает. Ясно, что смещению на $0,5^\circ$ в поле зрения окуляра гида должно соответствовать смещение звезды на фотоэмульсии не более чем на величину кружка рассеяния. Прием диаметр этого кружка 0,05 мм. Тогда

- при фокусном расстоянии фотографического телескопа 1000 мм это соответствует смещению трубы на 0,05 мм: $1000 \text{ мм} = 0,00005 \text{ радиана}$ или $10''$. Значит, если смещению трубы на $10''$ соответствует смещение звезды в поле зрения окуляра гида на $0,5^\circ$ или на $1800''$, то увеличение гида составляет $\Gamma = 1800 : 10 = 180\times$.

- В действительности дело обстоит немного сложнее. В самом деле, если изображение звезды сместится на фотоэмульсии на 0,05 мм, то на новом ее месте возникнет новый кружок рассеяния, равный 0,05 мм. Вместе со старым они создадут пятно длиной 0,1 мм. Поэтому допустимое смещение звезды должно быть меньше 0,05 мм по крайней мере раза в два, а это значит, что увеличение гида в нашем примере должно возрасти до $360\times$. Конечно, эти рассуждения не означают, что нужно очень строго придерживаться указанных величин при выборе увеличения гида. Просто мы хотели показать, что для уверенного гидирования увеличение гида должно быть большим (табл. 15). Не нужно в точности выдерживать эти увеличения, достаточно, если они будут не более чем в 1,5 раза больше или меньше.

- Наиболее разумно использовать в качестве гида сам фотографический телескоп. Для этого достаточно на краю поля зрения, но как можно ближе к кассете, чтобы кома не слишком портила изображения звезд, установить окуляр, а лучше окулярный микроскоп. В поле зрения окуляра располагается перекрестие, которое освещается небольшой лампочкой. Микроскоп можно перемещать по краю поля зрения для того, чтобы выбрать подходящую звезду. После выбора звезды микроскоп закрепляется. Это устройство имеет еще одно преимущество перед обычным гидом. Смещение звезд на фотоэмульсии и в поле зрения гида-микроскопа из-за прогибов трубы совершенно одинаковое. Поэтому во время гидирования можно быть уверенным, что качество снимка не пострадает из-за трудно учитываемых неодинаковых прогибов трубы и гида.

- Для получения больших увеличений не нужно искать слишком короткофокусные окуляры, так как в поле зрения сильного окуляра самые тонкие нити будут выглядеть толстыми и точность гидирования станет невысокой. Чтобы нити были видны тонкими, нужно, чтобы окуляр был слабым, его фокусное расстояние должно быть в пределах 10—20 мм. Для того чтобы с такими окулярами получить увеличение $200\times$, нужно применить линзу Барлоу или окулярный микроскоп. Увеличение линзы Барлоу или микроскопа должно составить в нашем примере $2\text{—}4\times$.

§ 4.9. СЕТКИ И ПЕРЕКРЕСТИЯ

Сетка или перекрестие нитей — довольно деликатное устройство. Оптимальная толщина этих нитей около 0,01—0,02 мм. В качестве них можно использовать волокна, из которых свиты шелковые нити. Нить расплетается, и волокна отделяются друг от друга. Можно применять и волокна, из которых состоит вата. Они тонки и достаточно длинные.

Вынув волокно, вооружаемся лупой и устанавливаем волокно на колечко, выточенное из алюминия или отрезанное от тонкостенной трубки подходящего диаметра. Диаметр колечка должен немного (на 0,5—1,0 мм) превышать диаметр полевой диафрагмы окуляра. Толщина стенок трубки — около 1 мм и высота колечка — 3—5 мм.

Кладем кольцо на стол и острым ножом делаем в мягком металле две насечки на диаметрально противоположных краях кольца, потом поворачиваем кольцо на столе на 90° и делаем еще одну насечку. С противоположного края делаем рядом две насечки на расстоянии примерно 0,1 мм. Затем устанавливаем нити. В одном направлении получается одна нить, а в перпендикулярном направлении — пара тесно расположенных нитей. В точке пересечения нитей в центре колечка расстояние между этими двумя последними нитями около 0,05 мм.

На концах нитей укрепляем по грузику из пластилина, а лучше из свинцовой проволоочки или полоски. Колечко поднимаем и устанавливаем так, чтобы грузы свободно свисали и натягивали нити. После этого в насечки, куда установлены нити, капаем по маленькой капле какого-нибудь синтетического клея. После того как клей затвердеет, обрезаем лишние концы нитей вместе с грузиками.

Колечко устанавливается в окуляр в районе полевой диафрагмы. Оно перемещается вдоль оси окуляра ближе или дальше от линз до тех пор, пока нити не станут видны резко без напряжения глаз.

Для того чтобы нити были хорошо видны на фоне темного неба, их нужно подсветить. Для этого в специальной трубке устанавливается лампочка, которая будет их освещать. В цепь лампы включен реостат, чтобы можно было менять освещенность нитей. Питание лампы производится от батарейки карманного фонаря или лучше от понижающего трансформатора [7].

Для того чтобы лампа не засвечивала поля зрения, нужно на конце трубки установить диафрагму диаметром 2—3 мм, чтобы освещалась только середина перекрестия. Что-

бы перекрестие лучше было видно на фоне неба без добавления яркости, можно между лампой и перекрестием установить оранжевый светофильтр. Прекрасно работают в этом качестве светодиоды. Их габариты так малы, что достаточно просверлить в нужном месте в стенке окуляра отверстие и просто примотать светодиод изолентой.

Можно с успехом применить и другие конструкции перекрестий.

§ 4.10. ЧТО ЗНАЧИТ «ПОПАСТЬ В ЭКСПОЗИЦИЮ»?

Во избежание недоразумений под экспозицией мы будем подразумевать не выдержку t , а произведение освещенности участка экспонируемой пленки E на выдержку Et .

Правильно экспонированный негатив должен иметь оптимальную плотность. Но что значит «оптимальная плотность»? В свое время были отобраны кинокадры портретов, сделанных выдающимися советскими кинооператорами. По чернения освещенной стороны лица на негативах, оцененные экспертами как «нормальные», в среднем имели плотность на 0,85 м выше плотности вуали. В 1963 г. эту плотность выбрали критерием светочувствительности для черно-белых пленок общего назначения в советской системе единиц светочувствительности ГОСТ. По ГОСТ 1963 г. светочувствительность есть величина, обратная той экспозиции, которая необходима данной пленке для получения плотности 0,85 над вуалью,

$$S = \frac{10}{H_{D_0+0,85}},$$

где $H_{D_0+0,85}$ — экспозиция, при которой получается плотность негатива на 0,85 выше плотности фотографической вуали фотоэмульсии. Таким образом, если, например, для получения плотности на 0,85 выше плотности вуали требуется 0,056 лк·с, то чувствительность этой эмульсии равна $10/0,056=180$ ед. ГОСТ. Если в результате подсчета освещенности на пленке выяснилось, что она равна 0,056 лк, то это значит, что нужная экспозиция получится при выдержке 1 с.

Освещенность на пленке можно вычислить по формуле

$$E \text{ (лк)} = \frac{\pi}{4} B_0 A^2,$$

где B_0 — поверхностная яркость объекта, выраженная в канделах на квадратный метр (кд/м² *), A — эффективное

*) 1 кд/м² = 1 ннт = 0,0001 стильб.

относительное отверстие. Например, яркость Луны в полнолуние 2500 кд/м², относительное отверстие телескопа 1/6,3, тогда освещенность на пленке составит

$$\frac{3,14}{4} \times 2500 \times \frac{1}{39,7} = 50 \text{ лк.}$$

Предположим, что мы располагаем пленкой чувствительностью 200 ед. ГОСТ, тогда для того, чтобы получить оптимальную плотность 0,85 над вуалью, нужна экспозиция

$$H = \frac{10}{S} = \frac{10}{200} = 0,05 \text{ лк} \cdot \text{с},$$

выдержка при этом окажется $t = H/E = 0,05 : 50 = 0,001 \text{ с} = 1/1000 \text{ с}$. Итак, если Луну снять в полнолуние телескопом с относительным отверстием 1/6,3 на пленке 200 ед. ГОСТ с выдержкой 1/1000 с, то мы получим плотность негативного изображения Луны на 0,85 выше вуали. Эту выдержку можно увеличить до 1/500. Тогда немного возрастает (на 0,3) плотность негатива.

Нетрудно вывести формулу, куда вошли бы все нужные нам величины. Выдержка в этом случае равна

$$t = \frac{12,7 \nabla^2}{B_0 S \tau}, \quad (10)$$

где ∇ — относительное фокусное расстояние или «диафрагма», B_0 — яркость объекта в кд/м², S — светочувствительность в единицах ГОСТ, τ — коэффициент пропускания телескопа. Для просветленного рефрактора $\tau = 0,9$, для непросветленного $\tau = 0,8$. Для двухзеркального рефлектора $\tau = 0,7$, для многолинзовых просветленных объективов $\tau = 0,8 - 0,6$.

В случае применения окулярной камеры в формулу нужно подставлять квадрат эквивалентного относительного фокусного расстояния, а коэффициент пропускания телескопа умножить на коэффициент пропускания окулярной камеры, который можно принять равным 0,8.

Например, на телескопе Кассегрена диаметром 250 мм и с фокусным расстоянием 3750 мм (1/15) установлена окулярная камера с проекционным увеличением в шесть раз. Нужно вычислить выдержку для съемки Сатурна на пленке 250 ед. ГОСТ. Прежде всего, эквивалентное относительное фокусное расстояние всей системы равно $15 \cdot 6 = 90$. Взяв из таблицы поверхностную яркость Сатурна, подставляем все величины в формулу:

$$\frac{12,7 \cdot 90^2}{100 \cdot 250 \cdot 0,7 \cdot 0,8} = 7,3 \text{ с или примерно } 7 \text{ с.}$$

- Выдержка в 7 секунд потребует очень хорошего хода часового привода и спокойной атмосферы. Если этого нет, выдержку можно сократить, взяв пленку большей чувствительности или уменьшив увеличение окулярной камеры и эквивалентного относительного фокусного расстояния. Взяв пленку чувствительностью 350 ед. ГОСТ и сократив увеличение окулярной камеры до 4 (эквивалентное относительное отверстие системы 60), получим новое значение выдержки $t=2,3$ с. С такой выдержкой требования к часовому приводу заметно ниже, да и вероятность размывания изображения меньше.

- Во время расчетов по данной формуле нужно постоянно помнить, что получаемая выдержка даст почернение 0,85 над вуалью. Однако часто такая плотность не требуется. Например, при фотографировании солнечной короны во время полного затмения плотность 0,85—1,0 может соответствовать внутренней короне, тогда как внешние ее районы будут иметь на негативе заведомо меньшие плотности. Нет никакого смысла прорабатывать плотность удаленных частей хвоста кометы до величины 0,85—1,0. Плотность земной тени на поверхности Луны во время затмения так велика, что при фотографировании нет нужды, чтобы она прорабаталась так же хорошо, как и Луна в полнолуние. Обычно в подобных случаях достаточно, чтобы эти объекты имели плотность на негативе 0,3—0,4 над вуалью. При коэффициенте контрастности 1,0 это соответствует уменьшению логарифма экспозиции примерно на 0,5—0,7, а выдержки в 3—5 раз против вычисленной. Например, яркость земной тени на поверхности Луны во время затмения 0,05 кд/м². Снимаем на пленке 130 ед. ГОСТ с помощью объектива «Таир-3» (1/4,5). Вычислив по формуле (10) выдержку, получим 50 с. Это выдержка, при которой плотность затмившейся Луны на негативе будет такая же, как у лица человека в знойный день. Нам же нужно передать впечатление тени Земли только с небольшой проработкой деталей лунной поверхности. Уменьшив вычисленную выдержку в 3—5 раз, получим 10—17 с. Снимая лунное затмение 4 мая 1985 г., автор получил с помощью «Таира-3» хорошие негативы с выдержкой 8 с для момента после начала полной фазы затмения и с выдержкой 16 с в момент наибольшей фазы.

Снимая на обращаемую (в том числе цветную) пленку, мы можем пользоваться формулой (10), так как до начала отбеливания еще необращенное изображение имеет плотность в сюжетно важных местах около 1,0. Практически это зна-

чит, что чувствительность цветной обращаемой пленки соответствует чувствительности негативной пленки, если она определена в одной системе единиц.

Рассмотрим теперь, что значит «попасть в экспозицию», если поверхностная яркость объекта изменяется в больших пределах. Например, разница между яркостью внутренней и внешней короны может отличаться в 250 раз. Это значит, что при одной выдержке экспозиция в разных частях кадра будет отличаться в 250 раз за счет разной освещенности на пленке. Логарифм экспозиции, откладываемый на сенситометрическом графике, в данном случае равен $\lg 250 = 2,4$. Если коэффициент контрастности равен 1,0, то разность плотностей на негативе составит тоже 2,4. Так, если самые слабые части изображения будут иметь плотность на 0,1 выше вуали, то наиболее плотные места будут иметь плотность 2,5. Это много. В этих частях негатива мы потеряем детали. Попробуем проявить негатив до коэффициента контрастности 0,65. Тогда интервал плотностей на негативе составит 0,65 от прежнего значения, $2,4 \cdot 0,65 = 1,6$. Это значительно лучше, так как верхнее значение плотности скорее всего будет укладываться еще на прямолинейный участок характеристической кривой, и тональные подробности будут сохранены. Уменьшив за счет сокращения времени проявления коэффициент контрастности, мы увеличили фотографическую широту.

Однако все это справедливо, если мы выберем выдержку со снайперской точностью. Предположим, что мы ошиблись в три раза, например, недодержали. Тогда экспозиция уменьшится в три раза, а ее логарифм на 0,5. При коэффициенте контрастности 1,0 плотности упадут на 0,5, а при коэффициенте контрастности 0,65 — на $0,5 \cdot 0,65 \approx 0,3$. Это значит, что при плотности вуали 0,4 внешняя корона должна была бы иметь плотность на 0,1 ниже плотности вуали. Но поскольку это невозможно, она просто пропадет, закрытая вуалью проявления. Верхняя же плотность уменьшится на 0,3 и для внутренней короны станет 1,3. Это хорошая плотность, она даже немного лучше, чем в предыдущем случае. Значит, в конце концов мы сможем сделать хороший позитивный отпечаток, на котором не будет видно только внешних частей короны, зато внутренние проработаются отлично.

В том случае, если мы передержали корону, произойдет обратное. Внешняя корона проработается несколько дальше от солнечного лимба, а внутренняя окажется передержанной, и многие детали пропадут.

Используя формулу (10) и числа табл. 12 и имея в виду наши рассуждения, мы в состоянии вычислить выдержку для многих относительно ярких объектов.

При съемке звездных полей предельная звездная величина телескопа достигается при плотности вуали от неба 0,5—0,8. Почему? Представим себе, что экспозиция была недостаточной и фон от неба принял значение 0,2 над вуалью. Здесь, на нижнем криволинейном участке, градиент (наклон характеристической кривой) низок, а значит, низок и контраст изображения. Поэтому самые слабые, едва выступающие изображения предельных звезд практически сливаются с фоном. Чтобы повысить контраст между фоном и этими звездами, эту часть изображения нужно «передвинуть» на прямолинейный участок кривой, где контраст значительно выше. Но для этого необходимо увеличить экспозицию. Так как при данной светосиле освещенность на пленке от данного объекта постоянна, то остается увеличить выдержку. Это правило касается не только звездных изображений, но и изображения слабых туманностей. Поэтому, снимая слабые туманности, нужно также стремиться достигнуть достаточной плотности фона неба.

Конечно, это не обязательно делать, когда мы имеем дело с яркими объектами и не стремимся достигнуть предельной звездной величины. Однако если мы не хотим «вытягивать» позитив при печати со слишком прозрачного негатива, если мы хотим получить достаточно глубокий черный тон неба вместо серого, лучше всего стремиться к тому, чтобы выдержка была максимально возможная. Пример такого снимка дан на рис. 39.

При подборе экспозиций с помощью пробных снимков (экспозитивов) часто нужно хотя бы примерно определить плотность полученного негативного изображения. Мало кто из любителей имеет доступ к денситометру. Поэтому надо уметь на глаз определить плотность вуали или изображения на негативе. Сделать это можно, сравнивая исследуемый негатив с несколькими нейтрально-серыми фильтрами разной плотности.

Трудно иметь большой набор светофильтров, поэтому можно использовать куски засвеченной и проявленной пленки, которые измеряются экспонометром. Чтобы получить такие фильтры разной плотности, нужно зарядить аппарат негативной пленкой и снять с различными диафрагмами и выдержками совершенно белый лист бумаги.

Равномерно осветим белый экран так, чтобы при заданной выдержке диафрагма была примерно 8. Закроем объек-



Рис. 39. Участок Млечного Пути, снятый в условиях южной горной обсерватории. Астрограф с объективом «Уран-9» построен в Бакинском дворце пионеров и школьников под руководством С. И. Сортина. Пластика ZU-2, выдержка 1 ч 20 мин

тив до 22 и сделаем первый снимок. Теперь приоткроем диафрагму до 16, потом до 11, 8 и т. д. Закончим съемку с диафрагмой 2. Если такой диафрагмы нет, пропорционально увеличим выдержку. После проявления мы получим несколько кадров различной непрозрачности и плотности.

Как определить их непрозрачность? Нужно экспонометр направить на равномерно освещенный белый экран и замерить экспозицию. Затем полностью закрыть окно экспонометра фильтром и заново измерить экспозицию. Если разница составит одно деление диафрагмы — фильтр двухкратный, если два деления — четырехкратный, три деления — восьмикратный и т. д.

Теперь нужно найти фотографическую плотность светочувствительных материалов. Так как она равна логарифму непрозрачности, найдем логарифмы непрозрачности для каждого фильтра с помощью микрокалькулятора или по таблице логарифмов. Приведем пример. Получился такой ряд непрозрачностей: 1,4; 2,8; 5,6; 11,2; 22,4; 45; 90; 180. Найдем десятичные логарифмы. В нашем примере это будет такой ряд: 0,15; 0,45; 0,75; 1,05; 1,35; 1,65; 1,95; 2,25. Это и есть фотографические плотности наших самодельных фильтров.

На каждом таком фильтре со стороны эмульсии напишем тушью его фотографическую плотность. Теперь, имея набор этих фильтров, мы можем сравнивать на глаз их плотность с плотностями участков негативов. Эти глазомерные оценки достаточно точны для большинства практических целей.

ФОТОГРАФИРОВАНИЕ СТАНДАРТНЫМ ФОТОАППАРАТОМ

§ 5.1. ПЕРВЫЕ ШАГИ

Сейчас, когда техника фотографии достигла значительных успехов, фотографирование небесных тел часто представляет собой задачу ненамного сложнее фотографирования обычных земных сюжетов. Вот пример. Зимой 1951 г. я одолжил у приятеля на вечер его «Фотокор», купил пачку пластинок чувствительностью 800° по Хертеру и Дрифилду *) и вечером вышел на улицу. В те времена городское освещение едва зарождалось, и в Ленинске-Кузнецком, где я тогда жил, можно было бесхлопотно наблюдать Большую туманность Ориона в трубу из очковых стекол. Дело было зимой, и естественно, что, установив фотоаппарат на треноге, я направил его на созвездие Ориона. Сфокусировав по матовому стеклу изображение, я был немало удивлен, когда обнаружил, что изображения звезд были хорошо видны на матовом стекле. Затем вставил кассету с пластинкой. После этого оставалось только установить максимальную диафрагму и на полчаса с помощью тросика открыть затвор аппарата. Однако через пять минут мое терпение лопнуло, и я помчался проявлять пластинку. Негатив меня потряс. Несмотря на то, что фотоаппарат был неподвижен, чувствительность не слишком велика, а объектив не очень светосилен, я отчетливо видел на негативе короткие следы звезд до 5—6-й звездной величины. Но более всего меня поразила туманность Ориона, которая была отчетливо видна в виде смазанного пятнышка. Конечно, это была только центральная, наиболее яркая часть туманности, но все-таки!

Для получения звездных следов на пластинке (пленке) при неподвижном фотоаппарате нужны устойчивый штатив, чувствительная пленка, тросик, и, конечно, не слишком засвеченное небо.

Вдали от городских огней фотообъектив с относительным отверстием $1/2$ (диафрагма 2) на пленке 130 ед. ГОСТ позво-

*) Около 45 ед. ГОСТ.

ляет сделать выдержку до одного часа. В этом случае небо прорабатывается уже настолько, что становятся видны силуэты деревьев, домов или башен на фоне относительно

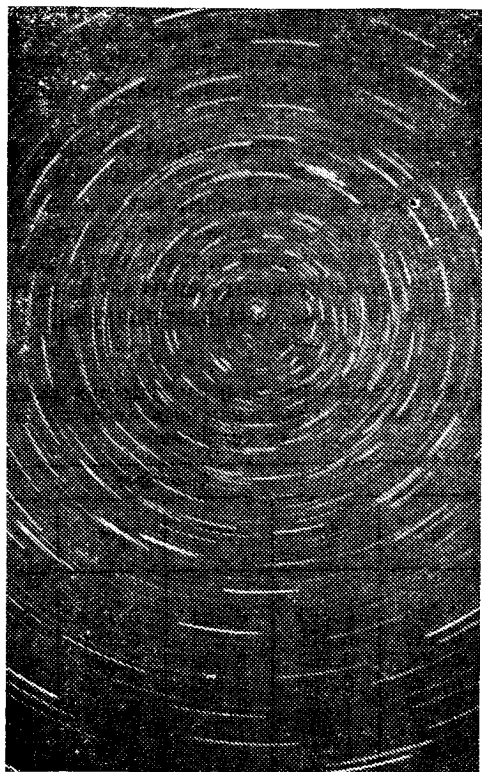


Рис. 40. Вращение неба вокруг северного полюса мира. Оставив на 40 мин открытым затвор своей зеркалки «Зенит-Е» с объективом «Гелиос-44», задиафрагмированным до значения диафрагмы 4, школьники А. Савельев и С. Михлин получили этот снимок летом 1983 г.

светлого неба. Эти силуэты придают особое очарование таким снимкам. Оставаясь резко очерченными на фоне смазанного вращением неба, они подчеркивают величественную картину мироздания.

На пластинке фотоаппарата линейная скорость изображения звезд различна. Она максимальна для экваториальных звезд и минимальна для околополюсных. Поэтому при прочих равных условиях вблизи полюса на снимках не-

подвижной камерой получают гораздо более слабые звезды (рис. 40). За час экспозиции звезды опишут на небе дугу в 15° . Если мы хотим получить значительно более длинные дуги, а это интересно при фотографировании полюса небесной сферы, то можно уменьшить диафрагму до 4 (относительное отверстие $1/4$). Тогда время экспозиции можно безболезненно увеличить до четырех часов. Плотность изображения неба останется примерно той же, но звезды опишут дуги в 60° .

Но не только следы околополярных звезд интересны на таких фотографиях. Очень выразительны восходы ярких созвездий. Августовскими ночами можно получить прекрасные фотографии восхода созвездия Персея, позже, в сентябре под утро замечателен восход созвездия Ориона. Интересны снимки зодиакальных созвездий, когда в них оказываются одна или две большие планеты.

Таблица 16

Скорость перемещения (мм/мин) изображения звезды на пленке неподвижной камеры с фокусным расстоянием f' в зависимости от склонения

f' , мм	Склонение					
	0°	30°	45°	60°	75°	90°
50	0,218	0,189	0,154	0,109	0,057	0,038
100	0,436	0,378	0,308	0,218	0,113	0,076
150	0,654	0,567	0,462	0,327	0,170	0,113
200	0,872	0,756	0,616	0,436	0,227	0,151
300	1,308	1,13	0,924	0,654	0,340	0,227
500	2,18	1,89	1,54	1,09	0,567	0,378
1000	4,36	3,78	3,08	2,18	1,13	0,756
2000	8,73	7,56	6,16	4,36	2,27	1,51

Время экспозиции можно сократить настолько, что звезды на негативе получатся точками. Примем кружок абerrационного рассеяния объектива 0,05 мм. Ясно, что время экспозиции должно быть таким, чтобы изображение звезды сместилось на величину не больше этого значения. Видимая скорость суточного движения звезд максимальна на небесном экваторе ($15''$ в 1 секунду времени) и минимальна на полюсе, где она равна нулю. Очевидно, что время экспонирования подобных снимков зависит от склонения участка неба (табл. 16). Чем больше фокусное расстояние, тем короче должна быть выдержка. Например, при фотографирова-

нин экваториальной области объективом с фокусным расстоянием 100 мм выдержка не должна превышать 7 с. Установив другой объектив с фокусным расстоянием 28 мм, мы можем увеличить выдержку в $100 : 28 = 3,6$ раза и экспонировать 25 секунд без опасения, что изображения звезд вытянутся в штрихи.

§ 5.2. ФОТОГРАФИРОВАНИЕ ИСКУССТВЕННЫХ СПУТНИКОВ ЗЕМЛИ

В наше время в ближнем космосе совершает свои пути огромное количество искусственных спутников. Их яркость достаточно велика, а видимая скорость умеренна. Поэтому нет причины отказываться от возможности получить фотографию спутника, точнее, его тонкого следа среди звезд.

Аппарат должен уже стоять на штативе, чтобы в любой момент не мешкая его можно было направить на ту часть неба, где будет замечен спутник. Вечером это обычно сектор между направлениями на юг и на северо-запад. Где-то в зените спутники погружаются в земную тень и меркнут.

Заметив медленно ползущую точку спутника, направляем аппарат с таким расчетом, чтобы в начале экспозиции спутник оказался в нижней части кадра. Быстро фиксируем аппарат на штативе и тросиком открываем затвор. Будет хорошо, если затвор закроется до того, как спутник достигнет противоположной границы кадра. Тогда на снимке мы увидим не «царапину», пересекающую весь кадр, а влетевший в кадр спутник, увидим его в динамике. За время, пока спутник «ползет» через кадр, успеют проработаться наиболее яркие звезды. Часто во время съемки других небесных сюжетов спутники, «не спрашивая согласия наблюдателя», врываются в кадр, и могут получаться интересные композиции (рис. 41).

§ 5.3. ФОТОГРАФИРОВАНИЕ МЕТЕОРОВ

Фотографирование метеоров — целая область любительской астрономии. Многочисленные подробности можно найти в руководствах по наблюдениям метеоров. Здесь же мы ограничимся кратким изложением сути дела.

Полет метеора или болида продолжается от долей секунды до нескольких секунд, и для съемок нужен светосильный объектив и высокочувствительная пленка. Если работает только один аппарат, то его нужно направить на радиант метеорного потока. Аппарат открывается на время,

пока фон неба на пленке не достигнет достаточной плотности. Для безлунных ночей за городом это может быть полчаса-час. Одновременно с экспозицией наблюдатель осматривает участок неба, куда направлен аппарат. В момент



Рис. 41. Следы двух спутников «Эхо». После многих попыток Ч. Хэнстон сделал этот снимок 28 декабря 1965 г. Нижний трек — след самолета, выдержка 12 мин

пролета яркого метеора нужно засечь время полета и на пару минут прикрыть объектив камеры (рис. 42).

После проявления негатива рассматриваем треки звезд и видим в каждом из них разрыв. Если на позитивный отпечаток наложить кальку и нанести на нее карандашом начала разрывов и сам метеор, можно получить карту окрестностей и на ее фоне метеор.

Можно несколько усложнить установку. Для этого перед объективом аппарата установим obturator, который представляет собой несколько секторных лопастей, насаженных на общую ось и приводимую в движение электродвигателем. Скорость вращения должна быть такой, чтобы объектив перекрывался примерно 20—30 раз в секунду. Если лопастей две, то obturator должен делать примерно 10—15 об/с, если три — 5—10 об/с. Разумеется, для таких скоростей придется obturator снабдить редуктором для снижения скорости вращения мотора.

В момент закрытия объектива обтюратор перекрывает все поле зрения. Теперь, если в поле зрения пролетит метеор, его след окажется не сплошным, а прерывистым. Зная число перекрытий объектива в секунду, легко определить продолжительность полета метеора. Зная масштаб фотографии, можно определить длину следа в градусах, а после

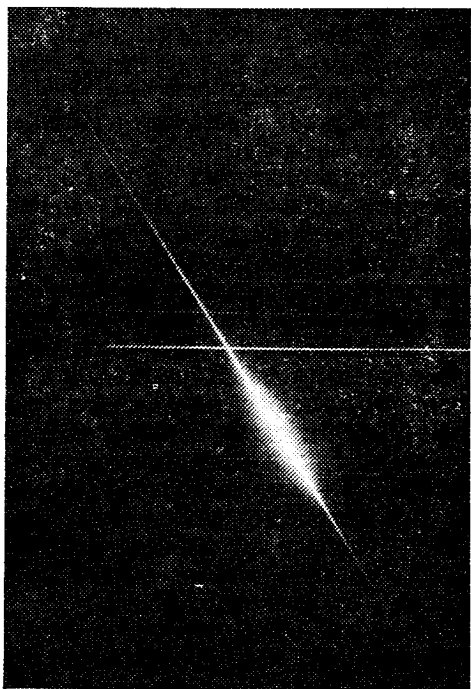


Рис. 42. Яркий метеор (1959 г.). Одна из многих тысяч фотографий, полученных на Симферопольской метеорной станции под руководством В. В. Мартыненко

этого и угловую скорость метеора. Для этого нужно длину пути в градусах разделить на время.

Какой объектив более всего подходит для фотографирования метеоров? Практически любой, если его относительное отверстие составляет не менее $1/4$ — $1/5,6$. Однако предпочтение надо отдать светосильным объективам с относительным отверстием $1/2$ и даже больше, например, «Гелиосу-44». Для увеличения масштаба снимка и повышения точности измерений на пластинке крайне желательно увеличить фо-

кусное расстояние до 100—250 мм. Правда, вместе с увеличением фокусного расстояния необходимо одновременно увеличить формат снимка, так как большое поле зрения — совершенно обязательное условие для регулярного фотографирования метеоров. Это значит, что для f около 70—80 мм необходим формат 6×6 см, для f около 100 мм — 6×9 см, для $f=135$ —150 мм — 9×12 см. Для фокусного расстояния 200—250 мм необходим формат 13×18 см, для фокусного расстояния 300—350 мм — 18×24 см и т. д.

Пригодность объектива для фотографирования метеоров оценивается отношением D^2/f , где D — действующее отверстие, а f — фокусное расстояние объектива. Чем больше это отношение, тем лучше.

При относительном отверстии около $1/2,5$ — $1/2$ на пленке чувствительностью 250—300 ед. ГОСТ во время действия интенсивных метеорных потоков можно надеяться получить хорошую фотографию за 10—15 часов работы. Чтобы сократить время фотографической охоты за метеорами, можно увеличить число камер. Несколько совершенно однотипных камер устанавливаются с таким расчетом, чтобы все вместе они охватывали как можно больший участок неба, но обязательно, чтобы поля зрения соседних камер несколько перекрывались. Обтюратор делается и устанавливается с таким расчетом, чтобы он перекрывал объективы всех камер. Для этого его обычно устанавливают в центре, а вокруг него камеры. Все это вместе называется *метеорным патрулем*. Работая с метеорным патрулем из четырех-пяти камер, на высокочувствительной пленке можно получить фотографии метеоров в среднем за 1—2 часа.

Иногда метеор так ярк, что может быть виден даже днем, а ночью во время полета ярко освещает местность. Это — *болид*. Для съемок болида можно использовать «олл-скэй» камеру (см. § 4.4). Сейчас же хочется обратить внимание на то, что некоторым наиболее расторопным любителям удастся в доли секунды схватить аппарат и, направив его на летящий болид, сфотографировать последний с моментальной выдержкой. Днем это выдержка и диафрагма для съемки обычного пейзажа, а ночью максимальная диафрагма с выдержкой $1/30$ — $1/60$ с. За доли секунды болид сместится мало и получится в виде яркого штриха, но за ним наверняка будет тянуться длинный, хотя и менее яркий хвост. Так как полет болида может продолжаться несколько секунд, можно успеть сделать несколько снимков, при этом нужно постараться сделать кадр, где вместе с болидом будут видны какие-нибудь земные предметы. Это не-

- необходимо для того, чтобы у поисковой группы были данные о направлении, где нужно начинать поиски, если полет болида закончится выпадением метеорита.

§ 5.4. ПОДВИЖНЫЙ МИР НЕБА

- Кроме метеоров и суточных следов звезд, можно получить фотографии и других объектов. Ранним июльским утром на берегу Светлого озера близ своей обсерватории в селе Горн автор сделал снимок восходящего Солнца. Съемка велась фотоаппаратом «Любитель», установленным неподвижно на треноге. Солнце размещалось в нижней левой части кадра. (Искатель «Любителя» дает зеркальное, неконгруэнтное изображение, поэтому в искателе изображение Солнца в начале съемки располагалось внизу справа.) После наведения аппарат был закреплен. Затем с помощью тросика была сделана первая экспозиция. Далее экспозиции повторялись каждые полчаса, а аппарат все это время оставался неподвижным. За три часа съемки получилось несколько изображений Солнца. Как выбрать в этом случае экспозицию?

- С достаточной точностью можно общую экспозицию разделить на число предполагаемых выдержек. Например, по нашим расчетам, на пленке 32 ед. ГОСТ с относительным отверстием $1/22$ для съемки обычного пейзажа с Солнцем в кадре необходима выдержка $1/100$. Тогда для пяти предполагаемых экспозиций придется выбрать выдержки до 1 500 с. Но такой выдержки у «Любителя» нет. Значит, нужно установить перед объективом 4-кратный нейтрально-серый светофильтр. Тогда можно снимать с выдержкой, в четыре раза большей, т. е. $1/125$ (у «Любителя» — $1/100$ с).

- Точно так же можно зафиксировать на пленке восход или заход Луны. Особенно красивы заходы молодого месяца. Здесь лучше установить длиннофокусный объектив, чтобы Луна была покрупнее. Выдержку определим по таблице выдержек в зависимости от фазы Луны, относительного отверстия объектива и чувствительности пленки. Однако лучше выдержки увеличить в два-три раза, чтобы Луна была слегка передержанной. Яркость молодого месяца невелика, и потому выдержки должны быть 1—2 с. В этом случае, не снимая крышки с объектива, затвор фотоаппарата нужно установить на выдержку от руки («В») и зафиксировать кнопку спуска. Сами же выдержки придется делать с помощью крышки объектива, снимая его на 1—2 с и снова надевая на время перерыва.

Как выбрать интервал между снимками? За 1 час небесная сфера поворачивается на 15° , а за 1 мин — на $15'$. Видимый диаметр Луны $30'$. Это значит, что собственный диаметр она проходит за 2 мин. Далее все зависит от того, насколько часто должны располагаться изображения месяца на снимке. На рис. 43 интервал между экспозициями составлял 1 мин.

Необычайно выразительный и остроумный снимок сделал известный американский любитель астрономии Денис



Рис. 43. Заход Луны. Открывая раз в минуту на $1/4$ секунды крышку «Таира-3», заднафрагмированного до значения 8, автор получил этот снимок летом 1984 г. на пленке «Фото-130»

ди Сикко, живущий во Флориде. Он установил аппарат с центральным затвором неподвижно на окне своего офиса на целый год, направив его на восток. В поле зрения был пейзаж с восходящим Солнцем. В ясные дни, с интервалом в неделю, приходя на работу, он делал один снимок точно в 9 часов утра (с точностью до нескольких секунд) не переводя кадра. Пейзаж остался без изменений, а Солнце перемещалось. Во-первых, зимой оно было низко, а летом высоко. Во-вторых, из-за неравномерного движения Земли по своей орбите в разные времена года Солнце несколько запаздывает или спешит по нашему среднесолнечному времени. В результате на пленке образовалась восьмерка из солнечных

ных изображений. Читатель, знакомый с системой счета времени, сразу сообразит, что на фотографии получилось реальное изображение так называемого уравнения времени. При объяснении этого понятия такая фотография ценнее многих графиков и абстрактных рассуждений. Можно ли придумать более остроумное украшение для кабинета астрономии!

Если Луна и яркая планета находятся в соединении на расстоянии примерно около градуса, можно за один вечер получить фотографию, на которой будет отчетливо видно движение Луны по орбите относительно планеты. За сутки Луна перемещается на $12,5^\circ$. За час она смещается на $0,5^\circ$. Таким образом, за два-три часа съемки Луна переместится относительно планеты на $1-1,5^\circ$.

Несколько слов о фоне таких снимков. Может так случиться, что Луна войдет в поле зрения установленного аппарата, когда небо уже достаточно темное. Тогда изображение Луны получится на совершенно темном фоне. От этого снимок проиграет. Чтобы этого не случилось, в сумерках еще до того, как Луна вошла в кадр, нужно сделать снимок пейзажа, но с недодержкой в два-три раза. Для этого достаточно замерить яркость неба экспонометром и уменьшить диафрагму на одно-два деления. Сделав снимок фона, нужно подождать, когда Луна войдет в кадр, и начать съемку движения Луны на потемневшем небе.

§ 5.5. СЪЕМКА СЕРЕБРИСТЫХ ОБЛАКОВ И ПОЛЯРНЫХ СИЯНИЙ

Серебристые облака и полярные сияния — это не астрономические объекты, но было бы неразумно отказываться от возможности снять эти довольно редкие явления (рис. 44 и 45).

Серебристые облака видны на фоне сумеречного сегмента неба в летние месяцы, когда Солнце погружается под горизонт не больше чем на 18° , так как в противном случае они окажутся в тени Земли, и не меньше чем на 6° , когда еще достаточно светло и они сливаются с фоном неба. Появляются **они** главным образом в полосе между широтами $50-65^\circ$ [21].

Изумителен их призрачный свет. Яркость облаков, их форма и размеры могут быть самыми различными. Угол зрения камеры должен быть как можно больше. Если размеры облаков слишком велики, то можно использовать



Рис. 44. Серебристые облака 22 июня 1976 г. Фотоаппарат «Зоркий-4», объектив «Юпитер-8», задиафрагмированный до значения 3,5. Выдержка 20 с. Фото Ю. А. Гришина

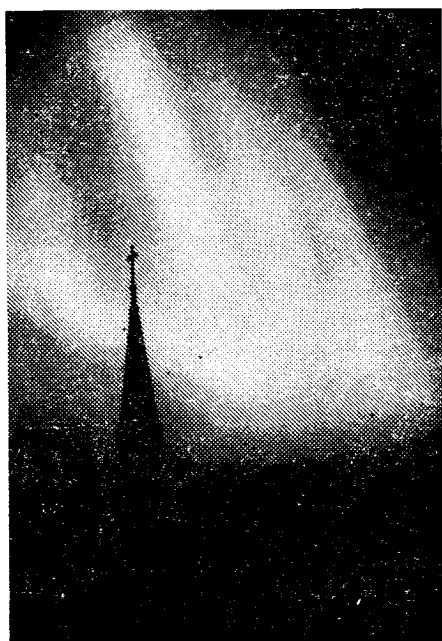


Рис. 45. Красное полярное сияние над Гарвардской обсерваторией 18 сентября 1941 г. Выдержка 10 с. Фото Р. Мэйолла

панорамную съемку двумя или тремя камерами с таким расчетом, чтобы поля камер слегка перекрывали друг друга.

Объектив должен быть по возможности светосильным. Вопрос о выдержке можно решить только опытным путем. Для этого в ближайший же ясный вечер нужно сделать экспонограмму — серию снимков сумеречного сегмента с различными выдержками при максимальном относительном отверстии. При относительном отверстии $1/2$ и высокочувствительной пленке выдержки должны возрасти от 15 с в два раза при переходе к каждой новой экспозиции. Максимальная выдержка составит 2—3 мин.

Яркость сумеречного сектора непрерывно меняется, поэтому нужно повторять экспонограммы каждые 15—20 мин. После проявления рассмотрим негативы и выберем из них те, где плотность фона неба хорошо заметна, но еще не слишком велика. На горизонте должны быть отчетливо видны силуэты деревьев, домов, столбов и т. д.

Интересно сделать серию снимков одной и той же гряды серебристых облаков. Тогда можно будет проследить за их движением и изменениями в структуре. Важно, чтобы интервалы между экспозициями были одинаковыми. Величина одного интервала 10—15 мин. Особенно интересны покадровые киносъемки серебристых облаков.

Другим геофизическим явлением, с которым может иметь дело любитель астрономии, является полярное сияние. Полярные сияния обычно видны севернее полярного круга, но и в средних широтах в годы активного Солнца полярные сияния бывают и частыми и достаточно яркими. Например, на широте Новосибирска автор часто наблюдал очень интересные сияния в 1958 и 1982 гг. Особенно они выразительны вдали от города и его огней.

Полярные сияния часто охватывают большие площади неба, и поэтому фотоаппарат должен иметь широкоугольный или хотя бы нормальный объектив, а относительное отверстие должно быть по крайней мере $1/2$ — $1/2,8$, а лучше $1/1,5$. На высокочувствительных пленках можно получить хорошие фотографии сияний за 10—15 с. На цветных обрабатываемых пленках типа «Орвохром» чувствительностью 18 ДИН для хорошего слайда сияние придется экспонировать 2—3 мин. Лучше всего сделать серию снимков с разными экспозициями — экспонограмму. Как обычно, выдержки должны возрасти в два раза. Например, при относительном отверстии $1/2$ и чувствительности пленки 130—180 ед. ГОСТ это могут быть такие выдержки: 20, 40, 80.

160 с. В средних широтах полярные сияния не слишком частое явление, а фотографии так эффектны, что во время их фотографирования нет особого смысла экономить пленку.

§ 5.6. ПРОСТЫЕ МОНТИРОВКИ

На первый взгляд, для того, чтобы начать передвигать камеру за небесным объектом, достаточно открепить головку штатива и, действуя длинной ручкой штатива, медленно

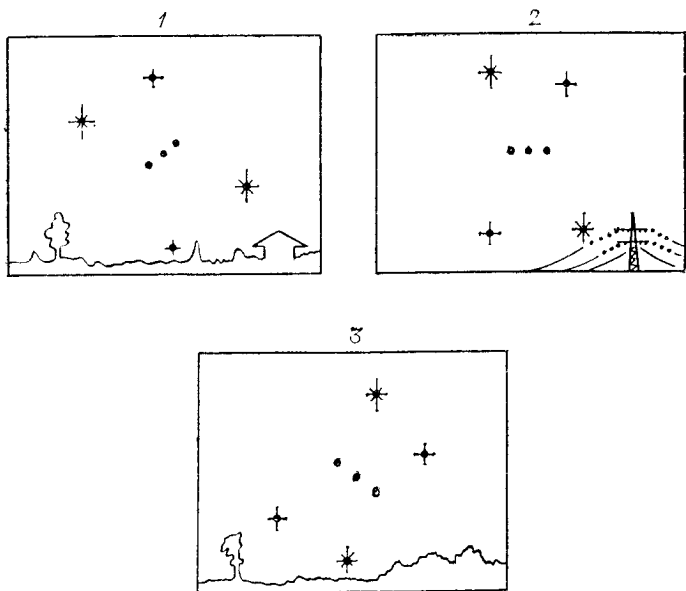


Рис. 46. Вращение поля зрения при фотографировании астрографом на азимутальной монтировке

поднимать камеру и одновременно перемещать ее по горизонтали. Однако при таком движении камеры на штативной головке горизонтальная и вертикальная границы кадра остаются все время параллельными самим себе. Созвездия же в своем суточном движении меняют свое положение относительно горизонта — поворачиваются. Ясно, что в поле зрения камеры, сохраняющей относительно горизонта одно и то же положение, изображение созвездия также будет поворачиваться (рис. 46). При длительной экспозиции звезды получатся в виде дуг. Эти дуги будут тем длиннее, чем дальше звезда расположена от центра поля зрения.

- Впрочем, смещение звезд по этой причине значительно меньше, чем их смещение в случае неподвижной камеры, и мы можем воспользоваться этим обстоятельством, чтобы увеличить выдержку без заметного растягивания звезд в штрихи. Действительно, при съемке экваториального созвездия в меридиане при неподвижной камере максимально допустимая выдержка при фокусном расстоянии объектива 50 мм составляет 20—30 с, а движущаяся на азимутальной установке камера форматом 24×36 мм позволит увеличить время экспозиции до 3—5 мин. Продолжительность экспозиции, при которой на краю поля звезды получают еще точками, зависит не от фокусного расстояния объектива, а от формата кадра.

Для того чтобы контролировать плавность и точность хода камеры, всю установку придется снабдить гидом — небольшим телескопом или подзорной трубой с перекрестием в поле зрения; для фокусного расстояния фотоаппарата 50—150 мм этот гид должен иметь увеличение 20—50 крат. Его нужно как можно жестче закрепить на штативной головке. Приведя на перекрестие ведущую звезду, мы слегка расфокусируем ее изображение и начнем осторожно двигать штативную головку за длинную ручку, следя за тем, чтобы расплывчатое изображение ведущей звезды постоянно делилось перекрестием на четыре равных сектора.

После некоторого опыта читатель легко получит интересные фотографии экваториальных созвездий, где на чувствительных пленках с объективом 50 мм и относительным отверстием 1:2 получатся звезды до 9—10-й звездной величины [26]. В конце концов выдержку можно увеличить раза в три и выиграть еще одну звездную величину, но использовать для работы нужно только центральную часть кадра, где звезды практически не сместились.

В заключение заметим, что вместо обычной треноги можно воспользоваться небольшим телескопом, например, «Алькором». Гидом будет служить сам телескоп, а его монтировка, снабженная микрометренными винтами, сделает гидирование удобным.

§ 5.7. ЭКВАТОРИАЛЬНЫЕ МОНТИРОВКИ

Чтобы предотвратить вращение поля зрения, нужно соорудить экваториальную монтировку. Рисунок 47 наглядно показывает конструкцию двух вариантов монтировки, сделанных из многослойной фанеры, нетолстых дощечек или другого подходящего материала. В первом случае (а) осью

вращения служит шуруп или гвоздь, а во втором (б) — мебельный шарнир. С помощью штативной головки со струбциной, а лучше с помощью конгрессного винта (винта для крепления фотоаппарата к штативу), фотоаппарат крепится к стойке на монтировке. После этого приводится во вращение винт тонких движений и открывается затвор. Ясно, что для контроля за скоростью движения камеры придется

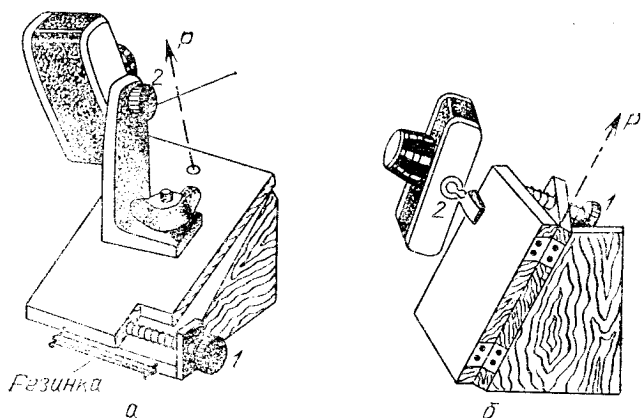


Рис. 47. Простые экваториальные монтировки: 1 — винт тонких движений, 2 — конгрессный винт; стрелка указывает направление на северный полюс

прибегнуть к услугам гида, как было описано выше. Если полярная ось установки направлена точно на полюс мира, то можно обойтись и без гида. В этом случае нужно вычислить скорость вращения винта для того, чтобы площадка, на которой крепится камера, получила скорость вращения 15° в час.

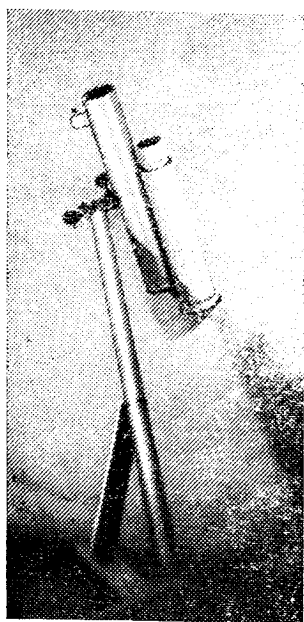
Предположим, что винт имеет шаг резьбы 1 мм. Расстояние от полярной оси до винта равно 229 мм. Тогда за один оборот винт повернет площадку на угол $1/229 = 0,00437 = 0,25^\circ$. Повернув винт на четверть оборота, мы сместим аппарат на $15 : 4 = 3,75'$. За 15 с звезда переместится на $3,75'$. Это значит, что каждые 15 с нужно поворачивать винт на четверть оборота, и аппарат скачками будет следовать за звездой. Смещение на пленке не будет превышать 0,05 мм, если фокусное расстояние объектива 50 мм. При увеличении фокусного расстояния в два раза интервал между поворотами аппарата нужно сократить тоже в два раза.

Монтировку можно автоматизировать [27, 7].

§ 5.8. ЭКВАТОРИАЛЬНЫЙ ТЕЛЕСКОП В КАЧЕСТВЕ ГИДА

Мы уже упоминали «Алькор» как телескоп, на котором можно установить фотоаппарат и использовать телескоп на азимутальной монтировке для коротких экспозиций. Интереснее несколько изменить монтировку телескопа для того, чтобы она превратилась в экваториальную, а микрометрический винт перемещений по азимуту стал винтом по прямому восхождению. Обычно монтировка позволяет вести телескоп в пределах 8° . Это соответствует примерно 30 мин времени. Устройство микрометрического винта

Рис. 48. Телескоп «Алькор», переоборудованный школьником О. Лозинским. Виден самодельный астрограф с объективом от зеркальной трубы с фокусным расстоянием 330 и диаметром 50 мм



«Алькора» элементарно, и читатель без труда сможет его несколько усовершенствовать, удливив сам винт и тем самым увеличив время, в течение которого можно экспонировать. Без особых усилий это время можно увеличить до 45 мин.

Школьники Антон Савельев из Новосибирского клуба им. Д. Д. МаксUTOва и Олег Лозинский из Львова в 1982 г. реализовали два принципиальных решения. Первый из них изготовил дополнительную к стойке трубку, изогнутую под углом 55° (широта Новосибирска). Второй поступил



Рис. 49. Снимок скопления Плеяды, М 45 получен на астрографе, изображенном на рис. 48. Пленка «Фото-65», выдержка 30 мин. На негативе видны звезды до $11,5^m$. Фото О. Лозинского



Рис. 50. Участок созвездия Ориона. Камера «Зенит», объектив «Юпитер 9», $1/2$. Вверху «Пояс Ориона», в центре «Меч Ориона». Видна туманность М 42. Снимок получен А. Савельевым на переоборудованном телескопе «Алькор»

проще — наклонил саму стойку под углом, равным широте Львова, и сделал подпорку из двух деревянных брусков (рис. 48). Такое же решение описал и А. Д. Фомин [34].

На такой монтировке можно с успехом устанавливать аппараты с фокусным расстоянием до 300 мм. Это могут быть обычные фотообъективы или самодельные астрографы, которые также могут дать хорошие результаты (рис. 49, 50).

Значительно большие возможности предоставляет 110-миллиметровый телескоп-рефлектор «Мицар». Благодаря его более массивной и совершенной монтировке работать с ним значительно удобнее. Правда, и здесь приходится вести телескоп с астрографом вручную. Но делать это проще: его монтировка значительно удобнее, имеется крест нитей, площадка для крепления фотоаппарата, координатные круги.

§ 5.9. СМЕННЫЕ ОБЪЕКТИВЫ

Совершенно естественно стремление любителя иногда изменить масштаб снимка. Например, для съемки частных фаз солнечного затмения или фаз Луны штатные объективы малоформатных камер с фокусным расстоянием 50—80 мм малоприспособны. Диаметр солнечного или лунного изображения в этом случае будет около 0,5 мм. Сделать удовлетворительный отпечаток с такого негатива почти невозможно. Поэтому любители стремятся построить астрограф с длиннофокусным объективом.

Однако не стоит прежде времени откладывать в сторону малоформатную камеру. Гораздо разумнее использовать ее корпус, заменив только объектив. Если вы давно занимаетесь фотографией и у вас имеется набор сменных объективов, такое решение покажется вам совершенно естественным.

Если объективов нет, придется сделать их самому. В простейшем случае в качестве собственно объектива можно использовать одиночную плосковыпуклую линзу. Выточим из металла или сделаем из бумаги на эпоксидном клее трубку подходящего диаметра. Пара коротких трубок-колец, с трением входящих в первую, будет удерживать линзу от выпадания. Длину трубки выберем с таким расчетом, чтобы линза оказалась от плоскости пленки на расстоянии, равном ее фокусному расстоянию.

В Новосибирском клубе им. Д. Д. МаксUTOва построен подобный объектив. В качестве фокусирующего устройства

была использована оправка старого объектива «Юпитер-9» (см. рис. 34), предназначенного для дальномерных фотоаппаратов, которые практически не применяются в клубе. Однако его резьба подходила к аппарату «Зенит». То, что рабочие отрезки зеркальных камер больше, чем у дальномерных, в данном случае не имеет большого значения, потому что мы можем по желанию изменить длину трубы, которая вместе с объективом вставляется в верхнюю часть оправы. В качестве объектива был использован визуальный ахромат от зрительной трубы. На обычных панхроматических эмульсиях результаты получаются вполне приличными.

Разумеется, в качестве объектива может быть использован не только ахромат. Возможно применение и других длиннофокусных объективов, например от старых фотоаппаратов. Конечно, прежде чем приниматься за работу, надо испытать сам объектив. Нужно помнить, что многие длиннофокусные широкоугольные объективы для крупноформатных камер имеют за счет большого поля зрения сниженное качество изображения по всему полю. Часто это единственная возможность у конструктора получить большое поле зрения. Поэтому нередко для полей зрения $2-3^\circ$ простой визуальный ахромат от зрительной трубы может оказаться лучше, чем многолинзовый длиннофокусный объектив для большого формата.

Как испытать объектив? Для этого его нужно использовать в качестве объектива зрительной трубы в сочетании с окуляром. Фокусное расстояние окуляра должно быть 10—15 мм. Разглядывая издали серию черных параллельных линий, нанесенных на лист белого ватмана, мы можем судить о качестве объектива. При испытании объективов с различными фокусными расстояниями важно не забыть, что размеры миры в фокальной плоскости должны быть одинаковыми. Для этого различные объективы придется испытывать с разных расстояний.

Например, если мы хотим сравнить качество штатного объектива нашего аппарата с фокусным расстоянием 50 мм и телеобъектива с фокусным расстоянием 300 мм, то во втором случае нужно отойти от миры в шесть раз дальше. Расстояние до миры и частота линий на ней выбираются с таким расчетом, чтобы линии были видны на пределе разрешения.

Важно также иметь в виду, что выходной зрачок системы фотообъектив — окуляр должен быть не больше зрачка глаза в момент испытаний. Днем не более 2, а в темноте не более 5 мм. В противном случае мы как бы заднафрагми-

руем испытуемый объектив, и он «покажет» нам изображение значительно лучше того, что он может дать. Подробнее о входном и выходном зрачках можно прочесть в книгах [1, 2, 6, 7].

Конечно, для астрономической съемки больше всего годятся зеркальные фотоаппараты типа «Зенит» благодаря тому, что они позволяют видеть на матовом стекле все, что будет зафиксировано на пленке. Но можно применять также аппараты «Смена» или «Зоркий», если их задние крышки снимаются. В этом случае предварительные работы по фокусированию, определению рабочих отрезков, границ кадра и т. д. можно выполнить, установив в кадровом окне аппарата кусочек матового стекла, который можно получить, отшлифовав друг на друге два кусочка обычного стекла. Для шлифовки можно использовать не слишком грубые шлифовальные порошки (M28—M40) или наждачную шкурку «нулевку». Чтобы ускорить шлифовку, ее нужно вести с добавлением воды.

У камеры «Смена», кроме того, придется снять объектив. Для этого у старых моделей достаточно отвернуть четыре винта на передней стенке. После этого объектив с центральным затвором снимается.

Возможно, придется прибегнуть к помощи токаря, чтобы выточить резьбовую фокусирующую трубку с шагом резьбы около 1 мм. Эта трубка легко может быть установлена на место снятого с «Зоркого» объектива, а для «Смены» придется сделать на нашей точеной трубке фланец, в котором просверлить четыре отверстия, и с помощью винтов установить ее на место снятого объектива.

После сборки и предварительной фокусировки нужно выполнить точную фокусировку объектива. Для этого на оправе нанесем несколько штрихов, с помощью которых можно фиксировать различные положения объектива при перефокусировке. Сфокусировав на глаз объектив, направляем его ночью на достаточно яркую, 1—2^м, звезду, выдвигаем объектив от предполагаемого значения «бесконечности» на 2 мм и даем звезде прочертить свой суточный след в течение 1—2 мин. После этого вворачиваем объектив на четверть миллиметра и делаем еще один снимок суточного следа. Для этого придется камеру немного сместить по склонению. Затем еще вдвигаем объектив на четверть миллиметра. Смещая объектив все больше и больше, мы «пройдем» положение, при котором на глаз фокусировка кажется наиболее точной. Остановимся после того, как объектив на пару миллиметров окажется «ниже» точки «бесконечности».

Ясно, что все положения объектива должны быть четко отмечены и последовательность экспозиций записана. Лучше последнюю экспозицию сделать раза в два длиннее, чтобы на негативе видеть начало и конец испытаний. После этого с помощью лупы выбираем наиболее резкий и тонкий след и определяем, при каком положении объектива он получен. Это положение и есть положение наилучшей фокусировки.

§ 5.10. КАК ПРИМЕНИТЬ БИНОКЛЬ?

Если у вас есть бинокль или зрительная труба, им тоже найдется хорошее применение. Бинокль — афокальная система, он не имеет эквивалентного фокусного расстояния, а только увеличивает видимые угловые размеры предметов. Если предположить, что фотоаппарат — это глаз (для оптика в этом нет ничего удивительного), то, приставив к объективу аппарата бинокль, мы увеличим видимые (аппаратом) размеры предметов или, что все равно, увеличим эквивалентное фокусное расстояние фотообъектива (рис. 51).

Если вы располагаете «зеркалкой», достаточно установить объектив камеры на «бесконечность», приставить бинокль окуляром к объективу камеры, и, фокусируя окуляр, добиться резкости изображения.

Эквивалентное фокусное расстояние равно первоначальному фокусному расстоянию фотообъектива, умноженному на увеличение бинокля. Например, 7-кратный (БПШ-7×50) бинокль в сочетании с объективом «Гелиос-44» ($f=58$ мм) даст эквивалентное фокусное расстояние 406 мм.

Ясно, что для нормальной работы нужно и объектив и фотоаппарат установить на едином основании и жестко закрепить, чтобы всякие взаимные смещения были исключены. Еще проще закрепить на подобном основании подзорную трубу, которая работает с таким же успехом. Дальномерный (а также шкальный) аппарат нужно сфокусировать по пробным снимкам звездных следов. Объектив дальномерного аппарата нужно установить на «бесконечность», а фокусировать окуляром бинокля: начать, сместив окуляр в сторону «плюса», пройти «0» и остановиться на «минусе».

Чему равно относительное отверстие фотообъектива в «упряжке» с биноклем? Оно равно диаметру объектива бинокля, деленному на эквивалентное фокусное расстояние всей системы. Например, в предыдущем случае диаметр объектива бинокля равен 50 мм, а фокусное расстояние

400 мм, значит, относительное отверстие равно $50/400=1/8$. Это совсем неплохо для такого длиннофокусного объектива. Пока речь идет о съемке Луны и Солнца, можно использовать и еще меньшие относительные отверстия. Например, тот же объектив в сочетании с 20-кратной трубой «Турист»

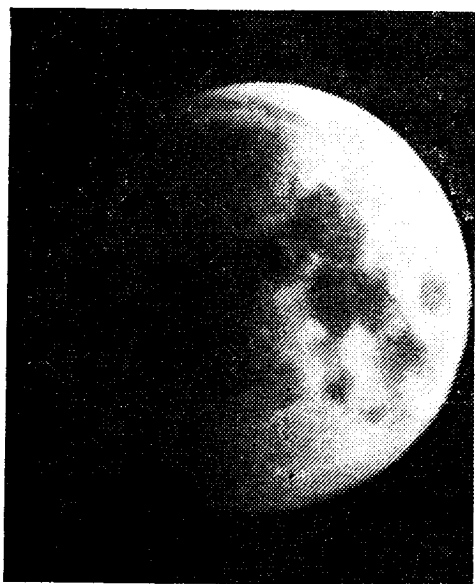


Рис. 51. Лунное затмение 16 сентября 1978 г. Перед «Зенитом-В» (объектив «Гелиос-44») была укреплена подзорная труба с увеличением 20 $\times$. Пленка «Фото-130», выдержка 1/30 с. Фото Л. Л. Сикорука

даст эквивалентное фокусное расстояние 1160 мм, относительное отверстие при диаметре объектива трубы 50 мм будет равно $50/1160=1/23$. С таким относительным отверстием на высокочувствительных пленках можно получать хорошие фотографии Луны вблизи полнолуния. При малых фазах, когда поверхностная яркость Луны невелика, даже выдержки 1/30 с окажется недостаточно. Единственный путь — установить все приспособление на экваториальную монтировку, чтобы аппарат двигался вслед за Луной, и снимать с выдержками 0,5—1 с. Но тут мы подошли уже к достаточно сложному вопросу о съемке Луны и планет с окулярной камерой, который рассматривается в главе шестой.

§ 5.11. УСТАНОВКА ПОЛЯРНОЙ ОСИ

Вспомним о вращении поля зрения в том случае, когда мы снимали с относительно длинными выдержками астрографом на азимутальной монтировке. Нечто подобное происходит и в том случае, когда полярная ось монтировки установлена недостаточно точно, и суточный след звезды не совпадает с суточным следом воображаемой точки пересечения оптической оси камеры с небесной сферой (рис. 52).

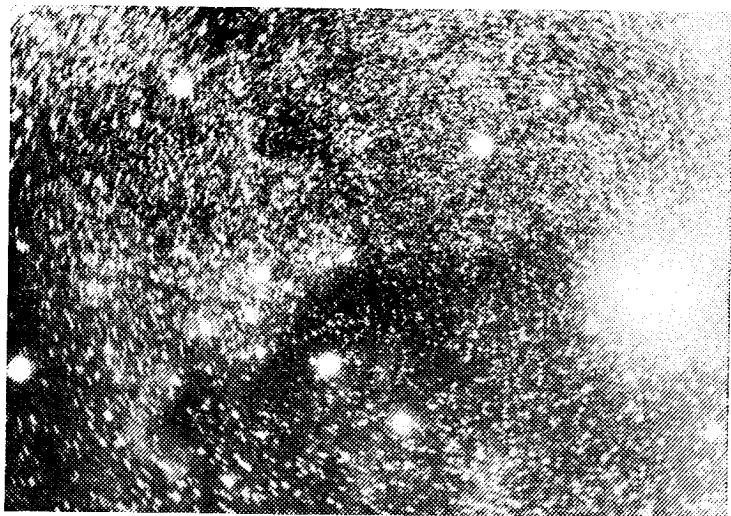


Рис. 52. Пример вращения поля из-за неправильной установки полярной оси. Объектив «Таир-3», выдержка 1 ч. Слева туманность NGC 7000 Северная Америка, большое пятно справа — Денеб (α Лебедя)

Предположим, что инструментальная ось OP' наклонена к горизонту под углом, меньшим, чем ось мира OP (рис. 53). Тогда при вращении вокруг оси инструментальный «экватор», совпадая с небесным в точках запада и востока, на юге поднимется выше. Теперь во время длительной экспозиции экваториального объекта, расположенного на востоке, нам придется регулярно поправлять телескоп-гид таким образом, чтобы верхний конец гида все время опускался, следуя за небесным объектом. Отсюда можно вывести простое правило установки полярной оси по высоте. Если при слежении за объектом на востоке нам постоянно приходится микрометрическим винтом поправлять склонение

инструмента так, что верхний конец астрографа или телескопа опускается, значит, ось имеет меньший угол наклона, чем ось мира, и ее северный конец нужно приподнять.

Для этой цели монтировка должна иметь специальный винт. Таким же образом можно выставить полярную ось

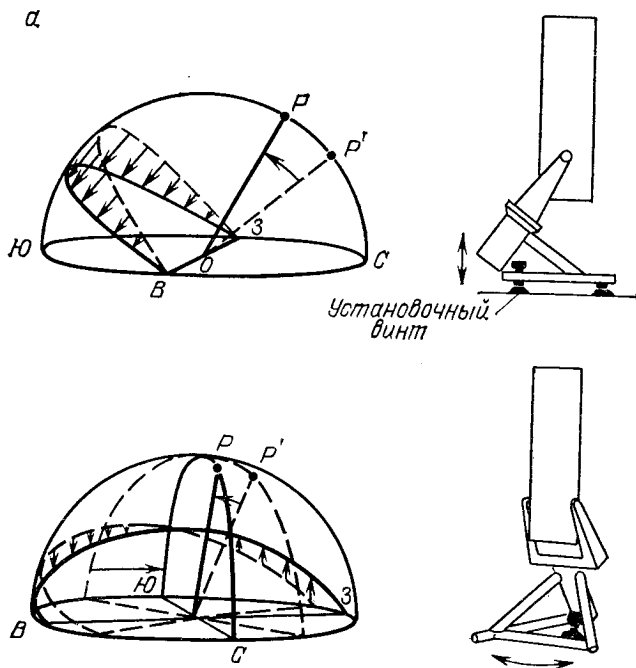


Рис. 53. Положение инструментального полюса, экватора и меридиана при неправильном угле наклона полярной оси (а) и неправильном азимуте оси (б)

астрографа по азимуту. Для этого наблюдаем какую-нибудь звезду на юге. Поместив ее на перекрестие, следим за тем, куда она смещается, и приводим ее микрометрическим винтом оси склонения снова на перекрестие. Если при этом верхний конец телескопа приходится опускать, то ось смещена к востоку и ее северный конец надо сместить к западу. Наоборот, если верхний конец трубы телескопа поднимается, северный конец оси нужно сместить к востоку (рис. 53, б). Это довольно простой способ, и при некотором навыке установку можно сделать за 1,5—2 часа, особенно если начать работу днем, следя гидом за Солнцем, а в сумерках

за первыми яркими звездами. Для стационарного телескопа эту процедуру нужно повторить несколько раз, постепенно все больше и больше приближаясь к точному положению оси. Можно считать ось хорошо установленной, если в течение часовой экспозиции требуется две-три коррекции по склонению и если звезда смещается с перекрестия в общей сложности на 10—20".

Естественно, что эта методика не годится для портативного астрографа, который после ночной работы убирается или вообще перевозится с места на место. При этом установка полярной оси должна занимать от силы полчаса.

В этом случае проще всего в двух кольцах с регулировочными винтами параллельно полярной оси монтировки установить небольшую зрительную трубку [31]. Если бы Полярная звезда находилась точно на Полюсе мира, то было бы достаточно, действуя регулировочными винтами монтировки, привести в центр поля зрения Полярную звезду, и ось была бы установлена очень точно.

К сожалению, Полярная лежит в 50' от полюса, а на самом полюсе нет сколько-нибудь яркой звезды. Поэтому в поле зрения трубки (точно в фокальной плоскости ее объектива) нужно установить сетку, рисунок которой представляет собой круг диаметром, соответствующим на небе $2 \times 50' = 1^\circ 40'$. Это круг, по которому движется в своем суточном и годичном движении Полярная. Нам важно знать ее часовой угол на каждый вечер. Этот угол вычисляется по формуле

$$t = \alpha - S,$$

где α — прямое восхождение Полярной (его можно найти в каталоге положений звезд или приблизительно по звездной карте), S — звездное время на момент наблюдения. На сетке, кроме круга, должны быть нанесены часовые углы в виде коротких штрихов. Четыре из них, соответствующие 0, 6, 12 и 18 ч, должны быть подлиннее. Эту сетку можно вычертить тушью на ватмане, переснять в нужном масштабе и отпечатать на позитивной пленке. В сумерках она будет хорошо видна в поле зрения искателя полюса при малых увеличениях.

Поворачивая монтировку по азимуту и регулируя высоту полярной оси по высоте, приводим Полярную звезду в поле зрения трубки. Затем смотрим, чему равен часовой угол Полярной на момент наблюдений, и продолжая поворачивать ось монтировки по азимуту и высоте, приводим Полярную на окружность в поле зрения напротив штриха,

соответствующего ее часовому углу. После этого полярная ось установлена достаточно точно.

Разумеется, прежде, чем мы сможем выполнить эту процедуру, нужно точно установить саму трубку — искатель полюса. Для этого придется потратить одну ночь. Сначала, наблюдая звезды над точкой юга (на меридиане) и над точкой востока (в первом вертикале), методом, описанным выше, устанавливаем полярную ось, чтобы за 15—20 мин нам потребовалось не более одной-двух легких коррекций по склонению. После этого приводим Полярную звезду на ее место на круге в поле зрения трубки, действуя юстировочными винтами двух колец. Теперь можно сбить монтировку с правильного положения, а затем снова установить, но уже с помощью полярной трубки. После этого нужно проверить, как быстро смещается по склонению ведущая звезда. Если за 15—20 мин требуется не более одной-двух коррекций, можно считать, что монтировка установлена точно.

§ 5.12. ЛУННЫЕ ЗАТМЕНИЯ

Затмения — довольно редкие явления, и нужно хорошо подготовиться к их наблюдениям. Начнем с лунных затмений. Лунное затмение видно одновременно на всем полушарии Земли, обращенном к Луне, и потому в одном и том же географическом пункте лунные затмения видны гораздо чаще полных солнечных, так как солнечные затмения видны только в очень узкой полосе, пересекающей земной шар.

За долгие годы любительских наблюдений образовались своеобразные «жанры» съемки затмений, которые определяются фокусным расстоянием объектива, углом зрения камеры, наличием или отсутствием экваториальной монтировки и т. д. Рассмотрим технику съемки затмений по этим «жанрам».

Суточный след затмившейся Луны. Перед началом лунного затмения устанавливаем малоформатный аппарат на неподвижном штативе с таким расчетом, чтобы в ходе своего суточного движения Луна пересекала поле зрения камеры, оставаясь как можно дольше в пределах кадра. Если аппарат заряжен пленкой чувствительностью 45—65 ед. ГОСТ, закрываем диафрагму до значений 11 или 16 и открываем затвор на все время, которое потребуется Луне, чтобы пересечь поле зрения (рис. 54).

Обычно полное затмение Луны, от первого до четвертого контакта, продолжается, грубо говоря, 4 часа. За это

время Луна перемещается на 60° . Большинство аппаратов имеет поле зрения меньше. Поэтому из всего затмения выбираем только 2—2,5 часа около полной фазы. Начинаем примерно за час до середины затмения и кончаем экспозицию примерно через час после середины. Яркость в середине полного затмения примерно в 1500—2000 раз меньше, чем в полнолуние до начала затмения. Значит, в начальных стадиях на пленке останется сильно передержанный след

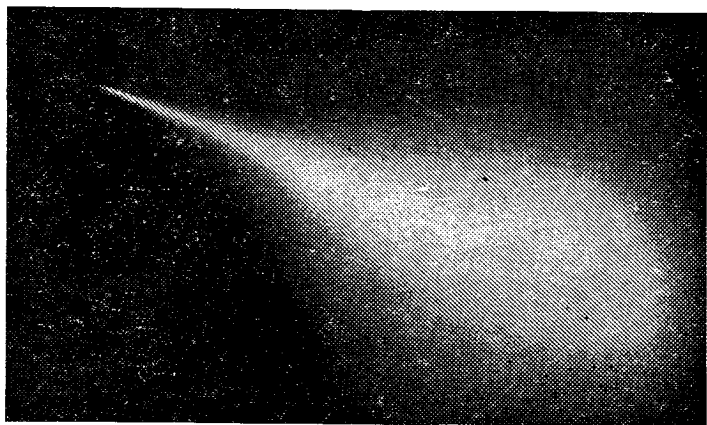


Рис. 54. Суточный след Луны во время затмения. Школьник Е. Бакшанский сделал в ходе затмения два снимка с помощью фотоаппарата «Смена» на пленке «Фото-65» с диафрагмой 16. Здесь показана вторая половина затмения, выдержка 2 ч

ореола, а в максимальной фазе едва заметный след затмившейся Луны. Можно поступить так: начинать съемку с диафрагмой 16, а после начала полного теневого затмения открыть диафрагму до значения 4. После окончания полного теневого затмения нужно снова закрыть диафрагму до значения 16. Подобные фотографии дают представление об изменении общей (интегральной) яркости Луны в ходе затмения. Фотография почти не требует присутствия человека возле аппарата, и ее можно сделать параллельно с работой над другими photographиями затмения.

Съемка фаз затмения. Снимки лунного затмения 16 сентября 1978 г. сделаны при несколько забавных обстоятельствах: автор в это время был болен гриппом, однако оставаться в постели не смог и быстро, на скорую руку собрал все, что хоть мало-мальски годилось

для съемки затмения. Это были «Таир-3», ахромат с фокусным расстоянием 300 мм, подзорная труба 12×50 и, конечно, «Зенит». Ахромат был быстро вставлен в бумажную трубку. Длина ее была равна 240 мм. Держа трубку одной рукой, а фотоаппарат другой, автор смог более или менее уверенно фокусировать изображение, чуть перемещая трубку к аппарату или от него. Подзорная же труба опиралась на раму открытой форточки. К началу затмения

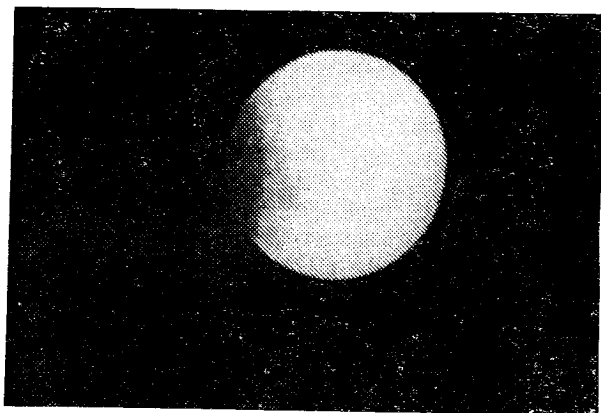


Рис. 55. Лунное затмение 16 сентября 1978 г. Снимок сделан с помощью 50-миллиметрового ахроматического визуального объектива с фокусным расстоянием 300 мм. Пленка «Фото-130», выдержка 1/500 с. Фото Л.Л.Сн-корука

все было готово. Результатом этой работы стали снимки на рис. 51 и 55.

Полный ход затмения. Мы уже описали съемку восходов и заходов Луны на одном кадре с экспозициями через равные промежутки времени. Ясно, что точно таким же образом можно снять весь ход лунного затмения. Выдержку перед началом частного затмения, когда Луна в полнолунии и ее яркость равна 2500 кд/м^2 , можно определить по формуле (6) в зависимости от относительного отверстия и чувствительности пленки. Для пленки 65 ед. ГОСТ и относительного отверстия $1/8$ она составит примерно $1/150 \text{ с}$. Принимая во внимание, что в дальнейшем ходе затмения яркость Луны очень упадет, нам придется на начальные фазы передержать в два-три раза. Остановим свой выбор на диафрагме 4 и выдержке $1/100 \text{ с}$. Эти условия съемки нужно оставить без изменений до начала полной

фазы теневого затмения, после чего выдержку можно увеличить до 1—5 с в зависимости от яркости полной фазы. Если затмившаяся Луна хорошо выделяется на фоне звезд, имеет оранжевый оттенок и на ее поверхности без особого труда различаются моря, выдержку можно выбрать равной 1 с, если же Луна очень темная, моря практически неразличимы, лучше остановиться на выдержке 5 с.

Особенно эффектны такие фотографии на цветной обрабатываемой пленке. В этом случае желтоватые изображения почти полной Луны в начальных фазах постепенно все больше становятся похожими на месяц, а перед исчезновением Луна скачком (за счет увеличения выдержки) немного светлеет, но становится оранжевой или кирпично-красной.

В ночь с 4 на 5 мая 1984 г. я снимал полное лунное затмение. Фотоаппарат «Зенит» с объективом «Таир-3» был установлен на устойчивом штативе. Съемка велась на пленке «ORWO-UT-23» чувствительностью 130 ед. ГОСТ. Камера в момент экспонирования оставалась неподвижной. Поле зрения объектива «Таир-3» на формате 24×36 мм малое, и поэтому, чтобы получить ход всего затмения, пришлось расположить его на нескольких кадрах. Интервал между выдержками составлял 5 мин. Таким образом, на одном кадре располагалось пять изображений Луны. Все затмение уместилось в 10 кадров.

На объективе устанавливалась заслонка из обычной черной бумаги. Затвор камеры открывался и фиксировался в положении «открыто». Выдержки делались с помощью заслонки, которая снималась на короткое время.

Для съемки частных фаз объектив диафрагмировался до значения 22 и перед ним устанавливался нейтрально-серый светофильтр ($4\times$). Выдержка составляла 1 с. После начала полной фазы фильтр был снят с объектива, объектив был открыт до диафрагмы 4,5 и выдержки увеличены до 8 с. Затмение оказалось на редкость темным, и поэтому вблизи середины затмения выдержку пришлось увеличить до 16 с. В результате все фазы затмения оказались хорошо экспонированы, проработка в начале и в середине затмения хорошая. Более того, в момент полной фазы неподалеку от изображения Луны хорошо проработалась звезда α Весов, $2,8^m$.

Предварительный расчет показал, что при кружке рассеяния 0,1 мм максимальное время экспонирования не должно превышать 4 с. Поэтому при выдержках 8 и 16 с произошло легкое смазывание Луны и звезд. Впрочем, этот дефект на снимке мало заметен.

Луна среди звезд. Если в вашем распоряжении есть экваториальная монтировка, на которой можно установить фотоаппарат с фокусным расстоянием 80—150 мм, то можно получить превосходные снимки, в том числе и цветные, если Луна в момент полной фазы затмения находится поблизости от богатого звездами участка. Особенно подходят для этой цели Плеяды и Гиады. Воспользуемся тем, что яркость Луны в середине затмения очень низка и поэтому допустимы длительные выдержки. За это время могут проработаться многие звезды. Например, если при относительном отверстии $1/2$ на пленке 130 ед. ГОСТ (23 ДИН) сделать 5—10-минутную экспозицию, то Луна получится передержанным ярким диском (на цветной пленке оранжевым), а в Плеядах проработаются звезды до 9^m . Скопление будет выглядеть очень красиво, Луна за эти 10 мин уже слегка сместится среди звезд и будет чуть смазанной.

На пленке 65 ед. ГОСТ мы потеряем одну звездную величину. Для относительного отверстия $1/4$ потери составят примерно $1,5^m$. Таким образом, даже при самых неблагоприятных экспонетрических условиях при выдержке 10 мин на пленке будут проработаны звезды до 6—7-й величины.

Естественно, что в течение всей экспозиции камера должна тщательно гидрироваться по звезде.

Съемка земной тени. Мы уже упоминали о том, что полное лунное затмение продолжается около четырех часов. За это время Луна сместится в своем орбитальном движении среди звезд на 2° , т. е. на четыре собственных диаметра! Если в течение всего времени затмения камеру гидрировать по одной и той же звезде, а съемку вести серией выдержек на одном и том же кадре, то в результате получится несколько изображений Луны в разных фазах.

Частные фазы нужно снимать так же, как и полнолуние. Например, на пленке 65 ед. ГОСТ частные фазы при относительном отверстии $1/11$ можно снимать с выдержкой $1/60$. Так как съемка ведется на один и тот же кадр, нужен центральный затвор, который работает независимо от механизма перевода кадров.

Это может быть снятый с «Фотокора» объектив и установленный на переходной трубке на «Зените». Если же центрального затвора нет, придется выдержки делать от руки. Обычно с помощью крышки удастся уверенно делать выдержки около $1/4$ с. Тогда относительное отверстие

нужно уменьшить в четыре раза (а светосилу в 16 раз). Диафрагмы 44 на большинстве объективов нет, поэтому задиафрагмируем объектив до значения 22 и установим 4-кратный нейтрально-серый светофильтр. Если же есть диафрагма 32, можно обойтись и без фильтра.

Итак, за несколько минут до начала частного теневого затмения начинаем гидрировать телескоп по звезде. Хорошо бы для этого работать вдвоем. В момент начала теневого затмения делаем первую экспозицию, ровно через полчаса

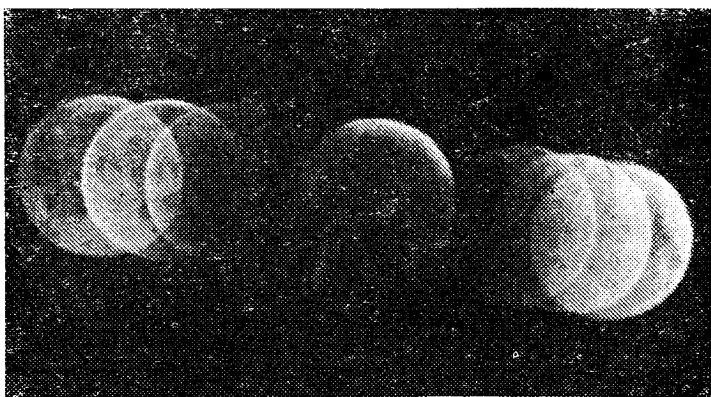


Рис. 56. Полное лунное затмение 29 ноября 1974 г. Японский любитель Акира Фуджи сделал этот выразительный снимок объективом с фокусным расстоянием 300 мм. Луна движется справа налево. Частные фазы с выдержкой 1/60 с, полная — с выдержкой 3 мин

делаем еще одну и снова через полчаса еще. До начала полной фазы получатся три изображения Луны, которые смещаются друг относительно друга на половину лунного диаметра. После входа Луны в тень выдержки прекращаем и ждем середины затмения. Тем временем снимаем светофильтр и открываем полностью диафрагму. В момент середины затмения делаем экспозицию в 30—60 с, не прекращая гидрирования. Затем снова закрываем диафрагму до 22, надеваем светофильтр и за час до конца теневого затмения делаем пятую экспозицию в 1/4 с, а затем еще две через каждые полчаса. В результате получим картину, приведенную на рис. 56. Самое интересное здесь — земная тень, которая проецировалась на перемещающийся экран — Луну. Тень, как и следовало ожидать, очерчена окружностью. Это замечательное доказательство шарообразности

Земли. Увеличенный до формата 30×40 или даже 50×60 , снимок может быть прекрасным украшением комнаты любителя астрономии или астрономического кабинета.

К р у п н о м а с ш т а б н а я с ъ е м к а ф а з з а т м е н и я. Так как на пленке 65 ед. ГОСТ при относительном отверстии $1/8$ (рефлекторы Ньютона) частные фазы можно снимать с выдержкой $1/60$ — $1/125$ с, а при относительном отверстии $1/15$ (рефракторы) выдержка составит $1/25$ — $1/30$ с, то особых сложностей эта съемка не вызовет. Для 80-миллиметрового школьного рефрактора с $f = 800$ мм смещение на пленке изображения Луны в ее суточном движении на величину кружка рассеяния ($0,03$ мм) соответствует смещению Луны на небесной сфере на $8''$. Это значит, что для выдержек короче $0,5$ с изображение будет оставаться несмазанным.

При увеличении фокусного расстояния телескопа предельное время экспозиции для неподвижного телескопа пропорционально сократится. Например, для телескопа АВР-3 ($f = 1950$ мм) выдержка не должна превышать $1/5$ с и т. д. Для съемки полной фазы затмения придется или включить часовой механизм или гидрировать телескоп по звезде в течение нескольких минут.

Особенно интересны цветные фотографии и слайды полной фазы затмения. При правильной цветопередаче снимки получаются очень выразительными. Чтобы сократить время, лучше снимать на высокочувствительной пленке. Для слайдов можно использовать пленку «Орвохром-УТ-23». Яркость полной фазы сильно меняется от затмения к затмению. Здесь можно дать только ориентировочные величины экспозиции. Так, для относительного отверстия $1/8$ и пленки чувствительностью 65 ед. ГОСТ можно рекомендовать выдержку около минуты. В действительности придется сделать экспонограмму с выдержками 15 с, 30 с, 1 мин, 2 мин, 4 мин.

§ 5.13. КАК СНИМАТЬ СОЛНЕЧНЫЕ ЗАТМЕНИЯ

С ъ е м к а х о д а з а т м е н и я. Огромная яркость солнечной поверхности усложняет съемку частных фаз солнечного затмения, хотя в остальном она мало отличается от съемки лунного затмения.

Прежде всего в качестве фотографического материала выберем позитивные пластинки или пленку. Их особенность состоит в том, что они практически нечувствительны к красному свету. Поэтому если перед объективом камеры

установить красный светофильтр, то выдержка увеличится до приемлемых величин. Рис. 57 показывает ход полного солнечного затмения 31 июля 1981 г. Затмение снято школьниками С. Михлиным и А. Савельевым на позитивной пластинке чувствительностью 2 ед. ГОСТ размером 9×12 см аппаратом «Фотокор». На его объективе с фокусным расстоянием 135 мм был установлен красный светофильтр, и

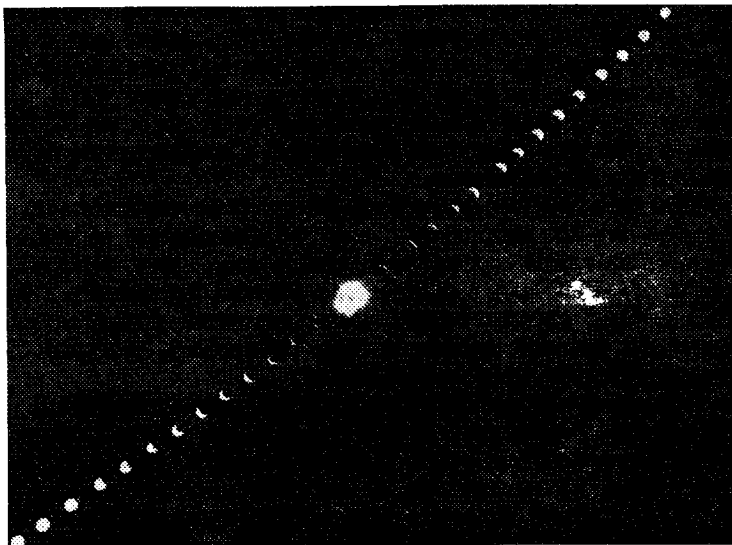


Рис. 57. Ход полного солнечного затмения 31 июля 1981 г. Снимок сделан «Фотокором-1» на позитивной несенсибилизированной пластинке в 2 ед. ГОСТ. Красный фильтр К13, диафрагма 9, выдержка 1/100 с. Полная фаза — съемка без фильтра, диафрагм. 4,5, выдержка 3 с. Север вверху, восток слева. Фото А. Савельева и С. Михлина

съемка велась с выдержкой 1/100 при диафрагме 9. Интервалы между экспозициями 5 мин.

В момент полной фазы была сделана экспозиция без светофильтра при полной диафрагме 4,5 с выдержкой 3 с. Как видно, эту выдержку можно было сделать в два-три раза короче.

Для того чтобы не ошибиться в выборе экспозиции, за несколько дней до затмения нужно сделать экспозиционную пробу на том же светочувствительном материале, который будет использован в день затмения. Для ортохроматических эмульсий чувствительностью 5—10 ед. ГОСТ потребуется

темно-красный светофильтр. Для обычных позитивных — красный КС13 или даже оранжевый в зависимости от чувствительности, которая у позитивных эмульсий может составлять десятые доли ед. ГОСТ.

Проба проявляется в том же проявителе и в том же режиме, в котором будет проявляться негатив затмения. Как обычно, следует сделать экспозограмму, меняя на одно деление диафрагму или выдержку в два раза.

Съемка телеобъективами и телескопами. Телескоп позволит снять частные фазы в большом масштабе с подробностями на солнечной поверхности и на лимбе Луны. Так как выдержки остаются очень короткими, то телескоп может работать без часового привода. Материалом остаются ортохроматические и несенсибилизированные (позитивные) эмульсии в сочетании с красным или оранжевым фильтрами. Так как фильтры большого диаметра достать трудно, их придется устанавливать недалеко от фокальной плоскости. Вообще нужно избегать устанавливать два или несколько светофильтров друг за другом, так как при малейшем нарушении перпендикулярности фильтров к оптической оси на негативе появится множество одинаково резких «паразитных» изображений затмившегося Солнца. Один кинооператор, снимая частные фазы затмения 31 июля 1981 г., установил перед объективом МТО-500 четыре фильтра разной плотности. Он «попал» в экспозицию, но на экране красовалось оное десятикратное изображение Солнца.

Если съемка ведется неполным отверстием телескопа, т. е. он задиафрагмирован, можно светофильтр установить и перед объективом в отверстии диафрагмы. Для цветной пленки придется устанавливать очень темный нейтрально-серый фильтр с пропусканием $1/1000$ — $1/10\,000$. Важно, чтобы обе поверхности фильтра были отполированы с оптической точностью. Стекла для масок сварщиков не отвечают этому требованию, и их придется установить в непосредственной близости от пленки (3—5 см).

Экспозиция должна выбираться с таким расчетом, чтобы на поверхности Солнца проработались детали, в частности, грануляция (при идеальных атмосферных условиях). Тогда на негативах частных фаз можно попытаться увидеть вдоль лунного лимба отдельные горы и даже кратеры.

Особенно интересно следующее обстоятельство. В момент полной фазы резко падает температура воздуха, и на некоторое время воздушные потоки, портящие изображение в жаркий день, заметно стихают. Это приводит к улуч-

шению качества изображения. Поэтому вскоре после полной фазы можно попытаться получить с окулярной камерой качественные снимки грануляции.

Съемка полной фазы *). Конечно, это наиболее ответственный момент наблюдений полного солнечного затмения.

По опыту съемки двух полных затмений можно рекомендовать следующее. На пленке 65 ед. ГОСТ при относительном отверстии 1/10 следует фотографировать с такими выдержками: 1/60, 1/30, 1/15, 1/8, 1/4, 1/2 с. Такой ряд выдержек не только застрахует вас от грубой экспонометрической ошибки, но и позволит получить хорошо проработанные изображения протуберанцев и хромосферы, внутренней и внешней короны.

Если на перевод пленки, перестановку выдержки, проверку положения Солнца в кадре каждый раз потребуются 4—6 с, то вся процедура съемки займет около полминуты. В действительности надо быть готовым к тому, что потери времени могут оказаться больше. Это значит, что у любителя может совсем не остаться времени на то, чтобы полюбоваться самим затмением. Нервное напряжение и ответственность так велики, что во время затмения 31 июля 1981 г. автор успел только дважды мельком взглянуть на корону, а два школьника из четырнадцати участников нашей экспедиции вообще не видели полной фазы, к величайшему их и моему огорчению. Я думаю, что само по себе затмение настолько величественное зрелище, что стоит хотя бы несколько секунд оставить для мимолетного взгляда на Солнце, даже если при этом будет выполнена не вся фотографическая программа!

Снимая длиннофокусными объективами, нужно не забывать, что в результате суточного движения Солнца его изображение может оказаться смазанным. Для фокусного расстояния 1000 мм при кружке рассеяния 0,03 мм максимальная выдержка составит 1/3—1/2 с, для большего или меньшего фокусного расстояния выдержка будет соответственно короче или длиннее. Для более длительных выдержек необходим часовой механизм.

На какой формат лучше снимать солнечную корону? Корона значительно больше Солнца, и поэтому нужно решить вопрос с форматом для данного фокусного расстояния. Как правило, во время затмений стараются снять и внутреннюю, и внешнюю корону. Следовательно, исходить

*) См. также [22, 35].

надо из того, что кадр должен вмещать не менее трех-четырех солнечных дисков по диаметру. Значит, его поперечник должен быть не менее $1,5 \times 2^\circ$. Для фокусного расстояния 1000 мм подойдет обычная малоформатная камера с кадром 24×36 мм. Но для больших фокусных расстояний придется снимать на формат 6×6 см (аппараты «Салют», «Киев-6»). Фокусные расстояния от 2 до 3 м потребуют формата 9×12 см.

Если для съемки используется зеркальная камера, то фокусирование осуществляется относительно просто. За несколько дней до затмения достаточно сфокусировать камеру по тонкому месяцу Луны под утро*). Правда, после этого нужно будет позаботиться о том, чтобы фокусировка не сбилась, а это может оказаться не проще, чем хорошо сфокусировать инструмент. Поэтому можно прибегнуть к такому способу. Перед объективом (или зеркалом) телескопа устанавливается картонная заслонка, в которой сделано два отверстия на противоположных концах диаметра. Диаметр самих отверстий должен составлять примерно $1/10$ часть диаметра объектива. Глядя в визир зеркальной камеры при сбитой фокусировке, мы увидим sdвоенное изображение Солнца. Действуя фокусирующим устройством, добиваемся того, чтобы изображения слились в одно. Для большей уверенности несколько раз проходим через положение фокуса и каждый раз стараемся, чтобы в крайних положениях sdвоенность была одинаковой. Очевидно, что наилучшее положение будет как раз посередине между этими крайними.

Такую фокусировку можно выполнить перед затмением непосредственно.

Когда затмение снимается на цветную пленку, надо быть уверенным, что цвет на позитиве (слайде) получится правдоподобным. Для того чтобы судить о цветопередаче, после окончания затмения на отдельный кадр нужно снять нейтрально-серую шкалу, которая представляет собой набор квадратиков 5×5 см от чисто белого до черного. Таких квадратиков-градаций достаточно 6—8. Съемку этой шкалы нужно сделать в солнечном свете, но Солнце при этом не должно быть слишком низко над горизонтом. Фотографировать шкалу нужно тем же инструментом, что

*) Если для съемки частных фаз перед фокальной плоскостью устанавливается «черный» фильтр, он, как всякая плоскопараллельная пластина, сместит изображение от объектива на $0,3$ толщины фильтра. Поэтому фокусировку надо делать с этим фильтром. Следует напомнить, что глядеть на Солнце без фильтра опасно.

и затмение. Неважно, если шкала получится немного нерезкой. Если фокусное расстояние телескопа слишком велико и для съемки шкалы требуется слишком большое расстояние, то ее можно снять штатным объективом камеры. Так как и кадры затмения, и кадры со шкалой будут проявляться одновременно, ошибки проявления (или их отсутствие) скажутся в одинаковой мере на том и другом. Тогда, рассматривая серую шкалу, мы сможем судить о качестве «цвета». Если и светлые, и средние, и темные участки шкалы не имеют цветовых оттенков и выглядят совершенно серыми, то цветопередача и самого затмения великолепна. Тот или иной оттенок в светах или тенях шкалы укажет на такие же отклонения в цвете и на светлых или темных участках короны.

В последние два десятилетия профессионалы снимают Солнце через так называемые радиальные фильтры. Это делается для того, чтобы снизить слишком большой интервал яркостей между внутренней короной с протуберанцами и внешней короной. Фильтр имеет большую плотность в центре, которая постепенно снижается и сходит на нет к краю. Эти фильтры выполняются напылением на стеклянные пластины, и каждый такой фильтр рассчитан на определенный масштаб солнечного изображения или, иначе говоря, на определенное фокусное расстояние. Если любителю посчастливится достать такой фильтр, им стоит воспользоваться. Фильтр устанавливается неподалеку от фокальной плоскости. Во время съемки нужно следить за тем, чтобы центр лунного диска и центр фильтра совпадали достаточно хорошо.

Однако возможен более простой способ затенить центральные районы короны и оставить без изменений крайние.

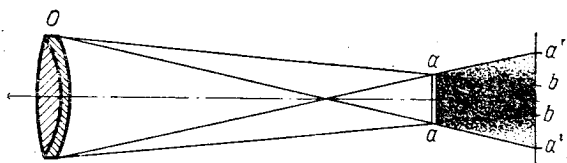


Рис. 58. Затенение центральной части короны Солнца при съемке затмения

Для этого на некотором расстоянии перед фокальной плоскостью установим черный непрозрачный кружок. Так как он установлен не в фокальной плоскости, его контуры на пленке получатся нерезкими, и тем более нерезкими, чем

он дальше отстоит от фокуса. Взглянем на рис. 58. Лучи от объектива O строят изображение bb лунного диска, затмившего Солнце. Предположим, что мы постараемся снять корональные лучи на расстоянии одного солнечного диаметра от края Луны. Отметим и эти точки ($a'a'$). Теперь рассмотрим кружок-экран. Если его диаметр таков, что он полностью закрывает доступ лучам к краю лунного изображения, а расстояние от фокуса таково, что крайний луч aa' , который является краем полутени, совпадает с концом луча короны, то вся корона окажется в полутени кружка. Эта полутень особенно темная в районе внутренней короны и протуберанцев, а на краю ее плотность невелика и меняется она медленно. Таким образом, полутень кружка выполняет роль радиального светофильтра.

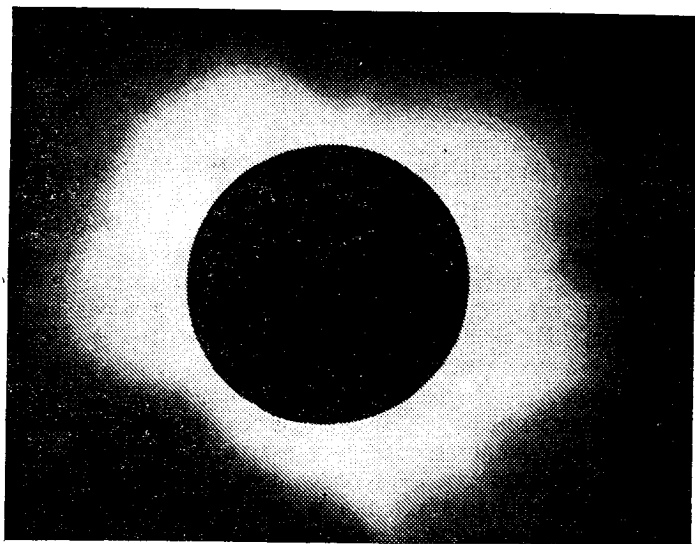


Рис. 59. Солнечное затмение 31 июля 1981 г. Снимок сделан Л. Л. Сикоруком на 110-миллиметровом полярном телескопе системы В. Гершеля с фокусным расстоянием 2300 мм. Пленка «Фото-130», выдержка 1 с, проявлено в фенидон-гидрохиновом проявителе 6 мин с целью снижения контраста (подробности в тексте). На оригинальном негативе возле лимба видны протуберанцы

Если же нет ни того, ни другого, то отчасти большой интервал яркости внутренней и внешней короны можно компенсировать (только на позитивном отпечатке) так. Не-

гати́в снимков короны проявляется со временем в 1,5 раза меньше, чем рекомендовано предприятием-изготовителем материала. При этом падает контраст изображения, но вместе с ним и плотность негатива. Значит, желательно, чтобы во время съемки экспозиция была в два раза больше. При печати такого достаточно плотного, но неконтрастного негатива на контрастной фотобумаге можно применить обычную лабораторную маску. Она представляет собой кусок черной бумаги с круглым отверстием. Печатаем так. Закрываем изображение негатива, кроме изображения внутренней короны и протуберанцев, включаем лампу увеличителя и начинаем медленно поднимать маску, чтобы к концу экспозиции все изображение оставалось открытым. Если негатив плотный и выдержка большая, можно повторить эту операцию несколько раз. Окончательный режим печати подбирается опытным путем. Важно не только получить хорошую проработку в районе внутренней короны, но и достаточно большую плотность неба за пределами короны (рис. 59).

§ 5.14. ФОТОГРАФИРОВАНИЕ КОМЕТ И АСТЕРОИДОВ *)

Давно прошли времена, когда кометы повергали людей в ледящий душу ужас. Но и теперь вид большой кометы среди ночных светил заставляет сжиматься сердце в безотчетном чувстве не то радости, не то робости перед величием природы. Великие кометы, вроде кометы Веста (1976 г.), и совсем слабые, едва видимые в сильные телескопы,— все они навевают чувства необычные, сильные.

Нет ничего проще, чем получить фотографию яркой, видимой невооруженным глазом кометы. Установленный на штативе фотоаппарат, относительное отверстие $1/4$ — $1/2$, высокочувствительная пленка и выдержка 20—30 с, если фокусное расстояние камеры 50 мм,— вот и все. Выдержку можно было бы и увеличить, но суточное движение смажет изображение кометы на негативе. Когда на фоне зари висит яркая комета, достаточно определить выдержку с помощью экспонометра, ориентируясь на яркость зари. Определенную таким образом экспозицию нужно сократить в два-три раза, для этого достаточно вдвое уменьшить выдержку или «прикрыть» на 1—1,5 деления диафрагму. Тогда фон неба станет несколько темнее, а комета будет на нем выделяться

*) См. также [19].

очень хорошо. Кометы 3—4-й звездной величины и слабее требуют уже сравнительно больших выдержек, а значит, и экваториальной монтировки (рис. 60).

Интересно сделать несколько снимков в разные дни с таким расчетом, чтобы заметить довольно быстрое перемещение кометы среди звезд. Может быть интересным снять центраферной киносъемкой заход кометы за горизонт. Если горизонт чист и достаточно прозрачен, то хвост кометы будет еще долго виден после захода ее головы. Но и на слегка облачном горизонте вид кометы великолепен, когда она виднеется в разрывах между облаками.

Для наиболее ярких комет, имеющих большой хвост, нужны широкоугольные астрографы. Угол зрения аппарата должен немного превышать угловую длину хвоста. Для этих целей можно использовать, кроме малоформатных камер, и среднеформатный аппарат или даже большую камеру. Однако фокусное расстояние этих камер достаточно велико, и перемещение изображения кометы на негативе из-за суточного вращения небесной сферы так быстро, что выдержка составит несколько секунд, а этого обычно недостаточно.

Камеру нужно установить на экваториальной монтировке с тонкими движениями по прямому восхождению, а также и по склонению. Дело в том, что кометы сравнительно быстро перемещаются среди звезд, и в течение одной экспозиции длиннофокусную камеру нужно слегка поворачивать вслед за кометой.

Поэтому камера для фотографирования комет обязательно должна быть снабжена гидом. Центральная часть головы кометы приводится на перекрестие. Открывается затвор камеры, и начинается гидирование, при котором на-



Рис. 60. Комета Кобаяси — Бергера — Миллона в августе 1975 г. Камера «Фотокор-1», $f=135$ мм. 1/4,5. Пластика 90 ед. ГОСТ, выдержка 15 мин. Увеличение при печати 7 $\times$. Фото Л. Л. Сикорука

блюдатель с помощью ключей тонких движений перемещает камеру по обеим осям. Большие кометы могут не поместиться в кадр, если их голова разместилась в центре кадра.



Рис. 61. Комета Веста утром 26 марта 1976 г. на снимке, полученном Л. Л. Сикоруком с помощью 150-миллиметрового рефлектора, 1/6,3. Пленка «ВЧ» (350 ед. ГССТ), выдержка 5 мин. Видны звезды до 13,5 звездной величины

Например, длина хвоста кометы 20° , формат пластинки 9×12 см, а фокусное расстояние объектива 300 мм. Хвост кометы на негативе располагается по диагонали. В этом направлении поле зрения камеры составляет 24° . Это значит, что если комету разместить так, что ее голова окажется в центре поля, то половина хвоста окажется за пределами кадра. Тогда смещаем камеру так, чтобы голова кометы оказалась

в одном углу камеры, а хвост заканчивался бы в другом. Но сместив камеру, мы одновременно сместили и гид. Для того чтобы гидирование было возможно, нужно предусмотреть приспособление для смещения оси гида с оптической оси камеры. Нужно позаботиться также и о том, чтобы взаимное расположение гида и камеры во время экспозиции оставалось строго постоянным, весь узел должен иметь достаточную жесткость.

Для съемки головы и наиболее ярких участков хвоста больших комет с успехом применяют рефлекторы (рис. 61). Если фотографии кометы делаются для себя, их можно выполнить на пленке, но если предполагается, что фотографии будут отосланы для тщательных измерений положения кометы на профессиональную обсерваторию, фотографии нужно обязательно выполнять на фотопластинках. Дело в том, что триацетатная и даже лавсановая основа кино- и фотопленок при обработке и хранении изменяет свои размеры, происходит ее усадка. Учесть усадку очень трудно, и поэтому измерение положения кометы относительно изображений звезд становится ненадежным.

Астероиды обычно расположены значительно дальше, чем яркие кометы. Поэтому скорость их видимого перемещения значительно меньше. Требуются экспозиции порядка одного-двух часов со сравнительно большими фокусными расстояниями, чтобы по одной пластинке обнаружить астероид по его внешнему виду: черточке среди звезд-точек. Малоформатные камеры позволяют фотографировать астероиды до 9-10-й звездной величины. С ростом фокусного

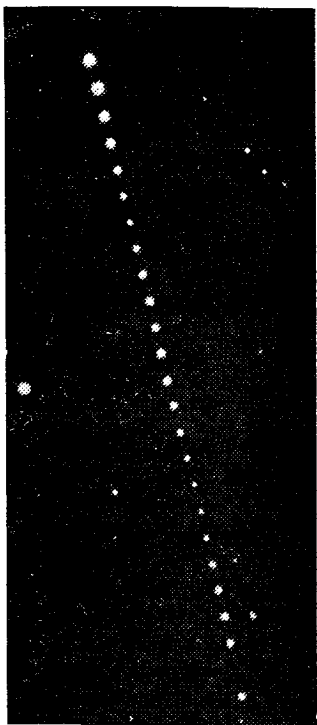


Рис. 62. Быстрое движение астероида Эрос на юг (вниз) 13 января 1975 г. Каждые 15 мин А. Пуль делал 15-секундные экспозиции с помощью 400-миллиметрового цейсовского астрографа. Последний интервал 30 мин. Обратите внимание на быстрые изменения блеска астероида с периодом около 5,5 ч

расстояния и диаметра объектива возрастает и предельная звездная величина астероида.

Гидируют астрограф по достаточно яркой звезде. Поэтому гид может быть небольшого диаметра, но его увеличение достаточно большим.

Пользуясь тем, что астероиды перемещаются среди звезд, можно сделать снимок в несколько экспозиций на протяжении трех-четырех ночей на одном кадре. Гид и астрограф должны быть соединены жестко, и астрограф оставаться неразряженным на протяжении нескольких суток. Тогда, приступая к очередной экспозиции, нужно привести на перекрестие гида ведущую звезду (обязательно ту же, что и в предыдущую ночь) и после этого открыть затвор (рис. 62). Кстати говоря, подобным образом можно снять на один кадр и перемещение кометы.

§ 5.15. ФОТОГРАФИРОВАНИЕ ПЕРЕМЕННЫХ И НОВЫХ ЗВЕЗД

Вечером 29 августа 1975 г. около 21 часа местного времени Кентаро Осада в Японии обратил внимание на странный вид созвездия Лебеда. Северо-восточнее Денеба отчетливо была видна звезда третьей звездной величины, которая сразу изменила привычные очертания созвездия. Вскоре еще 30 японских любителей стали свидетелями необычного зрелища. В Европе в это время был полдень...

Но вот в 20 часов 10 минут гринвичского времени Шандор Кестели в Венгрии первый из европейцев обратил внимание на новую звезду, а еще через три часа немецкий любитель М. Дюркефольден из Ганновера обнаружил ее в участке неба, который наблюдал 25 августа, и видел только знакомые звезды не ярче 6,3 звездной величины. Новую Лебеда 1975 г. независимо обнаружили сотни наблюдателей, в том числе многие советские любители астрономии.

Автору крупно не повезло. Всю вторую половину августа он активно наблюдал за городом с помощью своего 150-миллиметрового рефлектора, но 29-го — именно 29-го днем! — испортилась погода, и ближайшие три дня моросил дождь, так что не оставалось ничего, кроме как собираться и отправиться домой. Зато фортуна улыбнулась — да еще как! — Бену Мэйеру из Лос-Анджелеса. Две ночи с 27-го на 28-е и с 28-го на 29-е он фотографировал метеоры с помощью своего автоматического патруля в районе созвездия Лебеда. После сообщения об открытии Новой он просмотрел негативы этих ночей и обнаружил, что в первую

ночь Новая была еще слишком слаба, чтобы зарегистрироваться на пленке. Но во вторую ночь ее изображение не только появилось на негативах, но было прекрасно видно, как звезда быстро, час от часу, разгоралась. Это первый случай, когда подъем блеска Новой был зарегистрирован с такими маленькими интервалами.

История Новой Лебеда 1975 г. хорошо иллюстрирует возможности любителя в этой области. Кстати говоря, Бен Мэйер получил бесценные фотографии с помощью малоформатной камеры с объективом с фокусным расстоянием 35 мм и относительным отверстием $1/3,5$ на пленке чувствительностью около 400 ед. ASA (350 ед. ГОСТ). Каждая из его экспозиций продолжалась по 25 мин.

Если открытие новых дело, как правило, случайное, то систематические наблюдения переменных звезд может организовать практически каждый. Для этого нужен широкоугольный астрограф, установленный на подходящей монтировке, которую очень желательно снабдить часовым приводом и хорошо установить, чтобы обходиться без гидирования. Такая монтировка позволит наладить патрульные наблюдения неба. При большом угле зрения астрографа на одном кадре будет регистрироваться много переменных различных типов. После проявления негатива можно оценивать блеск по диаметрам звездных изображений одним из методов, описанных в руководствах [23].

Точность оценок блеска переменных по негативам ниже, чем визуальных оценок или электрофотометрических измерений, но фотография тем не менее остается единственным способом для массовых оценок многих переменных. К тому же оценивать блеск можно на следующий день, через год...

Некоторые переменные, например затменные вблизи минимума, очень быстро изменяют блеск. Можно на одном кадре получить несколько экспозиций. Для этого достаточно на некоторое время останавливать часовой привод. Ясно, что каждая выдержка этой многократной экспозиции должна быть строго постоянной, иначе на фотографии отразится не только реальное изменение блеска, но и погрешность экспонирования. Длительность выдержек должна соблюдаться с точностью около 5 %.

§ 5.16. ПРЕДЕЛЬНЫЕ ЗВЕЗДНЫЕ ВЕЛИЧИНЫ

Естественное свечение неба и его искусственная засветка ставят предел времени экспонирования, так как фон неба на негативе становится слишком плотным и слабые

изображения начинают теряться. Принято, что плотность фона негатива должна быть 0,5—0,8. Это значительно больше, чем фотографическая плотность вуали проявления. Фон прорабатывается тем скорее, чем больше светосила (см. § 1.4).

Предположим, что мы снимаем один и тот же протяженный объект, например, Большую туманность М 42, двумя астрографами разного диаметра, но с одинаковым относительным отверстием. Например, один из них — телескоп диаметром 200 мм с фокусным расстоянием 1200 мм, другой имеет диаметр 100 мм и фокусное расстояние 600 мм.

Так как относительное отверстие инструментов одинаково, то и освещенность от туманности на фотоэмульсии окажется одинаковой. Следовательно, и время экспонирования в обоих случаях потребуется одинаковое. Таким образом, два телескопа с одинаковым относительным отверстием при съемке протяженных объектов — туманностей, галактик, комет, неразрешаемых на отдельные звезды далеких шаровых скоплений, оказываются одинаково эффективными с точки зрения времени, которое требуется для получения негативов оптимальной плотности. Так, фотоаппарат «Смена-8» и крупнейший телескоп мира Зеленчукский гигант с зеркалом диаметром 6 м и фокусным расстоянием 24 м (относительное отверстие 1/4) потребуют одинакового времени при фотографировании одной и той же туманности (табл. 17). Правда, масштабы изображений окажутся несоизмеримыми...

Т а б л и ц а 17

Предельная выдержка для пленок «А-500» в зависимости от относительного отверстия *)

А	$t_{\max}$, мин	А	$t_{\max}$, мин	А	$t_{\max}$, мин
1/1	2,5	1/4	40	1/10	250
1/1,4	4,9	1/5	63	1/12	360
1/2	10,0	1/6	90	1/15	560
1/2,5	17,7	1/7	120	1/20	1000
1/3	23,0	1/8	160		

*) На широте Москвы или Новосибирска в ясные безлунные ночи выдержки следует сократить в 1,5 раза. На пленках типа «Фото-130» выдержки следует увеличить в 2 раза.

Небо также можно рассматривать как большую светлую туманность малой поверхностной яркости, и для нее при заданном относительном отверстии телескопа существует время, когда плотность негатива (вуаль фона неба) достигнет величины достаточно большой и звезды начнут теряться в этой вуали.

Время, необходимое для достижения фоном неба плотности 0,5—0,8 в безлунную ночь на чувствительных пластинках, вдали от города равно

$$\lg t_{\max} = (0,4 - 2,0 \lg A),$$

где A — относительное отверстие телескопа, а t выражено в минутах. Не нужно путать относительное отверстие с диафрагмой. Так, для «Гелиоса-44» максимальное относительное отверстие равно $A = 1/2 = 0,5$, для «Смены-8» $A = 1/4 = 0,25$, для «Индустара-50» $A = 1/3,5 = 0,29$ и т. д.

Если у нас есть два объектива с одинаковым фокусным расстоянием, но с различными относительными отверстиями (и значит, с различной светосилой), то их проникающая способность — способность регистрировать самые слабые звезды — окажется одинаковой, так как с более светосильным объективом мы сможем сделать сравнительно короткую выдержку, но, несмотря на его больший диаметр, слабые звезды не успевают проработаться в достаточной степени. В то же время малосветосильный объектив позволит сделать более продолжительную выдержку, и точечные изображения звезд проработаются так же хорошо, несмотря на меньший диаметр объектива. Строгое доказательство этого утверждения мы опускаем, но приведем формулу Фреда Уиппла, которая получена в предположении, что звезда имеет тот же «средний» спектральный класс (цвет), что и Солнце, что небо безлунное и не засвечено искусственными огнями:

$$[m_{\text{фог}}]_{\text{пред}} = 22^m + 2,5 \lg f - 2,5 \lg \Delta'' - 7,5,$$

где f — фокусное расстояние камеры в см, Δ'' — диаметр изображения звезды, выраженный в секундах дуги.

Для того чтобы определить диаметр изображения звезды в секундах дуги, нужно кружок рассеяния, обычно принимаемый за 0,005 см, разделить на фокусное расстояние в сантиметрах и результат разделить на тангенс $1''$, равный 0,000 005. Например, фокусное расстояние астрографа 10 см. Значит, размер изображения звезды на пластинке

$(0,005:10):0,000\ 005=100''$. Определим предельную звездную величину нашего астрографа:

$$m_{\text{пред}} = 22 + 2,5 \lg 10 - 2,5 \lg 100 - 7,5 = 12^m.$$

Очень многое зависит от качества объектива и разрешающей способности фотоэмульсии. Например, если кружок рассеяния 0,03 мм увеличить до 0,1 мм, то произойдет потеря звездной величины на $1,3^m$. В табл. 18 приводятся предельные звездные величины для различных фокусных расстояний астрографа и размеров кружка рассеяния.

Таблица 18

Предельная фотографическая звездная величина в зависимости от фокусного расстояния астрографа и кружка рассеяния

f, мм	Кружок рассеяния, мм			f, мм	Кружок рассеяния, мм		
	0,03	0,05	0,10		0,03	0,05	0,10
10	7,5 ^m	7,0 ^m	6,2 ^m	200	14,0 ^m	13,5 ^m	12,7 ^m
20	9,0	8,4	7,7	300	14,9	14,4	13,6
28	9,8	9,2	8,4	500	16,0	15,4	14,7
40	10,5	10,0	9,2	750	16,9	16,3	15,6
50	11,0	10,5	9,7	1000	17,5	17,0	16,2
80	12,0	11,5	10,7	2000	19,0	18,5	17,8
100	12,5	12,0	11,2	3000	19,9	19,4	18,6
135	13,2	12,6	11,9	5000	21,0	20,4	19,7

В качестве примера определим предельные звездные величины широкоугольного светосильного объектива «Уран-12», имеющего кружок рассеяния около 0,1 мм при фокусном расстоянии 500 мм и относительном отверстии 1/2,5, и камеры Шмидта, построенной в клубе им. Д. Д. Максудова В. Семиным, Е. Бакшанским и Л. Сикорук, которая имеет фокусное расстояние 384 мм, относительное отверстие 1/2,7 и кружок рассеяния 0,03 мм.

Для «Урана-12» предельная звездная величина равна $14,7^m$, для камеры Шмидта $15,5^m$. Выигрыш за счет лучшего изображения равен $0,8^m$, несмотря на то, что фокусное расстояние камеры Шмидта меньше. В этом смысле объектив «Таир-3» оказывается эффективнее «Урана-12» хотя у «Урана-12» есть свои большие преимущества.

Диафрагмируя объектив, мы до определенного предела снижаем влияние аберраций. Для обычных фотообъективов оптимальной считается диафрагма 8—11. При таких ее значениях получается предельная звездная величина. Но время экспозиции непомерно возрастает.

Из всего сказанного ясно, какое огромное значение имеет качество изображения точечных источников. Кроме качества объектива и кружка рассеяния фотоэмульсии, на проникающую способность влияет точность фокусировки и степень размытости за счет беспокойствия атмосферы. Например, если в результате плохой фокусировки кружок увеличится с 0,03 до 0,1 мм, то высококачественный объектив даст потерю 1,3 звездной величины, как если бы ухудшилось его качество.

Угловые размеры звезды для короткофокусных объективов значительны и, как правило, превышают турбулентный кружок звездных изображений, который обычно равен 1—3" и только изредка 10—20" при особо беспокойной атмосфере. Ясно, что плохое качество изображений, вызванное атмосферной турбуленцией, перекрывается более крупными звездными изображениями из-за короткого фокусного расстояния или значительных остаточных аберраций объектива. Но при фокусных расстояниях около метра турбулентный кружок по временам будет больше. Фокусные расстояния около 2 м при высоком качестве оптики требуют турбулентных кружков не более 1—1,5". К потерям предельных звездных величин приведет и плохое гидирование, когда звездные изображения растягиваются на большие участки фотоэмульсии.

Читателю уже, вероятно, ясно, как непросто определить предельную звездную величину астрографа и как важна аккуратность во всем: в тщательном фокусировании астрографа, в тщательном гидировании, в выборе моментов, когда атмосферные условия удовлетворяют поставленной задаче [5, 1, 2].

СПЕЦИФИКА СЪЕМКИ РАЗЛИЧНЫХ АСТРОНОМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

§ 6.1. НА ДНЕ ВОЗДУШНОГО ОКЕАНА

Все трудности астрофотографии — результат огромной разницы в поверхностной яркости различных объектов, в огромном разнообразии видимых размеров, в различной скорости их перемещения. Например, поверхностная яркость Солнца в миллион раз больше яркости Луны, а туманности в миллионы и десятки миллионов раз слабее Луны. Угловые размеры Млечного Пути, одновременно видимого на небе, достигают 180° , туманности Андромеды М 31 — далекого «млечного пути» — всего $1,5-2^\circ$, если говорить о хорошо различимой спиральной структуре, а диаметры планет составляют всего несколько десятков секунд и меньше. Звезды, туманности, галактики практически неподвижны, и нужны десятилетия, чтобы заметить какие-нибудь перемены в этом мире, а планеты, и особенно Луна, требуют, чтобы часовой механизм телескопа учитывал их довольно быстрое перемещение среди звезд. Скорость же метеоров и болидов такова, что это требует совершенно иной техники фотографических работ.

Однако, пожалуй, самая большая неприятность заключается в том, что свои наблюдения мы ведем со дна великого воздушного океана — атмосферы Земли, который находится в состоянии постоянного волнения, а часто настоящих бурь. Вихреобразные движения воздуха (турбулентное движение) часто приводят к сильному замыванию тонких деталей изображения планет, к размыванию звездных точек в искрящиеся пятнышки света. В этом океане плавают дымка и облака, клочья тумана и невидимые непосредственно воздушные линзы. Земная атмосфера слегка светится, а искусственные огни часто превращают ее в плотную вуаль, скрывающую от нас красоту звездного неба.

Воздух — оптическая среда, хотя и значительно менее плотная, чем стекло, но все-таки достаточно плотная, чтобы проявились разнообразные эффекты, препятствующие на-

блюдениям. В течение дня воздух сильно прогревается, ночью остывает. Так как нагревание на различных участках поверхности различно, то ночью поднимаются струи теплого воздуха разной плотности и разной мощности. Уменьшение или увеличение плотности воздуха приводит соответственно к уменьшению или увеличению оптической плотности.

Свет, проходя через атмосферу, испытывает преломление. Луч света, падающий на поверхность Земли вертикально, практически не преломляется, а луч, идущий низко над горизонтом, испытывает значительное преломление: причем свет различных длин волн преломляется с различной силой. Это приводит к тому, что у горизонта яркие звезды переливаются всеми цветами радуги. Автору приходилось наблюдать Венеру на высоте 1° над горизонтом. В поле зрения «Алькора» она была видна в виде вертикального спектра, который был значительно длиннее самого серпика Венеры.

Кроме того, луч света, идущий в горизонтальном направлении, проходит значительно больший путь, чем луч из зенита; поэтому поглощение света может достигать значительной величины в зависимости от общей прозрачности атмосферы. Особенно неприятны легкие слоистые облака, которые незначительно поглощают свет в зените и на средних высотах, но у горизонта образуют совершенно непроницаемую мглу. Поэтому фотографии, предназначенные для фотометрии, могут пострадать из-за различной плотности негатиwa в разных его участках. Эти две причины вынуждают астрономов по возможности отказываться от съемок на западе и востоке и работать главным образом вблизи меридиана. Наиболее удобная область для фотографических работ расположена в полосе по $15\text{--}20^\circ$ по обе стороны от меридиана.

Неоднородности в воздухе можно рассматривать как быстро возникающие и исчезающие воздушные линзы и призмы. В турбулентном потоке на пути луча света может оказаться очень много таких «линз». Все они переносятся ветром по горизонтали, и потому картина непрерывно меняется.

Чаще всего средний размер «линз» примерно 20—30 см. Посмотрим, как будут мешать эти неоднородности телескопам различных диаметров (рис. 63). Очевидно, что поле небольшого телескопа диаметром, например, 150 мм в каждый данный момент будет перекрыто одной неоднородностью, и самое неприятное, что может произойти, — это или смеще-

ние фокуса вдоль оси на незначительную величину, или смещение звезды в сторону. Так как эти неоднородности проходят перед объективом довольно быстро, звезда хотя и дрожит в поле зрения, но остается даже при больших увеличениях в виде дифракционной точки с хорошо видимыми дифракционными кольцами.

На зеркало большого телескопа упадет одновременно несколько по-разному отклоненных лучей, и это приведет к размыванию изображения звезды в неровное пятнышко с размытой дифракционной картиной. Степень размытости звездных изображений называют качеством изображений.

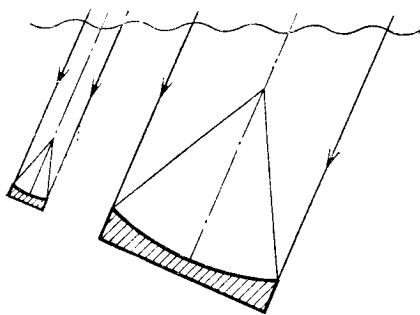


Рис. 63. Влияние воздушных линз на изображение для малого и большого телескопов

При наблюдении с малыми телескопами изображение чаще всего хорошее, а для больших оно тем хуже, чем больше действующее отверстие телескопа. Почему же тогда строят всё большие телескопы? Дело в том, что картина, описанная только что, иной раз становится малозаметной, если атмосфера относительно спокойна. В такие ночи большой телескоп со спокойными изображениями покажет значительно больше подробностей, чем малый. Именно поэтому астрономы постоянно ищут по всему миру места, где атмосфера наиболее спокойна.

Рассеяние пучка света иногда оказывается настолько большим, что звезда буквально меркнет на долю секунды, чтобы в следующее мгновение снова вспыхнуть. Это явление называется *мерцанием*. Оно больше заметно для малых инструментов, особенно для невооруженного глаза. Небольшое мерцание невооруженному глазу видно практически каждую ночь, но это вовсе не значит, что изображения в телескопе будут плохими. Только сильное мерцание

приводит к падению качества изображения сначала для больших, а потом и для малых телескопов.

Дрожание, мерцание и качество изображений определяют и качество фотографического негатива.

Наиболее благоприятны условия для фотосъемок на небольших изолированных островах с одинокой горной вершиной. За день океан прогревается слабо, на протяжении суток температура воздуха меняется мало и нет восходящих воздушных потоков. Небольшие острова и даже пирсы очень благоприятны для солнечной обсерватории. Значительно хуже, когда вокруг солнечной обсерватории пашня или каменистая местность, которая быстро нагревается, и воздух весь день струит. В этом смысле лучше, если обсерватория окружена травянистыми лужайками и лесом. Однако лес не очень желателен для звездной обсерватории, так как ночью он отдает окружающему воздуху тепло, накопленное за день. Но, с другой стороны, деревья защищают обсерваторию и телескопы от ветра.

С наступлением ночи земля сравнительно быстро остывает и слой холодного воздуха становится все толще. На его границе с теплым воздухом — в так называемом *инверсионном слое* — турбулентность достигает максимума. В течение ночи этот слой поднимается на высоту до 300 м. Поэтому желательно, чтобы телескоп всю ночь или большую ее часть оставался выше этого слоя. Для этого его достаточно поднять на высоту 200—300 м над уровнем окружающей местности, например, на вершину достаточно высокого холма. Однако холмистая местность с большим числом вершин даже при относительно слабом ветре может создавать турбулентные потоки, которые портят изображения. Особенно опасны «ветровые тени» высоких гор.

Холодными сырыми ночами выпадает роса. Она осаждается на передней поверхности объектива и мешает работе. Для предупреждения оседания росы на телескопах устанавливаются *противоросники*, которые представляют собой бленды на переднем конце телескопа-рефрактора. Их длина в 1,5—2 раза больше диаметра объектива, а диаметр подбирается такой, чтобы не возникало виньетирования на краю поля зрения. У рефлекторов противоросником служит труба телескопа. Но если рефлектор вместо сплошной трубы имеет ферму-решетку, придется сделать круглую бленду не только вокруг главного, но и в районе вторичного зеркала. Во всех случаях на противороснике укрепляется небольшая электрогрелка или просто лампочка мощностью 20—30 Вт, которую размещают в металлической коробке,

укрепленной на наружной стороне противоросника. Это нехитрое приспособление позволяет поддерживать в противороснике и на поверхности объектива температуру на доли градуса выше точки росы.

Тепло от наблюдателя (примерно 25 Вт) заставляет подниматься под купол теплый воздух, который, выходя через люк наружу, также портит изображение. Особенно это заметно при работе с телескопами Ньютона, когда наблюдатель находится около люка. Нагревание купола и стен павильона днем приводит к тому, что, остывая ночью, подкупольное пространство струит теплым воздухом. Поэтому вечером за 2—3 часа до начала наблюдений нужно открыть люк, отвернуть его от Солнца и, проветривая купол, выровнять температуру с окружающим воздухом.

§ 6.2. НОЧНОЕ НЕБО

Человек, привыкший видеть десяток звезд на ярком городском небе, бывает поражен видом россыпей звезд на черном небе в деревенской глуши, горном районе или среднеазиатской степи. Однако проходит полчаса-час, и мы не только легко различаем контуры деревьев, холмов, телескопа, но и в состоянии прочесть названия газет. Это странно, но это — факт.

Существует несколько природных источников света, которые не позволяют ночному небу стать абсолютно черным. Это — свечение воздуха, свечение межпланетной пыли, суммарный свет слабых звезд и далеких галактик. Эти три источника вносят основную часть яркости неба, и в средних широтах их роль примерно одинакова.

Ночное свечение атомов и молекул земной атмосферы возникает на высоте 80—100 км. Оно минимально в зените и увеличивается к горизонту. Это в среднем, но в действительности многие наблюдатели отмечают, что небо светится неравномерно. Об «облаках» и «полосах» ночного свечения сообщал американский астроном К. Хофмейстер. Он отмечал, что эти пятна дрейфуют вместе с воздушными течениями со скоростью 0,5—1° в мин. Перед войной К. Элви на обсерватории Мак-Дональд (США) с помощью фотоэлектрических измерений установил, что в районе полюса изменение яркости неба на 50 % — не такая уж редкость.

Это излучение происходит главным образом в голубом участке спектра. Поэтому глазу ночное небо представляется не нейтрально-серым, а темно-синим. Однако главная часть

излучения приходится на инфракрасную часть спектра — на длины волн от 1,65 до 2,2 мкм. Если бы этот свет превратился в видимый, ночное небо выглядело бы так же, как в полнолуние, и Млечный Путь нельзя было бы различить. При отсутствии полярного сияния увеличение свечения не зависит от широты места наблюдений. Вероятность усиления свечения за счет полярного сияния в северных широтах выше.

Свечение межпланетной пыли можно видеть по всему небу, но наибольшая его концентрация в плоскости эклиптики. Это так называемый зодиакальный свет, описанный еще персидским поэтом Омаром Хайямом около 850 лет назад.

В южных районах страны зодиакальный свет можно сфотографировать на высокочувствительную пленку широкоугольным объективом с относительным отверстием $1/2$ — $1/1,5$ за 10—15 мин. Лучше всего он заметен по вечерам после окончания сумерек на западе весной и на востоке перед началом утренних сумерек осенью.

Суммарный свет звезд более всего заметен в районе галактического экватора вдоль полосы Млечного Пути. Здесь яркость этого свечения примерно в 10 раз больше, чем в районе галактических полюсов. К свету собственно звезд следует добавить и рассеянный свет пылевых туманностей.

Нет причин особенно отчаиваться из-за этой засветки. Во-первых, она совершенно неизбежна, а во-вторых, все наблюдатели — и профессионалы, и любители имеют дело с этой неприятностью и находятся в одинаковых условиях.

Свечение атомов и молекул воздуха происходит под действием солнечных фотонов высокой энергии, которые благодаря магнитному полю Земли концентрируются вблизи магнитных полюсов, и пагубное их влияние минимально на экваторе. Поэтому, если вы живете на юге или можете там время от времени бывать, вы находитесь в более выгодном положении, чем большинство ваших коллег.

Кроме засветки неба естественными и искусственными источниками, астрономической фотографии слабосветящихся объектов мешает дымка и слабые облака, сильно поглощающие свет. Поэтому если есть возможность бывать в горах на высоте 1,5—2 тыс. м, этой возможностью нужно пользоваться. Еще лучше подниматься на высоту 3—4 тыс. м, но это требует от наблюдателя, кроме энтузиазма, еще и крепкого здоровья.

Вообще все, что сказано о свечении неба и дымке, очень мешает фотографированию туманностей, галактик, комет, слабых звезд. Но для наблюдений Луны и планет это не такая уж помеха. Поэтому большинство городских любительских обсерваторий успешно занимаются этими видами наблюдений.

Для наблюдений тонких деталей Луны и планет необходима спокойная атмосфера, не возмущенная турбулентностью. К сожалению, трудно дать какие-нибудь рекомендации относительно прогнозов ночей с хорошими изображениями, так как это зависит от многочисленных факторов, в том числе и факторов местного значения. В Новосибирске, например, прекрасными для таких наблюдений бывают зимние морозные ночи, когда устанавливается устойчивый антициклон. Воздух и у поверхности Земли, и на большой высоте совершенно спокоен, от чего в городе ощущается запах подгоревшего подсолнечного масла — своеобразный смог. Прозрачность атмосферы в такие ночи невелика, но это не мешает наблюдениям и фотографированию планет и Луны.

§ 6.3. ОСОБЕННОСТИ СЪЕМКИ ЛУНЫ И ПЛАНЕТ

Луна и планеты — достаточно трудные объекты для съемки. Главная беда — в их малых видимых размерах, а для планет еще и в малом контрасте деталей. Успех возможен при одновременном соблюдении нескольких условий.

Во-первых, оптика телескопа должна быть безупречной. Главную роль играет диаметр телескопа. Для неответственных съемок Луны годится практически любой телескоп; но для фотографирования Юпитера нужен телескоп диаметром хотя бы 100 мм, для Сатурна диаметр следует увеличить до 150 мм, но Марс требует по крайней мере 200-миллиметрового телескопа. Хорошим компромиссом между возможностями любителя и требованиями технического порядка будет 250—300-миллиметровый телескоп. Телескоп должен работать на дифракционном пределе. Даже небольшие остаточные аберрации не позволят получить отличных фотографий. Юстировка телескопа должна быть выполнена с большой тщательностью. Особенно опасны в данном случае царапины и пыль на поверхности объектива или зеркала. Свет, рассеиваемый ими, вуалирует детали. Правда, для Луны это не так заметно, так как контраст деталей на ее поверхности значительно выше, чем у планет. Дифракция на растяжках вторичного зеркала реф-

лектора также засвечивает темные мелкие детали на светлом фоне.

Во-вторых, зернистость пленки размывает мелкие детали, и для успешной работы требуется, чтобы разрешающая способность пленки была несколько выше разрешающей силы телескопа с окулярной камерой. Практически установлено, что телескоп с большим эквивалентным фокусным расстоянием и высокочувствительной пленкой с умеренным зерном дает лучшие результаты, чем короткофокусный с мелкозернистой малочувствительной пленкой. Поэтому чаще всего снимают с эквивалентным относительным отверстием $1/50$ — $1/150$. Каждый наблюдатель решает задачу самостоятельно на основании собственного опыта. Для съемок планет, когда изображением занята очень малая часть кадра, пригодны и аппараты типа «Чайка» с форматом 18×24 мм, и «Нарцисс» для 16-миллиметровой пленки с форматом 13×17 мм.

Особо большое значение имеет ровный ход часового механизма. Периодические погрешности часового привода заставляют изображение планеты на пленке слегка перемещаться. Допустимая погрешность для 300-миллиметрового телескопа составляет $0,1''$. Выдержать такую точность на протяжении нескольких секунд экспозиции может только хороший механизм. Чтобы оценить отклонения хода часового привода, достаточно резко изменить высоту полярной оси, подложив под одну из опор пластину в 20—30 мм толщиной. В этом случае изображение звезды будет дрейфовать вдоль круга склонений. В случае идеального хода механизма на фотографии яркой звезды, полученной с окулярным увеличением, появится прямой штрих. Периодические погрешности хода превратят этот штрих в зигзагообразный. По размеру смещения штриха от прямого можно судить о погрешности хода в секундах дуги, а по периодичности отклонения хода найти звено редуктора, которое вносит эту погрешность.

Вибрации телескопа от ветра или работы затвора также смазывают изображения. Монтировка телескопа для фотографирования тонких деталей на поверхности планет должна быть очень жесткой. Сам телескоп желательно установить под куполом и тем самым резко снизить влияние ветра. Уменьшить вибрации от затвора можно, если механизм затвора выделить в самостоятельный узел и подвесить его на пружинках или резинках. Однако проще всего обходиться простой заслонкой из черной бумаги или картона.

Можно поступить и иначе: фотографировать без окулярной камеры, установив аппарат с объективом сразу за окуляром телескопа. В этом случае фотоаппарат можно закрепить на отдельном штативе [34]. Если окуляр телескопа Ньютона расположен вдоль суточной параллели (во время работы в меридиане он горизонтален), то можно делать сравнительно большие выдержки, не опасаясь смещения изображения на пленке от работы часового механизма. Окулярная трубка перемещается вдоль оптической оси объектива фотоаппарата. Фокусировка при этом не нарушается, так как пучки света выходят из окуляра параллельными, и для камеры изображение планеты остается все время как бы в бесконечности.

Последнее условие для успеха мало зависит от нас. Это — спокойная атмосфера, хорошие изображения. Сильная турбулентность наступает в ветреные дни, при перепадах температур от дня к ночи на 15—20 °С. У поверхности земли турбулентность обычно выше. Сильное мерцание звезд говорит о плохих изображениях, но отсутствие мерцания, к сожалению, еще не говорит о хороших телескопических изображениях.

Если лимб Луны дрожит с большой частотой, то рассчитывать на хорошее качество нельзя. Если он слегка, как бы нехотя волнуется, можно улучшить момент, когда изображение будет достаточно хорошим. Эти низкочастотные колебания меньше сказываются при коротких выдержках. Вообще нужно помнить, что чем выше объект над горизонтом, тем лучше изображения, хотя во время великого противостояния Марса в 1909 г. Г. А. Тихов в Пулковке (60° с. ш.) получил серию прекрасных фотографий планеты при низком ее положении. Однако лучше все-таки стараться снимать планеты или Луну в момент, когда они максимально поднимаются над горизонтом, т. е. вблизи меридиана.

Атмосфера бывает спокойна, а изображения хороши, если надолго установился антициклон с высоким атмосферным давлением, если нет приближающихся фронтов. Атмосфера также бывает спокойна, если установился холодный фронт, и это состояние сохраняется еще несколько дней после ухода фронта. Изображения улучшаются, если есть легкие облака или дымка, которые замедляют охлаждение Земли ночью. Изображения хороши, если во время закатов и восходов Солнца перепады температур невелики.

Каждая воздушная «линза» и «призма» вносит хроматизм. Это приводит к ежесекундному окрашиванию дета-

лей. Чтобы подавить этот эффект, светофильтры применяют даже с рефлекторами.

Требования к оптике, атмосфере, механике телескопа настолько жестки, что трудно рассчитывать на большое количество хороших негативов. Обычно считается, что если среди 20—25 негативов 2—3 хороших, то это уже неплохо.

Л у н а. Хотя Луну нередко снимают и в полнолунии (рис. 64), и в малых фазах, но все-таки основная часть любительских фотографий сделана вблизи первой (рис. 65)

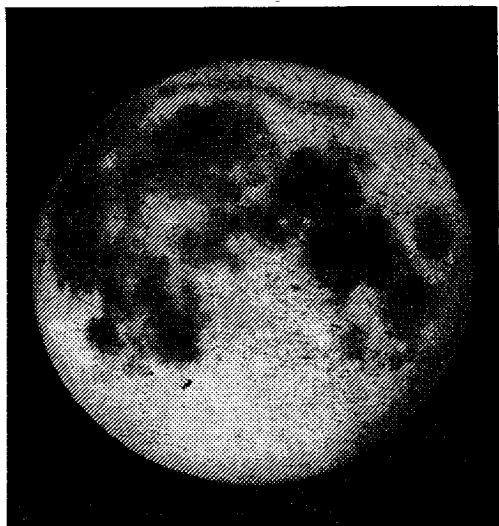


Рис. 64. Луна в полнолунии. Снимок сделан на 110-миллиметровом рефлекторе Ньютона ($f=1200$ мм), построенном школьником А. Зайцевым; пленка «Фото-250», выдержка $1/250$ с; север вверху

или последней четверти. Рельеф поверхности в эти моменты виден особенно отчетливо из-за длинных теней вблизи терминатора. К тому же вдоль центрального меридиана или в непосредственной близости от него расположены наиболее выразительные объекты.

Среди них, конечно, гигантский кратер Клавий. Кроме того, что он велик, он еще интересен цепью кратеров на его дне. Кроме этой цепи, известной с первых телескопических наблюдений, имеется несколько десятков мелких кратеров. На photographиях, полученных со 150-миллиметровым телескопом, можно насчитать 15—20 кратеров. Визуально

их насчитывается значительно больше. Вблизи центра лунного диска видна прекрасная цепь кратеров Птолемей, Альфонс, Арзахель (рис. 66). Центральная горка Альфонса заподозрена в том, что это действующий вулкан. Очень

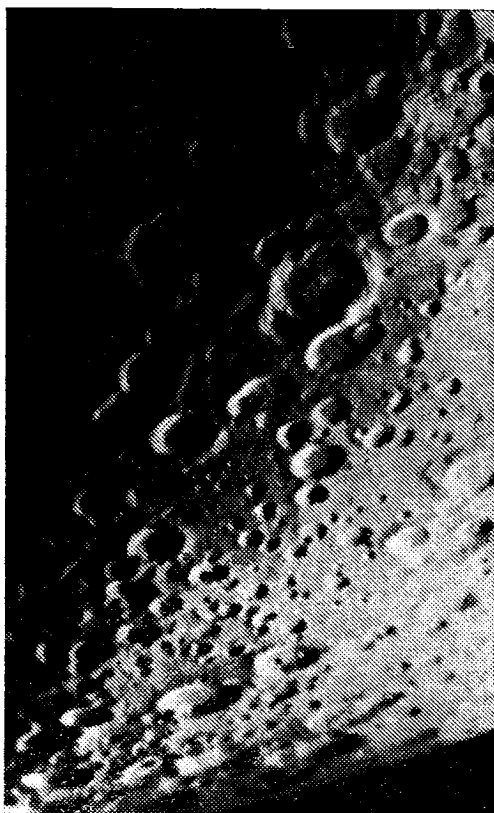


Рис. 65. Луна вблизи южного полюса. 150-миллиметровый рефлектор Ньютона, окулярная камера с эквивалентным фокусным расстоянием 12 м. Пленка «Фото-130», выдержка 1 с. Фото Л. Л. Сикорука

выразительны снимки равнины Моря Дождей, на поверхности которой четко выделяются кратеры Архимед, Аристилл, Автолик. Море обрамляют горные цепи Апеннин, Кавказа, Альп.

Впрочем, лунный рельеф слишком богат, чтобы его можно было кратко описать.

М е р к у р и й. Его размеры так малы, что нужен телескоп не менее 300 мм, чтобы на фотографии можно было заметить пятна. Контраст пятен очень мал. К тому же планета бывает видна низко над горизонтом. В сумерках контраст составляет примерно 20 %. Днем, когда Меркурий

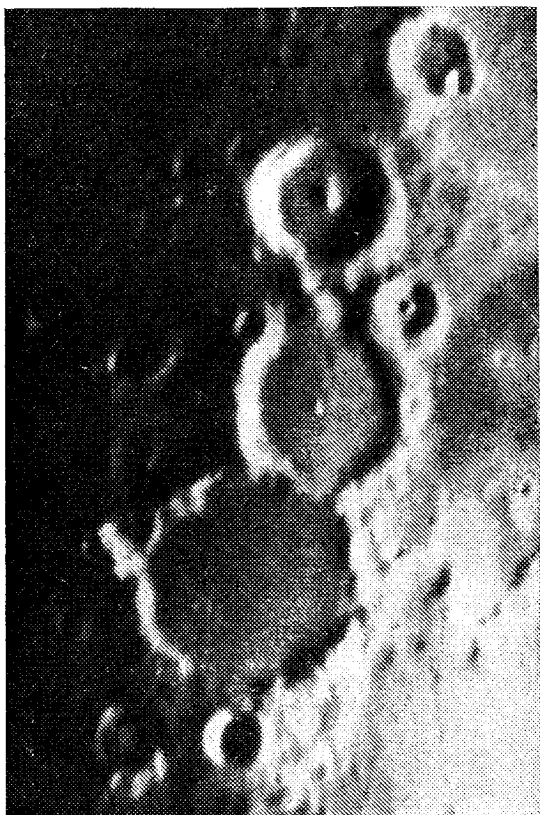


Рис. 66. Кратеры Птолемей (внизу), Альфонс (в центре) и Арзахель на Луне. Фото Л. Л. Сикорука. Условия съемки те же

вуализуется голубым светом неба, контраст падает до 8 %. Это почти предел для фотографической эмульсии. Применение красного фильтра увеличивает контраст, так как он подавляет синий цвет. Контраст можно увеличить также в лаборатории при печати.

В е н е р а. Венера так ярка, что можно использовать низкоконтрастные и мелкозернистые эмульсии. В ультра-

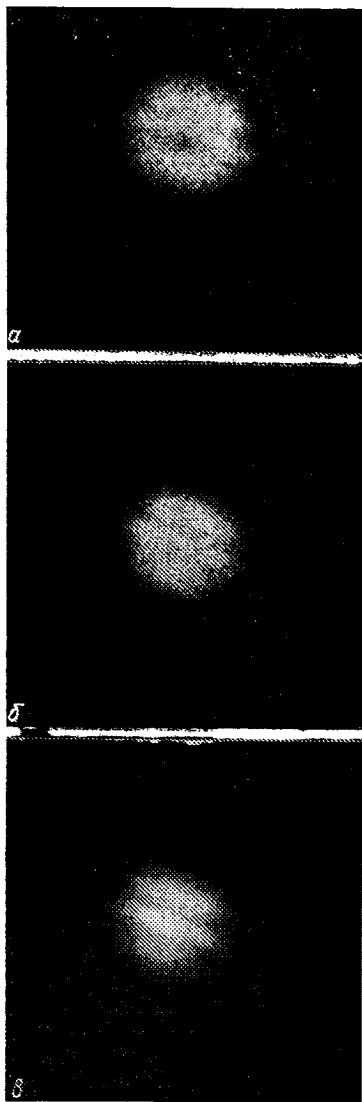


Рис. 67. Юпитер в августе 1985 г. 150-миллиметровый рефлектор Ньютона, $A_{\text{эки}}=1.80$, выдержка $1/2$ с. Даны отпечаток с одного негатива (а), отпечаток с трех негативов (б) и отпечаток с двенадцати негативов (в). Фото Л. Л. Сикорука

фиолетовом свете детали на поверхности ее диска видны практически всегда. На пределе они видны в синем свете. Днем изображение лучше, чем ночью, но удобнее всего снимать Венеру в светлые сумерки.

Марс. Его «материки» имеют цвет, отличный от цвета остальных участков. Применение красного фильтра подчеркивает материки, а голубой и ультрафиолетовый выявляют облака в атмосфере. Фотографировать Марс имеет смысл только тогда, когда его размеры превышают $10''$. К сожалению, великие противостояния Марса происходят в августе-сентябре, когда в северном полушарии Земли эклиптика ночью располагается низко над горизонтом. Это очень затрудняет фотографирование.

Юпитер (рис. 67). В главном фокусе телескопа можно получить фотографии Юпитера с галилеевыми спутниками. Снимая в течение ночи, можно видеть, как положение спутников изменяется относительно друг друга. Конечно, на этих photographиях деталей на поверхности Юпитера из-за передержки и малых размеров изображения не будет видно. С окулярной же камерой можно получить много

деталей на поверхности. Это главным образом зоны и пояса. Голубой фильтр подчеркивает контраст между коричневатыми поясами и светлыми зонами. Увеличивается контраст и между Большим Красным Пятном и окружающими облаками. На снимках с зеленым фильтром контраст ниже, но он больше подчеркивает бахрому вдоль краев на зонах. Контраст увеличивается и с красным фильтром, но остальные детали, особенно Большое Красное Пятно, теряются.

С а т у р н (рис. 68). Цветовой контраст деталей на поверхности Сатурна ниже, чем у Юпитера, но все-таки заметны красноватая экваториальная зона, красноватые пояса, голубоватые полярные районы. Наилучшие результаты

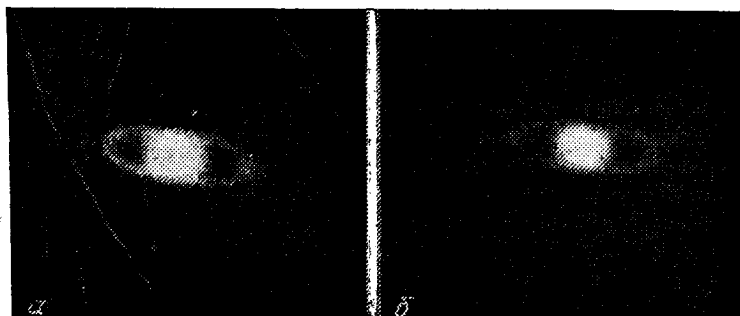


Рис. 68. Сатурн в 1976 г. 150-миллиметровый рефлектор, окулярная камера, $A_{\text{экв}} = 1/30$. Пленка «Микрат-300», выдержка 6 с. Отпечаток *а* получен с одного негатива, *б* — с пяти. Обратите внимание на дефекты негатива, исчезнувшие на снимке *б*. Фото Л. Л. Сикорука

для повышения контраста деталей поверхности получают с инфракрасными и ультрафиолетовыми фильтрами. Яркость колец относительно яркости диска меняется в зависимости от фазового угла. Вблизи оппозиций яркость кольца максимальная.

Щель Кассини визуально при хороших изображениях в 150-миллиметровый телескоп видна всегда, но фотографически она в телескопы этого размера видна на пределе и не всегда. Вообще при фотографировании Луны и планет надо иметь в виду, что на фотографиях деталей видно гораздо меньше, чем визуально. На лучших наземных фотографиях, полученных крупными телескопами при идеальных атмосферных условиях, деталей видно не больше, чем визуально в 300-миллиметровый любительский теле-

скоп. Причина в том, что атмосфера замыкает изображения даже при **довольно** коротких выдержках. Особенность же глаза **позволяет** видеть детали даже при относительно большом беспокойстве атмосферы. Но хотя подробностей на фотографиях меньше, чем на рисунках, они все-таки значительно объективнее, чем рисунки. В этом преимущество фотографирования планет и Луны.

В заключение сделаем несколько дополнительных замечаний. Опыт показывает, что мелкие детали и тонкие контрасты получаются на негативах изображений планет, имеющих плотность 0,5—0,6. Это соответствует плотности двух-трехкратного нейтрально-серого фильтра, тогда как обычно плотность составляет 0,85—1,0, что соответствует применению примерно четырехкратного нейтрально-серого фильтра. Для того чтобы получить эти плотности, нужно негатив недодержать примерно вдвое, а проявлять, как обычно, до коэффициента контрастности 0,7—0,8, т. е. время проявления и температура проявителя должны соответствовать указанным на упаковке. Можно в формуле (10) вместо коэффициента 12,7 взять коэффициент 6. Тогда можно использовать время экспозиции, полученное по этой формуле, но она будет годна только для фотографирования планет.

Для улучшения качества отпечатков французский астроном Б. Лию предложил делать один отпечаток с нескольких хороших негативов. Все негативы печатаются поочередно на один лист фотобумаги с тщательным совмещением изображений. В результате все случайное на негативах (зерно, дефекты, случайные мелкие уплотнения) печатаются с многократной недодержкой, а все общее, что есть на всех негативах, выявляется. Качество отпечатка возрастает пропорционально корню квадратному из числа негативов. Например, если отпечаток сделан с шести негативов, то качество снимка возрастет примерно в 2,5 раза (см. рис. 67, 68).

Печать с увеличением ведется так. Из серии в 15—25 негативов, сделанных друг за другом с небольшими интервалами времени, отбираются несколько наилучших. Они отмечаются карандашом или тушью. Пленка заряжается в увеличитель. На основание кадрирующей рамки скотчем или изолентой прикрепляется лист фотобумаги. Он покрывается черным листом от упаковочного конверта, который приклеивается к линейкам рамки. На черный лист проецируется изображение первого негатива, которое тщательно обводится карандашом. После этого увеличитель

выключается, рамка с черной бумагой откидывается и увеличитель включается на время t/N , где t — выдержка, необходимая для нормального отпечатка с одного негатива, а N — количество отобранных негативов.

Далее бумага прикрывается снова черным листом, пленка переводится и новое из отобранных изображений планеты совмещается с карандашным контуром. После этого делается вторая экспозиция и т. д. Нужно заметить, что в этом процессе должны участвовать только очень хорошие негативы. Если к лучшим изображениям «подмешать» еще и плохие или даже посредственные, то они резко ухудшат результат. Если нужно увеличить контраст отпечатка, его можно переснять в большем масштабе, а потом негатив отпечатать на контрастной бумаге.

§ 6.4. СЪЕМКА НЕКОТОРЫХ ТУМАННОСТЕЙ, СКОПЛЕНИЙ И ГАЛАКТИК

Туманности

Туманность NGC 7000 — «Северная Америка» ($\alpha = 20^{\text{h}}57^{\text{m}}$, $\delta = +44^{\circ}$). Эта наиболее часто фотографируемая любителями диффузная туманность расположена в созвездии Лебедя в 3° к востоку и к югу от Денеба среди ярких звездных облаков Млечного Пути. Название «Северная Америка» туманности дал немецкий астроном Макс Вольф, который открыл ее на фотографии 12 декабря 1890 г.

Поперечник туманности примерно $1-1,5^{\circ}$. Наиболее яркая ее часть расположена в южной части, где располагается «Мексиканский залив». Здесь при наиболее благоприятных условиях можно с некоторым трудом в бинокль или телескоп с полем зрения $2-2,5^{\circ}$ рассмотреть светящуюся туманность с большим количеством звезд на ее фоне.

Рядом с «Северной Америкой» расположена более трудная для наблюдений туманность «Пеликан». Обе туманности представляют собой единое облако, пересеченное сложным комплексом темных пылевых облаков, расположенных впереди светлой туманности.

На цветных фотографиях туманность выглядит яркочерной. Применение красных фильтров (например, K13) значительно повышает контраст между туманностью и фоном на черно-белых фотографиях, но вынуждает примерно вдвое увеличить время экспозиции.

Туманность расположена в одной из наиболее богатых звездами областей Млечного Пути, и поэтому выбор веду-

щей звезды не представляет трудностей. Если поле астрографа несколько градусов и более, то гидировать лучше всего по Денебу, но и в непосредственной близости от туманности расположено несколько достаточно ярких звезд.

Туманность М 42 — Большая туманность Ориона ($\alpha = 5^{\text{h}} 32,9^{\text{m}}$, $\delta = -5^{\circ} 25'$) (рис. 69), одна из самых замечательных туманностей. В телескоп диаметром 150 мм и более



Рис. 69. Большая туманность Ориона М 42 и М 43. 150-миллиметровый рефлектор, 1/6,3; пленка «А-500», выдержка 30 мин. Север внизу. Фото Л. Л. Сикорука

как при визуальных наблюдениях, так и на фотографиях видно большое количество светлых струй. На пленке «Фото-130» при относительном отверстии 1/6 центральная часть туманности получается за 2—3 минуты экспозиции, примыкающие к ней струи требуют при тех же условиях примерно 10—15-минутной выдержки. При получасовой выдержке получается основная часть туманности, а при выдержке 1,5—2 часа регистрируются слабые части туман-

ности. Правда, при этом центральная часть оказывается безнадежно передержанной, но если негатив проявлять в мягко работающем проявителе, то во время печати позитива можно, применив маску, добиться проработки и центральной части.

Большинство наблюдателей при визуальных наблюдениях характеризуют цвет туманности как зеленовато-серый. Настоящий же ее цвет ярко-красный, что обусловливается тем, что основная часть светового потока излучается ионизованным водородом, в спектре которого наиболее ярка красная линия H_{α} . Но глаз в темноте не различает цвета. Фотографическая эмульсия объективна, поэтому на цветных пленках туманность получается красной. Только восточная струя имеет примесь синего. Это светящийся ионизованный кислород.

Район М 42 очень богат звездами различного блеска, и выбор ведущей звезды для астрографов любых отверстий и размеров поля зрения нетруден.

Туманность М 43. Чуть севернее М 42 расположена туманность, которая обычно дается на всех фотографиях М 42. Несомненно, что на самом деле обе туманности — и М 42, и М 43 — это одна и та же туманность, разделенная полосой темной несветящейся материи. Яркость М 43 примерно равна яркости основных струй Большой туманности.

Туманность М 20 ($\alpha=17^{\text{h}}58,9^{\text{m}}$, $\delta=-23^{\circ}02'$). Знаменитая Трехраздельная туманность, или «Трифид». Названа так за то, что ее основное облако светящегося газа разделено темными каналами на три «лепестка». На цветных фотографиях туманность похожа на фантастический красный цветок с тремя лепестками, два из которых красные, а один голубой. Впрочем, визуально эти два цвета не различаются по причинам, о которых было сказано выше.

Расположенная в полуградусе от галактического экватора, в самой гуще Млечного Пути, туманность окружена большим количеством звезд Стрельца, пригодных для гидирования любых астрографов.

Туманность М 17=NGC 6618 ($\alpha=18^{\text{h}}18,0^{\text{m}}$, $\delta=16^{\circ}12'$). Рассеянное скопление и туманность, называемая «Омега», или «Подкова». Туманность светится под действием излучения одной из горячих звезд небольшого скопления слабых звезд, лежащих в наиболее яркой части туманности. Это скопление содержит 35 звезд на площадке поперечником около $25'$ и в небольшие телескопы сливается с фоном Млечного Пути. При относительном отверстии $1/6$ на пленке

«Фото-130» нужны 1,5—2 часа экспозиции, чтобы получить большое количество подробностей.

Чтобы увеличить контраст, как и при съемке предыдущих красных туманностей, нужно использовать красный или оранжевый светофильтры, увеличив выдержку в 1,5—2 раза. Особенно выгодны в этом смысле интерференционные фильтры, центрированные на водородную линию H_{α} . Водородные туманности излучают в видимой части спектра несколько линий (H_{α} , H_{β} , H_{γ} . . .), из которых самая яркая H_{α} . Иначе говоря, здесь находится большая часть излучения туманности. Небо же практически не излучает в этой линии. Поэтому, используя широкополосный светофильтр с полушириной полосы пропускания 150—200 Å, мы можем зарегистрировать туманности, которые иначе вообще невозможно выделить на фоне неба ни визуальным, ни фотографическим. Именно таким образом в первые послевоенные годы академик Г. А. Шайн и В. Ф. Газе получили фотографии многих чрезвычайно слабых и потому до того неизвестных водородных туманностей.

Туманность M 57=NGC 6720 «Кольцо» ($\alpha=18^{\text{h}}52^{\text{m}}$, $\delta=+33^{\circ}$). Наиболее известная планетарная туманность в созвездии Лир. Видна в телескопы от 50 мм и выше, но кольцообразность заметна в инструменты более 70 мм. Прекрасно видна в 250-миллиметровые телескопы. Туманность открыта в 1779 г. А. Дарке в Тулузе. Расстояние до нее 2000—3000 световых лет. Видимые размеры эллипса $74'' \times 62''$. Судя по фотографиям, снятым в разные годы, и по спектрограммам, туманность медленно расширяется. Центральная звезда при визуальных наблюдениях видна только в сильные телескопы, так как ее блеск $15,4^{\text{m}}$; фотографическая звездная величина $14,0^{\text{m}}$. Поверхностная яркость туманности большая, и за 10 мин экспозиции она хорошо прорабатывается на пленке 130 ед. ГОСТ при относительном отверстии 1/6. Визуально цвет серый или зеленовато-серый. На цветных фотографиях туманность желтая с красной красной каймой снаружи и зеленой внутри.

Туманность расположена между γ и β Лир в районе, изобилующем звездами, и ведущую звезду выбрать трудно.

Туманность M 27=NGC 6853 «Гантель» ($\alpha=19^{\text{h}}57,4^{\text{m}}$, $\delta=+22^{\circ}35'$) (рис. 70). Хорошо известная наблюдателям, но мало описанная в популярной литературе, она представляется автору значительно красивее M 57. Туманность видна даже в 50-миллиметровые искатели, а в телескопы заметна ее структура. Интегральный блеск туманности 8^{m} .

Высока и поверхностная яркость, которая позволяет получать при относительном отверстии 1/6 на пленке «Фото-130» хорошо проработанные негативы за 40—60 мин. Туманность освещается очень горячей центральной звездой 13^a с температурой поверхности 85 000 К.

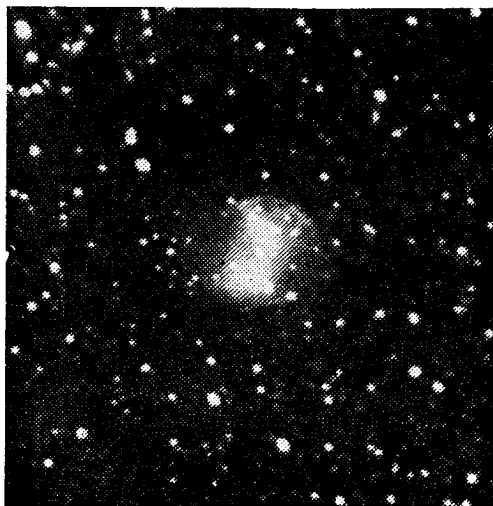


Рис. 70. Один из самых изящных объектов северного неба — туманность М 27 в созвездии Лисички. 150-миллиметровый рефлексор, 1/6.3; пленка «Фото-130», выдержка 40 мин. Фото Л. Л. Сикорука

Цвет туманности сложен, и поэтому на фотографиях даже с небольшими цветовыми искажениями она может выглядеть то зеленой с желтыми и розовыми струями, то сиреновой с оранжевыми вкраплениями.

Туманности NGC 6960 ($\alpha=20^h43,6^m$, $\delta=30^\circ32'$) и NGC 6992—5 ($\alpha=20^h54,3^m$, $\delta=31^\circ30'$) «Рыбачья сеть» или «Циррус» (второе название дано за сходство с одним из видов перистых облаков) (рис. 71). Хорошо известные по фотографиям в популярной литературе туманности, представляющие собой остаток новой звезды. На фотографиях получаются только две дуги от окружности, диаметр которой около $2,5^\circ$. Ширина обеих туманностей только несколько минут дуги, а длина около градуса. NGC 6960 случайно проецируется на звезду 52 Лебедя, поэтому найти ее нетрудно. К сожалению, поверхностная яркость

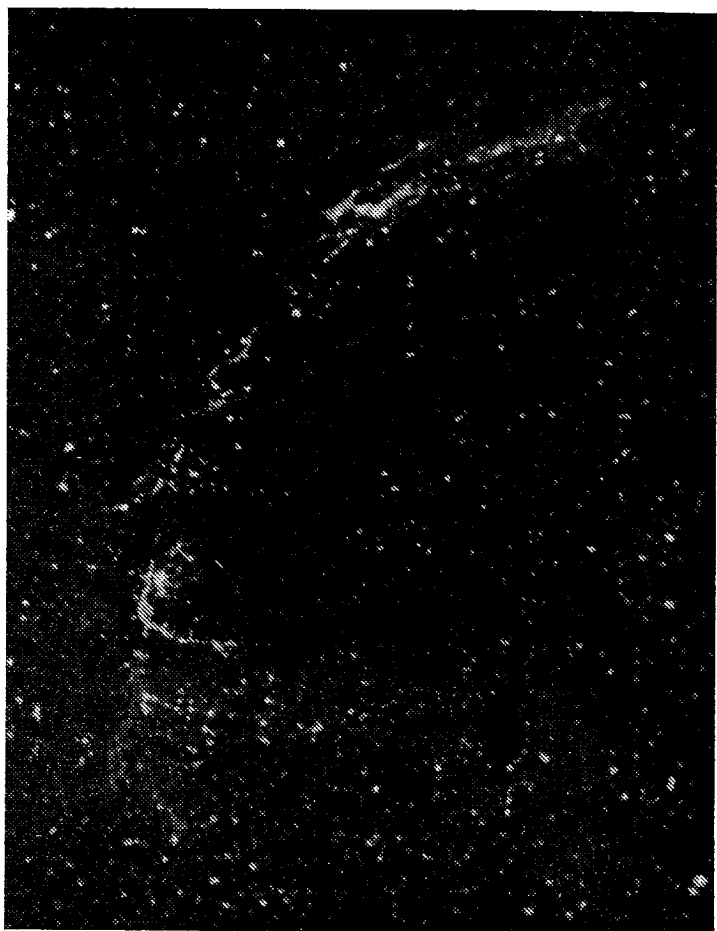


Рис. 71. Волокнистая туманность NGC 6992—5 в созвездии Лебедя («Циррус» или «Рыбачья сеть»). Затерянная среди богатых звездных полей Млечного Пути, эта туманность видна визуально в 150-миллиметровый рефлектор с большим трудом, хотя на фотографии за 40 мин экспозиции получается уверенно на пленке «А-500». Фото Л. Л. Сикорука

туманностей мала, и рассмотреть их можно только при идеально чистом небе не менее чем в 150-миллиметровые инструменты. На фотографиях же они получаются легче.

Рассеянные и шаровые звездные скопления

Наше небо буквально усыпано скоплениями звезд, среди которых рассеянные скопления группируются вдоль полосы Млечного Пути, а шаровые, напротив, избегают ее. Мы опишем два рассеянных скопления и одно шаровое.

Рассеянное скопление М 45, «Плеяды», «Стожары», «Семь сестер» ($\alpha = 3^h 43,9^m$, $\delta = 23^\circ 58'$). С незапамятных времен Плеяды привлекали внимание человека, о чем свидетельствуют многочисленные названия этого скопления у разных народов. На звездном небе нет объекта, который фотографировался бы так часто, как Плеяды (рис. 72, 73). Невооруженным глазом в скоплении видны 6—7 звезд, но наблюдатели с особо острым зрением видят 12 звезд. В телескоп в пределах 1° видны сотни звезд, из которых самая яркая Альциона имеет блеск $2,9^m$. Суммарный блеск Плеяд $1,38^m$ и превосходит блеск α Персея. Скопление представляет собой колыбель молодых голубых звезд, погруженных в газопылевую туманность. Туманность светит отраженным светом, и наиболее яркая ее часть окружает Меропу. Плеяды интересны на любой фотографии. На снимках, сделанных «Сменой», они трогательно сбиваются в кучку среди звездных полей зимнего неба; объектив «Таир-3» выявляет сотни звезд и наиболее яркие участки туманности; «Уран-12» показывает их забавной кучкой светлых пятнышек. Но уже в 150-миллиметровый рефлектор выявляется сложный комплекс звезд и туманностей.

На фотографиях, полученных с помощью телескопов, видна структура туманностей, а рефлекторы вносят за счет дифракции на растаянках дополнительный элемент драматизма — лучи от ярких звезд. На цветных фотографиях и звезды, и туманность выглядят интенсивно голубыми. Цветные фотографии, полученные с помощью больших телескопов, могут сравниться с лучшими образцами живописи.

Двойное рассеянное скопление η и χ Персея ($\alpha = 2^h 15,5^m$, $\delta = +56^\circ 55'$ и $\alpha = 2^h 18,9^m$, $\delta = +56^\circ 53'$) (рис. 74, 75). Двойное скопление в созвездии Персея замечательно выглядит с небольшими увеличениями при большом поле зрения. Малые поля зрения крупных телескопов скрадывают прелесть этого замечательного объекта. Как и Плеяды, эти

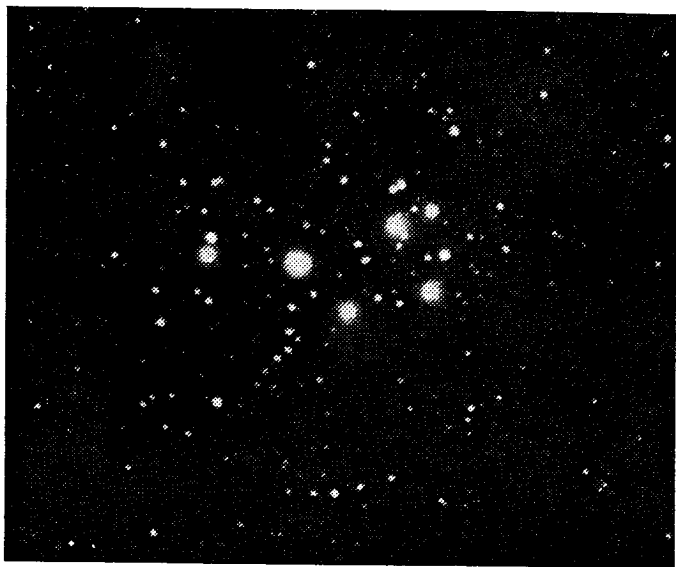


Рис. 72. Плеяды, как они получаются с помощью объектива «Гаир-3» при достаточно хорошем небе. Пленка «Фото-130», выдержка 40 мин. Заметна туманность, в которую погружено скопление. Видны звезды до 14^m . Фото Л. Л. Сикорука

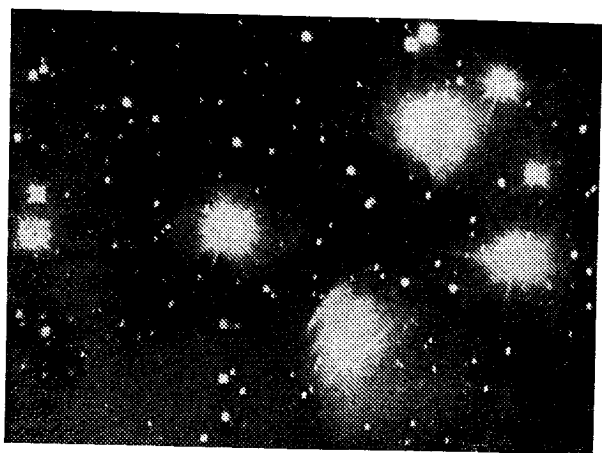


Рис. 73. На пленке «А-500» в 100 км от Новосибирска 150-миллиметровый рефлектор 1/6.3 при выдержке 1 ч регистрирует звезды до $17-17,5^m$ и замечательный рисунок волокон туманности. Фото Л. Л. Сикорука

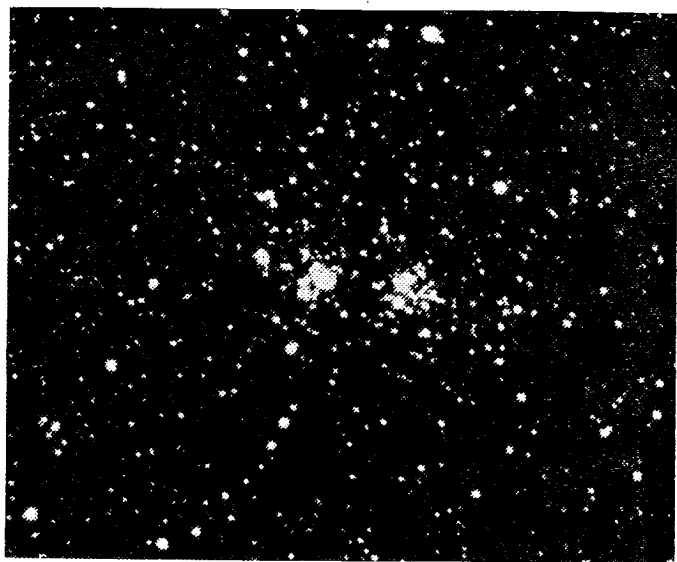


Рис. 74. Эта фотография двойного скопления h и χ Персея получена в Угличе с помощью астрографа с объективом «Индустар-37» на пластинке «ZU-3» за 24 мин. Руководитель кружка Ю. А. Гришин.

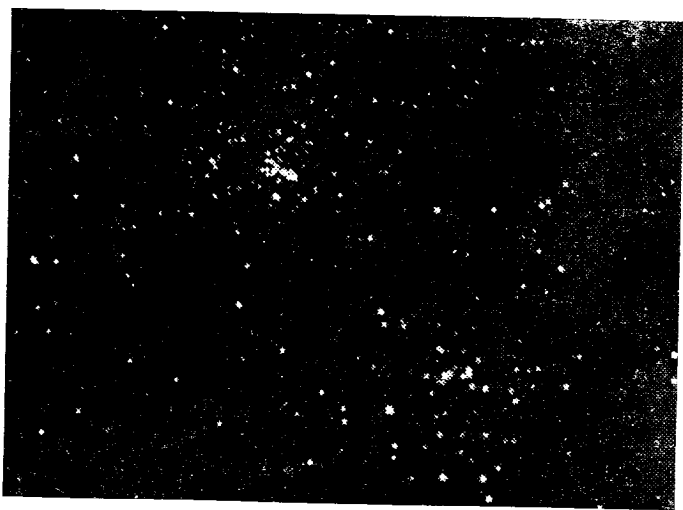


Рис. 75. Скопление h и χ Персея на снимке Л. Л. Сикорука с рефлектором. Хотя здесь подробностей видно больше, предыдущий снимок выглядит выразительнее.

скопления часто фотографируют. На фотографиях скопление выглядит иначе, чем при визуальных наблюдениях.

Линзовые астрографы дают выразительные фотографии за счет «разнобоя» в диаметрах звездных изображений. Рефлекторы благодаря четкому изображению дают несколько «сухие» фотографии. К сожалению, поле рефлекторов мало, и при фокусном расстоянии 2 м обычно в поле входит только



Рис. 76. Шаровое скопление М 13 в Геркулесе. 150-миллиметровый рефлектор, 1/6,3; пленка «А-500», выдержка 30 мин. Обратите внимание на маленькую галактику в правом нижнем углу снимка (север внизу).
Фото Л. Л. Сикорука

одно скопление. Поэтому приходится делать мозаики — составные отпечатки, полученные с двух негативов.

Полоса Млечного Пути изобилует рассеянными скоплениями, и их фотографирование не вызывает принципиальных трудностей.

Шаровое скопление М 13 = NGC 6205 ($\alpha = 16^{\text{h}}39,9^{\text{m}}$, $\delta = +36^{\circ}33'$) (рис. 76). Наиболее красивое шаровое скопление севернее — 40° . Его обнаружил в 1714 г. Эдмунд Галлей как слабую туманную звездочку 6^{m} между η и ζ Геркулеса.

Невооруженным глазом видно на пределе в темные ясные ночи.

Как и все шаровые скопления, М 13 чрезвычайно чувствительно к разрешающей способности астрографа. Объектив «Уран-12» показывает скопление странной слегка нерезкой звездочкой. «Таир-3» позволяет получить фотографию скопления уже с разрешением на звезды, хотя и нечеткую. На негативах, полученных рефлектором с фокусным расстоянием 1 м, видны одна-две сотни звезд, а в двухметровом фокусе регистрируются несколько тысяч звезд. Все это, конечно, при безупречных фокусировке и гидировании. И все-таки на любительских фотографиях получается только половина диаметра скопления, которое на самых лучших фотографиях занимает 23'. При расстоянии до скопления 25 000 световых лет это соответствует диаметру в 170 световых лет. Центральная часть скопления на фотографиях «выжжена», сильно передержана. От этого создается впечатление, что звезды в центре расположены очень тесно. На самом деле в одном кубическом световом годе содержится одна-две звезды. Это в 500 раз плотнее, чем в районе Солнца. Всего скопление содержит несколько сотен тысяч звезд.

Галактики

Галактика М 31, Большая Туманность Андромеды (рис. 77). Не все объекты знаменитого каталога Мессье были открыты известным французским ловцом комет. Объект под номером 31 был хорошо известен с глубокой древности. Первое письменное упоминание находится в сочинении выдающегося арабского астронома Абу-ал-Рахмана ибн Умар ибн Мухаммеда ибн Сахла Абу-ал-Хусайна ал-Суфарта ал-Рази (903—986), называемого обычно Аль-Суфи. В рукописи туманность Андромеды называется маленьким облачком и упоминается как хорошо известный объект.

Большая галактика Андромеды — безусловно, самый замечательный объект этого класса на нашем небе. Это — самая близкая к нам спиральная галактика, аналогичная нашей. В мире галактик это гигант, содержащий 200 млрд звезд.

М 31 имеет интегральную звездную величину 4^m. На большинстве фотографий, опубликованных в популярных книгах, большая ось спирали равна примерно 1,5°. В этих пределах заключена наиболее выразительная спиральная структура галактики. Но на лучших фотографиях, полу-

ченных крупными камерами Шмидта, большая ось увеличивается до 3° .

В 1937 г. советский астроном М. П. Леонтовский проделал блестящий эксперимент. С помощью многообъективного астрографа, снабженного простыми одиночными линзами в качестве объективов, он получил 200 негативов галактики, из которых выбрал 80 для дальнейшей обработки.



Рис. 77. Галактики в созвездии Андромеды: М 31 (Туманность Андромеды), М 32 (внизу) и NGC 205 (справа). 150-миллиметровый рефлектор; пленка «А-500», выдержка 1 ч. Север вверху. Фото Л. Л. Снорука

Затем, складывая эти негативы по 10 штук вместе и тщательно совмещая изображения на них, он получил 8 промежуточных позитивов на прозрачной подложке. Затем, сложив эти позитивы вместе, он отпечатал с них один промежуточный негатив (контратип), на котором увидел чрезвычайно удаленные и слабосветящиеся части галактики, которые обычным способом зарегистрировать нельзя, так как их яркость чрезвычайно низка. Размеры галактики на этом контратипе равны: большая ось $7^\circ 30'$, малая ось $1^\circ 52'$, что блестяще подтвердило результат Стеббинса и Уитфорда,

полученный за три года до этого на 2,5-метровом рефлекторе обсерватории Маунт Вилсон. Работа М. П. Леонтовского показывает, что и с помощью скромных инструментов любительского класса можно получить значительный по важности научный результат.

М 31 легко видна на негативах, полученных малоформатными камерами со штатными фотообъективами с фокусным расстоянием около 50 мм. При относительных отверстиях примерно $1/4$ и больше и чувствительности 130—250 ед. ГОСТ выдержка составляет примерно 60 мин, когда прорабатывается не только центральная конденсация, но и спиральные рукава. Конечно, на таких снимках трудно рассмотреть какие-нибудь подробности в рукавах. В качестве ведущей звезды для таких снимков лучше всего выбрать β Андромеды, которая, будучи звездой 2-й звездной величины, легко видна в небольшие гиды с любым разумным увеличением.

Но уже при переходе к длиннофокусному объективу малоформатной камеры приходится брать в качестве ведущей γ Андромеды ($4,5^m$). Она хорошо видна при больших увеличениях в 50—70-миллиметровый гид. При переходе к малоформатной камере на ньютоновском телескопе поле зрения уменьшается настолько, что либо нужно сместить ось гида, сохранив в его поле зрения γ Андромеды, либо выбрать другую ведущую звезду в непосредственной близости от галактики. Для этого потребуется гид-микроскоп на краю поля зрения.

Поверхностная яркость галактики, значительная в центральной части, довольно быстро спадает к краю спиральной структуры и начинает уравниваться с яркостью ночного неба на расстоянии более 1° от ядра большой оси.

Один из двух наиболее ярких спутников Туманности Андромеды — галактика М 32 был обнаружен Мессье. Размеры этой карликовой эллиптической галактики так малы, что на фотографиях, полученных с помощью обычных фотообъективов с фокусным расстоянием 300 мм и меньше, она ничем не отличается от звезд $8-9^m$. Нужен хороший объектив с фокусным расстоянием более полуметра, чтобы отличить ее от звезд. Галактика NGC 205, открытая сестрой великого астронома Каролиной Гершель, видна туманным эллипсом и на фотографиях, полученных линзовыми объективами типа «Таир-3». Ее интегральный Слеск ($8-9^m$) чуть больше, чем у М 32 ($9,1^m$), но заметить ее труднее из-за больших видимых размеров и потому меньшей поверхностной яркости. На фотографиях, где хотя бы

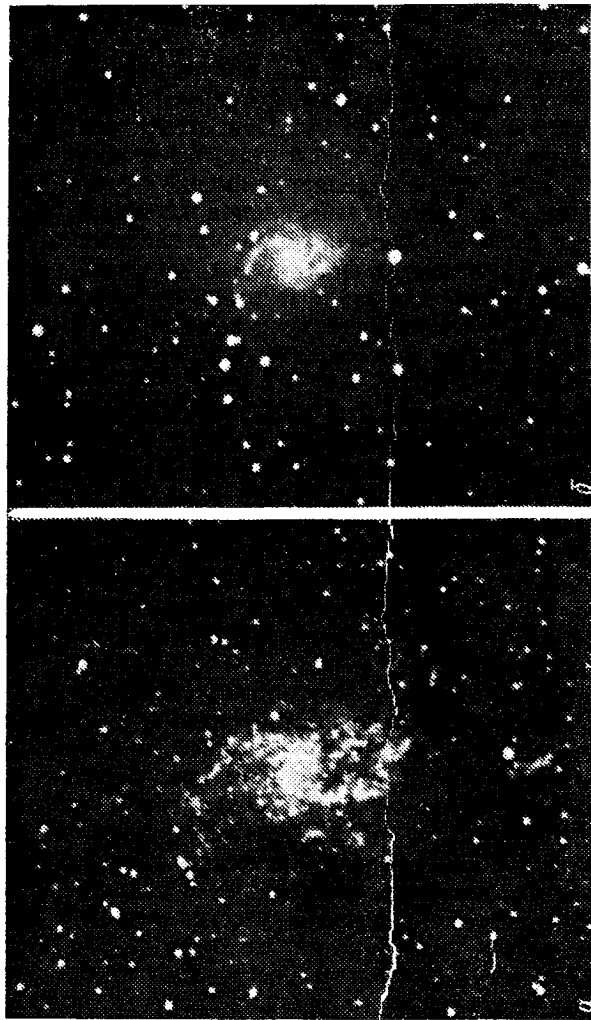


Рис. 78. Галактика М 33, как ее показывают 150-миллиметровый рефлектор (а) и «Танр-3» (б).
Первая фотография получена на пленке «А-500» за 30 мин, вторая на пленке «Фото-130» за 40 мин.
Фото Л. Л. Сикорука

слабо проработалась спиральная структура М 31, NGC 205 уже хорошо заметна даже на снимках, сделанных малоформатным аппаратом.

М 33, галактика в созвездии Треугольника (рис. 78). Это также одна из ближайших к нам галактик. Интегральная яркость М 33 $6,2^m$, но ее поверхностная яркость низка, так как размеры галактики на небе около 1° . Галактика расположена симметрично М 31 относительно β Андромеды.

С помощью «Таира-3» за часовую экспозицию на пленке «Фото-130» можно легко получить спиральную структуру. На фотографиях с помощью 150-миллиметрового телескопа с фокусным расстоянием около 1 м в спиральных рукавах видно много подробностей. Великолепны фотографии, полученные телескопами с фокусным расстоянием 2 м и более. Многие неясные узелки в рукавах достаточно заметны. Один из них вошел как отдельный объект в «Новый общий каталог» (New General Catalog — NGC) Г. Дрепера. Это NGC 609, расположенный в $9'$ к западу и $7,6'$ к северу от ядра М 33.

Наибольшая трудность при фотографировании М 33 заключается в том, что поблизости нет ни одной сколько-нибудь яркой звезды. Восточнее в двух градусах расположена одна звезда 6^m ($\alpha = 1^\circ 33' 50''$, $\delta = 29^\circ 48'$), а западнее в полутора градусах — звезда 7^m ($\alpha = 1^\circ 25' 35''$, $\delta = 30^\circ 15'$).

Для хорошей проработки деталей в рукавах необходима предельная выдержка при достаточно прозрачном незаосвещенном небе, когда легко видны звезды $5,5-6,0^m$.

М 51, Галактика «Водоворот» в созвездии Гончих Псов (рис. 79). Одна из самых известных галактик, хотя в небольшой любительский телескоп она видна лишь только как две неясные туманные звезды.



Рис. 79. Галактика М 51, «Водоворот». Расстояние между центрами галактики и спутника в метровом фокусе 150-миллиметрового рефлектора всего 1,1 мм. Снимок Л. Л. Сикорука. На пленке «А-500» автору потребовался час экспозиции

Интегральный блеск М 51 около 8^m , ее спутник NGC 5195 имеет блеск на $1,5^m$ меньше. Однако центральные районы обеих галактик видны легко, так как их видимые размеры малы, а поверхностная яркость велика. Яркость спиралей значительно ниже.

Расстояние между ядрами пары $4'$, максимальные размеры комплекса примерно $11' \times 7'$.

Малые видимые размеры делают этот объект доступным только для инструментов с фокусным расстоянием больше полуметра. Благодаря большой поверхностной яркости центральные части галактик получаются на пленке 130 ед. ГОСТ при относительном отверстии $1/6$ за 5 мин экспозиции, но уже при выдержке 15 мин прорабатываются и спиральные рукава. Для подробного изображения спиральных рукавов нужна выдержка около часа.

М 81 и М 82 («Взрывающаяся») в созвездии Большой Медведицы. Среди ярких галактик трудно найти две галактики-соседки, так непохожие друг на друга. М 81 — типичная спиральная галактика, очень похожая на М 31. М 82 — спутник М 81. Это одна из самых замечательных галактик нашего неба. На фотографиях, полученных с помощью узкополосного светофильтра, четко видны система хаотических светлых полос и темных каналов. Вид этих волокон в центральной части служит хорошим доказательством взрыва, который произошел около 1,5 млн лет назад.

На цветных фотографиях ее центральная часть красноватая, а периферия голубая. Это свидетельствует о том, что во взрыве центральной части участвуют большие массы возбужденного водорода, который так отчетливо виден на фотографиях с узкополосными фильтрами.

Видимые размеры М 81 составляют $35' \times 14'$, а М 82 — $13' \times 3'$. Интегральные звездные величины $7,8^m$ и $9,2^m$ соответственно. Несмотря на то, что блеск М 82 ниже блеска М 81 на $1,4^m$, ее поверхностная яркость выше, чем у М 81, благодаря более компактным размерам. Визуально она выглядит ярче, а на фотографии, когда обе галактики в поле зрения, она прорабатывается быстрее.

Расстояние между центрами этих галактик примерно $0,5^\circ$. Поэтому на фотографиях, полученных с помощью телескопов с полем зрения около 1° и более, они видны одновременно и представляют собой красивую пару.

М 104, «Сомbrero» в созвездии Девы. Относительно большой интегральный блеск (8^m) и небольшие размеры ($6' \times 2'$) делают эту галактику нетрудной для визуальных

поисков, так как ее поверхностная яркость велика. С относительным отверстием $1/6$ на пленке чувствительностью 250 ед. ГОСТ за 30—40 мин она прорабатывается достаточно хорошо. Незаметная при визуальных наблюдениях полоса пыли, расположенная вдоль экватора галактики, хорошо видна на photographиях, полученных с помощью телескопов с фокусным расстоянием 1 м и более. Эта полоса разделяет галактику на две части, одна из которых очень похожа на шляпу с большими полями. Различие в размерах «половинок» объясняется тем, что плоскость галактического

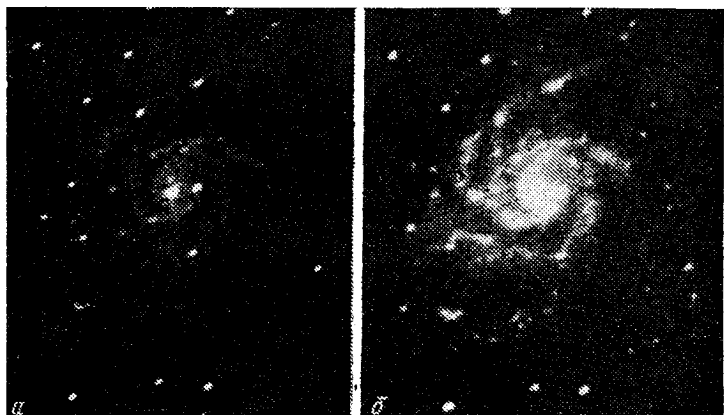


Рис. 80. Галактика М 101. 150-миллиметровый рефлектор. Снимок Л. Л. Сикорука. Для повышения контраста автору пришлось сделать отпечаток с двух негативов, сложенных вместе (снимок б)

экватора не совпадает с лучом зрения, а составляет с ним угол 6° . На любительских photographиях практически не видна ее спиральная структура, и галактика напоминает эллиптическую.

Часто плотность негатива туманности или галактики оказывается недостаточной, чтобы отпечатать хорошую photographию. Это случается, когда поверхностная яркость туманности мала или небо слегка засвечено, и мы вынуждены сократить выдержку. Имея пару таких негативов мы можем получить вполне полноценный отпечаток, если отпечатаем его с двух сложенных вместе негативов. При сложении негативов их плотности складываются, а контраст возрастает (рис. 80).

Мы описали всего несколько самых ярких и выразительных объектов. Получив снимки описанных здесь туманностей, скоплений, галактик, любитель сможет выполнить гораздо более сложную работу, сфотографировав остальные объекты каталога Мессье, а может быть, и более подробного каталога NGC. Нужда в таком фотографическом каталоге, снабженном картами для поисков и основными данными объектов, очень велика среди любителей астрономии, особенно среди ловцов комет. За рубежом имеются подобные издания, сделанные Дж. Моллэсом и К. Креймером, а также Дж. Ньютоном. К сожалению, эти издания практически недоступны советским любителям, поэтому было бы неплохо, если бы кто-нибудь из наших любителей выполнил эту работу.

§ 6.5. СОЛНЕЧНЫЕ ТЕЛЕСКОПЫ

Проще всего получить фотографию Солнца, если сфотографировать белый экран, на который спроецировано окуляром изображение Солнца. Это удобно с телескопами

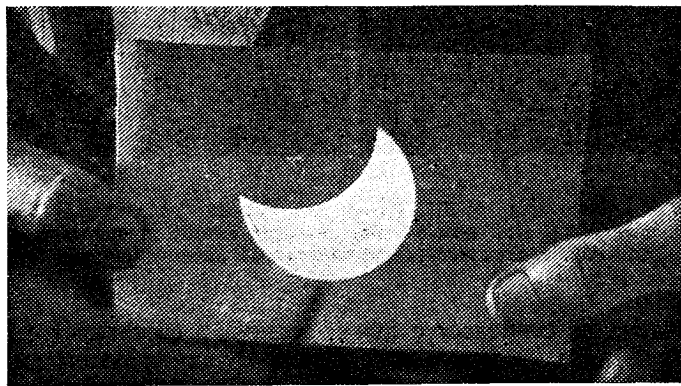


Рис. 81. Снимок с экрана частной фазы солнечного затмения 31 июля 1981 г. Телескоп «Алькор». Фото В. Колесникова

«Мицар», школьными 80- и 60-миллиметровыми рефракторами. Конечно, качество таких снимков невысоко. Их контраст мал (рис. 81). Чтобы контраст увеличить, надо максимально закрыть экран от постороннего света с помощью картонного кожуха. У верхнего конца кожуха устанавливается аппарат, который и фотографирует изображение

с экрана. Чтобы это изображение можно было сфокусировать, в боковой стенке кожуха делается отверстие, которое на время съемки может быть закрыто [37].

Солнце можно фотографировать и с окулярной камерой (рис. 82). Для съемок фотосферы, яркость которой так велика, что требуются самые короткие из имеющихся выдержки, телескоп может быть установлен на любом шта-

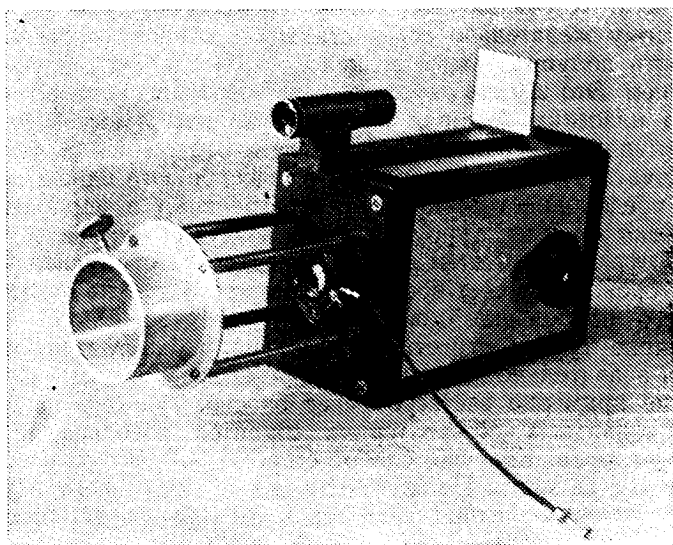


Рис. 82. Окулярная камера к рефрактору Ю. А. Гришина ($D=80$ мм, $f=1200$ мм). Возле кассетной части видна лупа, с помощью которой фокусируется изображение. Перед экспозицией лупа закрывается крышкой

тиве, в том числе и на азимутальном, с часовым приводом или без него.

Близ проекционного объектива окулярной камеры собирается слишком много света, и ирисовая диафрагма объектива или затвор, расположенный рядом с объективом, легко могут быть прожжены насквозь. Поэтому желательно затвор относить подальше от выходного зрачка телескопа. Но тогда затвор не может быть центральным.

Большое количество света и тепла вызывают перегрев, а значит, и коробление зеркал рефлектора, особенно вторичных, расположенных в сходящемся пучке. Нагревается

и воздух внутри трубы телескопа, особенно в рефлекторах Ньютона и Гершеля, где он проходит через трубу дважды, а у телескопов Грегори и Кассегрена даже трижды. Наиболее эффективный способ уменьшить турбулентность в трубе — откачать вакуумным насосом хотя бы часть воздуха. Для этого открытый конец закрывают плоскопараллельной пластиной, а вся труба тщательно герметизируется. Достаточно снизить давление в два-три раза, а еще лучше до 0,1 атм. К сожалению, это не уменьшит нагрев зеркал. Поэтому желательно перед открытым концом трубы установить полупрозрачное зеркало с 1,0—1,5 %-ным пропусканием. Это зеркало представляет собой плоскопараллельную пластину, которая на одной из поверхностей имеет алюминиевый слой; 90—95 % света отражается и поглощается, а 1,5—1,0 % проходит в телескоп. Это одновременно предохраняет зеркала от перегрева и коробления и резко снижает турбулентность воздуха в трубе.

Рефракторы в этом смысле гораздо благополучнее рефлекторов. Здесь свет проходит через трубу только однажды и его наибольшая концентрация — вблизи фокуса, где влияние турбулентности минимально. Объектив нагревается значительно меньше зеркал рефлекторов, и его коробление примерно вчетверо менее опасно. Поэтому на профессиональных обсерваториях строится довольно много рефракторов. Конечно, слабые стороны рефрактора и здесь дают о себе знать. Но благодаря маленьким относительным отверстиям солнечных телескопов (от 1/20 до 1/100) сферическая аберрация и даже хроматизм малы.

То обстоятельство, что фокусные расстояния солнечных телескопов очень велики, делает для них обычные монтажки малопригодными. Обычно солнечные телескопы устанавливаются неподвижно, а за Солнцем следит одно зеркало или система из двух зеркал.

Мы опишем горизонтальный солнечный телескоп Новосибирского клуба им. Д. Д. МаксUTOва. Первоначально телескоп был построен для наблюдений полного солнечного затмения 31 июля 1981 г. Он был полярным (рис. 83, а). Его квадратная труба на деревянном каркасе была обшита фанерой. На верхнем конце было установлено плоское зеркало (сидеростат) диаметром 130 мм, приводимое в движение часовым механизмом от метеорологического термографа. Диаметр главного зеркала 110 мм, фокусное расстояние 2300 мм. Так как относительное отверстие было 1/21 и кома мала, телескоп был построен по схеме Гершеля. Затмение фотографировалось камерой «Салют» с форматом 6×6 см.

Оптическая ось телескопа была вынесена вбок на 100 мм. Угол, на который была вынесена ось, равен $100 : 2300 = 0,043$. Подставив все значения в формулу (7), получим $(3/16) \cdot 0,043 \cdot (1/441) = 0,000\ 018$. Это размер комы в радианной мере. Умножив эту величину на фокусное расстояние, получим $0,000\ 018 \cdot 2300 = 0,04$ мм. Пятно комы в этом случае для центра поля равно 0,04 мм, а для дальнего края

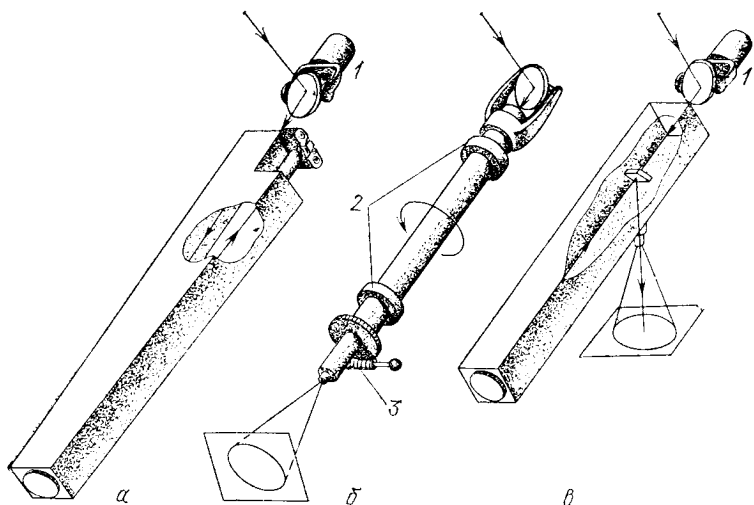


Рис. 83. Схемы солнечных полярных телескопов: рефлектор Гершеля (а), рефрактор (б), рефлектор Ньютона (в). 1 — часовой привод, 2 — подшипники, 3 — червячная пара

0,055 мм. Это несколько больше принятого кружка рассеяния 0,03 мм.

Большое поле и сравнительно большой вынос оси был вызван большими видимыми размерами короны. Когда телескоп был приспособлен для обычной фотографии Солнца, стало возможным вынос оси сделать меньше. В результате максимальный размер пятна комы стал равен 0,03 мм.

Сейчас телескоп установлен горизонтально, и все тот же сидеростат направляет солнечный пучок горизонтально. Вблизи фокальной плоскости установлена приставка для макросъемки с растяжным мехом. Отверстие для объектива приставки обращено к зеркалу, а на другом конце укреплен фотоаппарат. Телескоп позволяет фотографировать в прямом фокусе, где изображение Солнца имеет диаметр

20,1 мм. Изображение свободно помещается в поле формата 24×36 мм. Для большего масштаба применяется окулярное увеличение с помощью объектива с фокусным расстоянием 40 мм. Окулярное увеличение до $3\times$, так как в прямом фокусе разрешающая сила телескопа 90 лин/мм, что меньше разрешающей способности пленки. Поэтому при фотографировании крупных деталей применяется небольшое окулярное увеличение.

Труба полярного телескопа-рефрактора устанавливается в плоскости меридиана параллельно оси мира (рис. 83, б). На верхнем конце укрепляется плоское зеркало, которое может поворачиваться по прямому восхождению и наклоняться по склонению. Так как угол падения равен углу отражения, то для приведения Солнца по склонению достаточно повернуть зеркало на угол в два раза меньше угла склонения. В своем годовом движении по небесной сфере Солнце меняет склонение в пределах $\pm 23,5^\circ$. Значит, зеркало должно поворачиваться в пределах $\pm 12^\circ$.

Обычно в качестве вспомогательных плоских зеркал применяются круглые зеркала. Для предотвращения виньетирования их диаметр должен быть больше диаметра объектива телескопа *). Если плоское зеркало установлено на северном конце телескопа, самое неблагоприятное время наступает летом, когда склонение Солнца максимально. Тогда размер зеркала должен быть примерно вдвое больше диаметра объектива. Именно в это время солнечные наблюдения наиболее интенсивны. Нередко телескоп располагают наоборот, когда плоское зеркало оказывается на южном конце телескопа. Тогда в день летнего солнцестояния размер плоского зеркала телескопа должен быть в 1,2 раза больше диаметра объектива. Это примерно на 20 % больше. Но в дни равноденствий его размер следует увеличить в 1,41 раза, а в день зимнего солнцестояния на 80 % или почти в два раза.

Если смириться с небольшим виньетированием зимой, то в этом случае можно ограничиться зеркалом в 1,5 раза больше объектива телескопа.

В 1963 г. под руководством автора на любительской обсерватории Новосибирской областной Станции юных тех-

*) Любителю проще изготовить большое сферическое зеркало, чем плоское. Поэтому для предотвращения виньетирования можно увеличить диаметр главного сферического зеркала на величину $0,01 f$, где f — фокусное расстояние главного зеркала. В этом случае D и A телескопа определяются диаметром плоского зеркала,

ников был построен полярный телескоп-рефрактор с диаметром 140 мм и фокусным расстоянием 3600 мм. В качестве сидеростата использовалось плоское зеркало диаметром 250 мм. Оно было установлено в вилке, которая жестко крепилась к верхнему концу трубы, так что могла вместе с трубой поворачиваться вокруг полярной оси. По склонению зеркало смещалось с помощью винта и водила.

Для фотографирования солнечного диска или его деталей аппарат устанавливается на окулярном конце телескопа с окулярной камерой или без нее. Поскольку аппарат поворачивается вместе с трубой и изображением, то относительно фотокадра изображение Солнца остается неподвижным. Поэтому направление суточной параллели, которое необходимо знать, чтобы сориентировать снимок Солнца для обработки, можно определить по горизонтальной границе кадра. Если требуется большая точность, нужно недалеко от фокальной поверхности окулярной камеры натянуть тонкую проволочку.

Установив с помощью сидеростата изображение так, чтобы верхний край солнечного диска касался проволоки, даем изображению сместиться, следя за тем, чтобы на всем протяжении проволочка только касалась изображения. Если оно отходит от нее или надвигается, нужно изменить наклон проволочки.

Лучше сделать указатели полюсов, так как вблизи полюсов Солнца мало деталей.

Для проекции солнечного увеличенного изображения на стену вблизи нижнего конца трубы устанавливалась прямоугольная призма полного внутреннего отражения. Надо, однако, помнить, что если солнечное изображение выносится с оптической, и следовательно, с полярной оси, его вращение вокруг центра поля зрения ничем не компенсируется.

Можно сделать вращение сидеростата независимым. Тогда труба остается неподвижной и не вращается. Телескоп Ньютона в этом случае удобен тем, что его диагональное зеркало устанавливается не под углом 45° к оси, как обычно, а под углом $(90^\circ - \varphi)$, где φ — широта места наблюдений (если плоское зеркало наверху). Так, для Новосибирска, широта которого примерно 55° , этот угол равен $17,5^\circ$. В этом случае пучок света после отражения от диагонального зеркала идет вертикально вниз, и через окуляр или специальный объектив увеличенное изображение Солнца проецируется на горизонтальный стол (рис. 83, в).

Такая схема телескопа удобна тем, что для фотографирования деталей солнечной поверхности достаточно положить на стол малоформатный аппарат без объектива и перемещать его по столу до тех пор, пока изображение нужного участка не «провалится» в аппарат. Теперь достаточно нажать спуск.

Если затвор разместить недалеко от проекционного объектива (или окуляра), то фотографирование можно вести и на большие пластинки, например, формата 9×12 см. Кассета укладывается на стол при открытом затворе, затем затвор закрывается, крышка кассеты открывается, производится съемка, после чего крышка кассеты закрывается.

Солнечные наблюдения проводятся днем, когда воздух очень неспокоен. Очень неприятна турбулентность воздуха на самых различных высотах от нескольких метров до нескольких километров.

Переносной телескоп устанавливается на поросшей травой площадке с таким расчетом, чтобы значительная часть площадки перед телескопом была затенена деревьями. Вокруг стационарной обсерватории нужно посадить кустарник, который, не закрывая неба, затенял бы площадку.

Очень хорошо, если обсерватория расположена непосредственно на берегу водоема. Над прохладной поверхностью воды не поднимаются струи теплого воздуха, и изображение становится значительно спокойнее. Некоторые профессиональные солнечные обсерватории расположены на берегу или даже на выступающих далеко молах. Так построены, например, солнечные обсерватории Биг Биэр в США и Иркутская обсерватория СибИЗМИР на берегу Байкала.

И телескоп, и башня должны быть покрашены белой краской, чтобы уменьшить их нагревание и нагревание прилегающего к ним воздуха. Особенно хороша алюминиевая краска.

Иной раз в руководствах по наблюдениям Солнца указывают, что полярные солнечные телескопы имеют то преимущество, что когда верхний конец телескопа находится снаружи помещения, окулярная часть и наблюдатель — в тепле. Нет ничего более нелепого. Теплый (нижний) конец трубы нагревает воздух внутри телескопа и он начинает быстро подниматься к верхнему концу, создавая сильнейшую турбулентцию. Кровля помещения, нагревая наружный воздух и заставляя его хаотически подниматься вверх, довершает дело. Из этого следует, что температура в помещении и снаружи должна быть одинаковой.

§ 6.6. КАК ОСЛАБИТЬ СОЛНЕЧНЫЙ СВЕТ

Существует много способов ослабить солнечный свет. Самый простой — установить на объектив телескопа плотный нейтрально-серый, так называемый солнечный светофильтр. Этими фильтрами снабжаются школьные телескопы-рефракторы. Их диаметр равен диаметру объектива и они устанавливаются перед объективом, где практически не нагреваются. Часто солнечные фильтры устанавливают на окуляре, где концентрируется много света. Температура здесь такая, что фильтр легко может лопнуть. Приходится на объектив телескопа надевать диафрагму. Ее диаметр

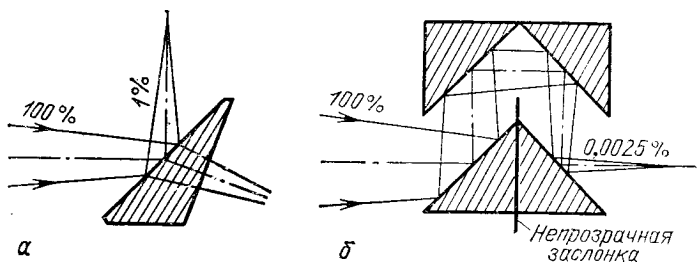


Рис. 84. Устройства для ослабления солнечного света: призма Гершеля (а), система из трех призм (б)

обычно около 50 мм. Для рефракторов отверстие вырезается в центре. Для рефлекторов со вспомогательным зеркалом диафрагма устанавливается сбоку отверстия с таким расчетом, чтобы свет через нее проходил, минуя оправу и растяжки вторичного зеркала.

В. Гершель предложил устанавливать перед фокусом телескопа специальную призму (рис. 84, а). При падении света на поверхность стекла большая его часть проходит, а отражается 4—5 %. Так как поверхность призмы Гершеля устанавливается под углом 45° , от нее отражается примерно 6 % света. Призму Гершеля с успехом можно заменить любой другой призмой, но не плоскопараллельной пластинкой. Ее действие будет тем же. Можно установить две, три и даже четыре призмы. В последнем случае ослабление будет таким ($0,07 \times 0,07 \times 0,07 \times 0,07 = 0,000\,000\,24$), что наблюдение можно вести с полным отверстием объектива, не опасаясь перегрева, и наблюдать поверхность Солнца в неискаженном светофильтрами естественном цвете. Между первой и четвертой по ходу луча призмами нужно установить непрозрачную заслонку (рис. 84, б).

Можно воспользоваться тем, что некоторые сорта эмульсий почти нечувствительны к красному свету. Это — позитивные пленки, имеющие к тому же малую чувствительность, обычно порядка 1 ед. ГОСТ. Если аппарат заряжен такой пленкой, то, установив красный светофильтр К13 на пути лучей (перед объективом, перед фокусом или позади проекционного окуляра), можно получить негативы нормальной плотности при обычных выдержках. Все дело в том, что и красный светофильтр пропускает незначительную часть излучения в синем диапазоне спектра, к которому чувствительна позитивная пленка, да и сама пленка имеет ничтожную чувствительность в красной части. Однако благодаря чудовищной яркости Солнца удастся получить приемлемые выдержки. Рассчитать экспозицию в данном случае трудно, лучше это сделать методом проб, сняв одну или несколько экспозограмм.

Так как позитивная пленка чувствительна главным образом к синему цвету, то фокусировать рефрактор нужно в синем свете, так как фокусы красных и синих лучей не совпадают. Синий фильтр в этом случае может быть установлен как перед фокусом, так и позади окуляра зеркальной камеры.

§ 6.7. ФОТОГРАФИРОВАНИЕ ФОТОСФЕРЫ

Фотосфера — это поверхность Солнца, которую мы видим в белом свете без каких бы то ни было приспособлений, кроме темного светофильтра. Пятна и их полутени, факелы и грануляция — это то, что сразу же бросается в глаза, если Солнце не находится в самом минимуме своей активности (рис. 85). Для съемки фотосферы интересен 210-миллиметровый телескоп Ньютона с фокусным расстоянием 1290 мм, установленный на монтировке Холкомба. Телескоп построен Ф. Рувьером (Франция). Несмотря на довольно простое решение, он дает великолепные результаты. Телескоп снабжен алюминированным фильтром, снижающим количество света до 0,2 %. Для снижения количества постороннего света в фокальной плоскости телескопа установлена диафрагма, которая перекрывает те участки солнечного диска, которые после окулярного увеличения оказываются за пределами кадра (рис. 86). Еще одна диафрагма установлена сразу за окуляром (Ф. Рувьер пользуется вместо проекционного короткофокусного объектива окуляром Плессла с фокусным расстоянием 25 мм). Здесь

в районе выходного зрачка диафрагма срезает весь посторонний свет. Ее диаметр чуть больше диаметра выходного зрачка, который в данном случае равен 4 мм.

Камера установлена на жесткой пирамиде из уголка для достижения большей жесткости. Фокусировка производится только фокусирующей трубкой. Эквивалентное фокусное расстояние 13,3 м, относительное отверстие 1/65. Чтобы предотвратить вибрации от работы зеркала, установлен электромагнитный затвор малой массы. Лучшие



Рис. 85. Сложная группа солнечных пятен 12 апреля 1980 г. Рефрактор с окулярной камерой, изображенной на рис. 82.

фотографии показывают разрешение около 1". «Если хорошая видимость продолжается несколько часов,— пишет Ф. Рувьер,— можно фотографировать изменения структуры пятен в их развитии. К сожалению, это случается редко. Нужно быть осторожным, чтобы не истолковать видимые изменения в результате атмосферной турбулентности как результат действительных изменений в пятнах».

Как мы уже говорили, можно фотографировать сразу весь диск для подсчета чисел Вольфа и площади пятен. Конечно, эту работу можно выполнить и визуальным наблюдением с зарисовкой на экране, но фотография — это документ, который хранится годы и может обрабатываться по несколько раз, если меняется задача. Такие фотографи-

ческие наблюдения должны быть регулярными. Легче всего их наладить в кружке, когда фотографированием в разные дни занимаются разные наблюдатели. В этом случае чрезвычайно важно, чтобы вся технология фотографирования и инструмент были максимально упрощены, чтобы не требовать от наблюдателя большой квалификации. Упрощенное — вовсе не примитивное. Надо построить простой в обращении, но обязательно надежный инструмент, отработать до автоматизма процедуру съемки и лабораторной обработки — это непростое дело, и нужно быть готовым к тому, что потребуются год-два, прежде чем систематические наблюдения Солнца будут окончательно налажены.

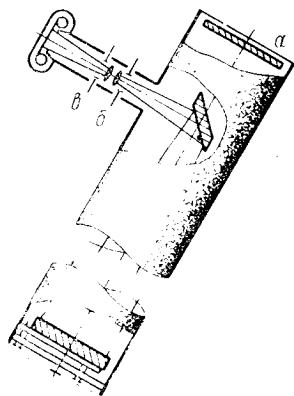


Рис. 86. Солнечный телескоп Рувьера: отражающий фильтр (а), диафрагма в плоскости изображения (б), диафрагма в плоскости выходного зрачка (в)

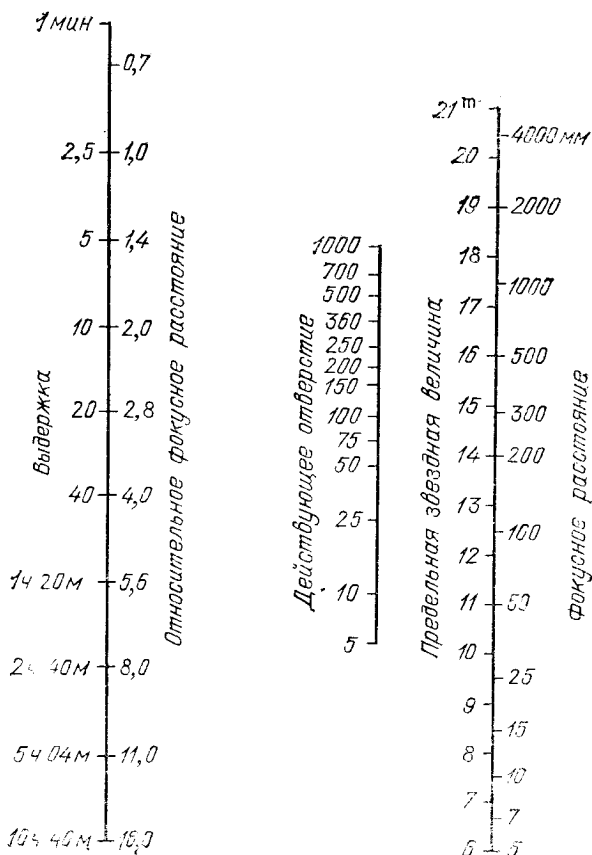
Получив серию патрульных фотографий Солнца на протяжении одного-двух месяцев, когда пасмурных дней было мало, мы можем получить «кинограмму» Солнца, на которой последовательно будут располагаться снимки Солнца, напечатанные в одном масштабе и примерно в одной тональности. На кинограмме можно легко проследить за развитием пятен и вращением Солнца вокруг своей оси, так как пятна и группы пятен от снимка к снимку будут постепенно перемещаться от одного края к другому. И в то же время из-за края видимой поверхности будут выходить новые и новые пятна.

Кинограмму можно превратить в кинофильм, если отдельные фотографии кинограммы снять методом мультипликации. 30 фотографий будут демонстрироваться 2 с. Это мало, поэтому можно каждую фотографию снимать на 5—10 кадров. Чтобы несколько уменьшить неизбежные в этом случае скачки, можно Солнце снимать телескопом вдвое чаще — не один раз в день, а утром и вечером. Для того чтобы не возникала тряска изображения на экране, фотографии нужно отпечатать строго в одном масштабе, изображение Солнца должно находиться на одном расстоянии от границ кадра и наклон границ относительно диска Солнца одинаков. Тогда, вычертив на столике квадрат, укладываем в этот квадрат наши фотографии и снимаем.

ПРИЛОЖЕНИЕ

НОМОГРАММА ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЭКСПОНОМЕТРИЧЕСКИХ ЗАДАЧ

Номограмма предназначена для решения экспонOMETРИЧЕСКИХ задач при фотографировании звезд на незасвеченном небе. Она состоит из трех шкал, на которых даны значения действующих отверстий, фокусных расстояний и относительных фокусных расстояний (диафрагм). Кроме того, имеются значения выдержек и предельных звездных величин. Рассмотрим примеры.



1. Определить предельную звездную величину для фокусного расстояния 300 мм. На правой шкале против значения фокусного расстояния 300 мм читаем предельную звездную величину $14,9^m$.

2. Определить предельную допустимую величину выдержки для относительного фокусного расстояния (диафрагмы) 4,0. На левой шкале против значения диафрагмы 4,0 нанесено значение выдержки 40 мин.

3. Диаметр астрографа 150 мм, фокусное расстояние 1000 мм. Определить время, необходимое для достижения предельной звездной величины. Соединяем значение фокусного расстояния со значением действующего отверстия прямой линией (прикладываем линейку) и на пересечении прямой с левой осью читаем значение выдержки — 1 ч 25 мин.

4. Диаметр телескопа 250 мм. Какая звездная величина регистрируется на пределе за 10 мин? Соединяем прямой линией значение 250 мм на средней шкале и значение 10 мин на левой. На пересечении прямой с правой шкалой читаем результат 16^m .

Нужно иметь в виду, что номограмма составлена для пленки «А-500». Для пленки «Фото-130» выдержки нужно удваивать. Например, в последнем примере 250-миллиметровый телескоп на пленке «Фото-130» регистрирует звезды 16^m не за 10, а за 20 мин.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Телескопы и астрографы

1. *Михельсон Н. Н.* Оптические телескопы: Теория и конструкция.— М.: Наука, 1976.
2. *Максutow Д. Д.* Астрономическая оптика.— 2-е изд.— Л.: Наука, 1979.
3. *Бегунов Б. Н.* Геометрическая оптика.— М.: Изд-во МГУ, 1961.
4. *Волосов Д. С.* Фотографическая оптика.— М.: Искусство, 1971.
5. *Щеглов П. В.* Проблемы оптической астрономии.— М.: Наука, 1980.
6. *Навашин М. С.* Телескоп астронома-любителя.— 4-е изд.— М.: Наука, 1979.
7. *Сикорук Л. Л.* Телескопы для любителей астрономии.— М.: Наука, 1982.
8. *Лапаури А. А.* Просветленный объектив.— М.: Искусство, 1971.

Фотоматериалы и их обработка

9. *Шашлов Б. А.* Теория фотографического процесса.— М.: 1970.
10. *Кириллов Н. И.* Основы процессов обработки кинофотоматериалов.— М.: 1977.
11. *Фомин А. В.* Общий курс фотографии.— М.: 1977.
12. *Горбатов В. А., Талицкий Э. Д.* Цветная фотография.— М.: 1980.
13. *Зернов В. А.* Фотографическая сенситометрия.— М.: 1980.
14. *Журба Ю. Л., Шпольский М. Р.* Фотографическая химия и материаловедение.— М.: 1981.
15. *Журба Ю. И.* Лабораторная обработка кинофотоматериалов.— М.: 1984.

Практика астрономической фотографии

16. *Вокулёр Ж., Тексеро Ж.* Фотографирование небесных тел (для любителей астрономии): Пер. с фр.— М.: Наука, 1967.
17. *Вокулёр Ж.* Астрономическая фотография.— М.: Наука, 1975.
18. *Бронштэн В. А.* Планеты и их наблюдение.— М.: Наука, 1979.
19. *Чурюмов К. И.* Кометы и их наблюдение.— М.: Наука, 1980.
20. *Беляев Н. А., Чурюмов К. И.* Комета Галлея и ее наблюдение.— М.: Наука, 1984.
21. *Бронштэн В. А.* Серебристые облака и их наблюдение.— М.: Наука, 1984.
22. Солнечное затмение 31 июля 1981 года и его наблюдение /Под ред. А. А. Михайлова.— М.: Наука, 1980.

23. *Цесевич В. П.* Переменные звезды и их наблюдение.— М.: Наука, 1980.
24. *Алеску М., Бойко В.* Инструменты для наблюдений солнечных протуберанцев // Любительское телескопостроение.— М.: Наука, 1966.
25. *Палей А. Б.* Несколько замечаний о любительской астрофотографии // Любительское телескопостроение.— М.: Наука, 1966.
26. *Юферов А. О.* Фотографируем небесные объекты // Земля и Вселенная.— 1984.— № 6.
27. *Коваль В. И.* Приборы «Службы неба» // Земля и Вселенная.— 1979.— № 1.
28. *Павленко В. И., Яхно Г. С.* Гидирующее устройство для астрографа // Земля и Вселенная.— 1979.— № 5.
29. *Бякишев Р. Х.* Самодельный астрограф // Земля и Вселенная.— 1980.— № 4.
30. *Лысенко К. И.* Астрограф с часовым механизмом // Земля и Вселенная.— 1982.— № 1.
31. *Гришин Ю. А.* Астрограф с автоматическим гидированием // Земля и Вселенная.— 1984.— № 3.
32. *Александров С. Б.* Фотографирование небесных объектов // Земля и Вселенная.— 1983.— № 5.
33. *Сорин С. И.* Юные астрономы Азербайджана // Земля и Вселенная.— 1978.— № 4.
34. *Фомин Д. А.* «Алькор» в действии // Земля и Вселенная.— 1984.— № 6.
35. Любительские наблюдения полного солнечного затмения 31 июля 1981 г. (письма в редакцию) // Земля и Вселенная.— 1982.— № 1.
36. *Палко Ю. Ю.* Школьники наблюдают Солнце // Земля и Вселенная.— 1980.— № 3.
37. *Гришин Ю. А.* Как мы наблюдаем Солнце // Земля и Вселенная.— 1980.— № 5.
38. *Сикорук Л. Л.*, 150-мм рефлектор Ньютона // Земля и Вселенная.— 1986.— № 3.
39. *Сикорук Л. Л.* Определение выдержки в астрофотографии // Земля и Вселенная.— 1980.— № 1.

30 коп.