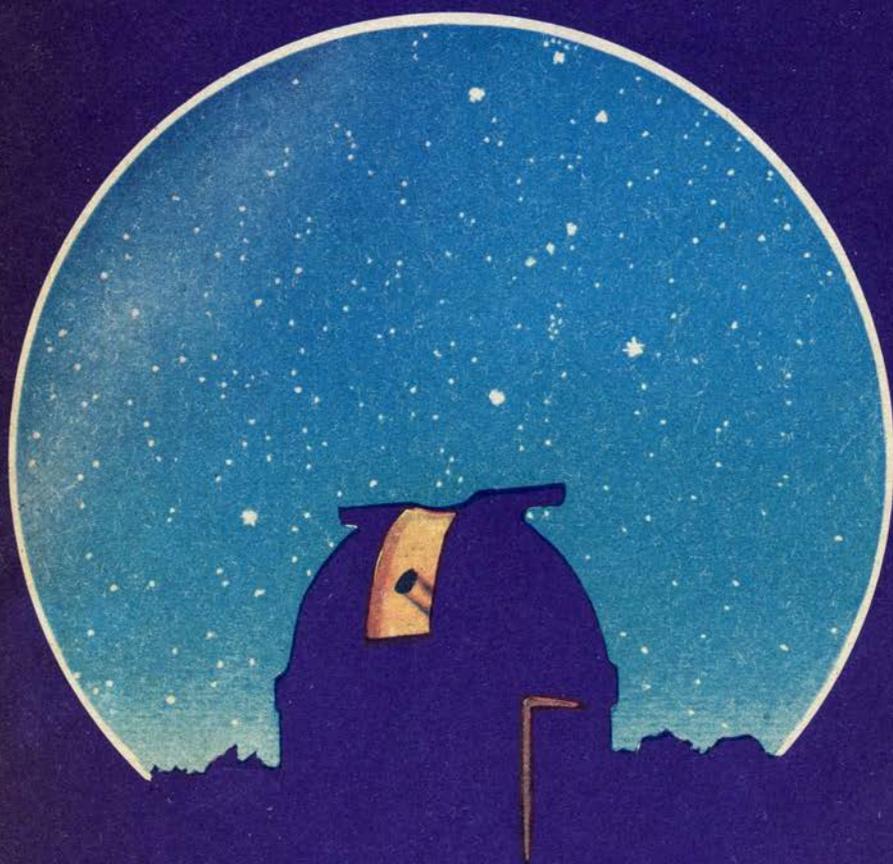


Н.К.Андрианов А.Д.Марленский

# АСТРОНОМИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ В ШКОЛЕ



**Н. К. Андрианов А. Д. Марленский**

**АСТРОНОМИЧЕСКИЕ  
НАБЛЮДЕНИЯ  
В ШКОЛЕ**

Книга для учителя

МОСКВА «ПРОСВЕЩЕНИЕ» 1987

ББК 74.265.5  
А65

Рецензенты:

кандидат физико-математических наук, доцент  
Владимирского педагогического института им. П. И. Лебедева-Полянского  
*Е. П. Разбитная;*  
зам. председателя Совета астрономических кружков Московского  
планетария  
*М. Ю. Шевченко*

**Андрианов Н. К., Марленский А. Д.**

А65 **Астрономические наблюдения в школе: Кн. для учителя. —**  
М.: Просвещение, 1987. — 112 с.: ил.

В книге изложены основные сведения о телескопах и приемах их испытаний. Даны методические рекомендации, как наблюдать различные небесные тела и как затем использовать материалы наблюдений на уроках. Рассмотрены простейшие математические методы обработки данных наблюдений.

А  $\frac{4306011200-807}{103(03)-87}$  152—87

ББК 74.265.5

© Издательство «Просвещение», 1987

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Книга посвящена организации, содержанию и методике проведения астрономических наблюдений повышенного уровня, а также простейшим математическим методам их обработки. Она начинается с главы, посвященной испытаниям телескопа — основного инструмента наблюдательной астрономии. В этой главе излагаются основные вопросы, связанные с простейшей теорией телескопа. Учителя найдут здесь много ценных практических советов, относящихся к определению различных характеристик телескопа, проверке качества его оптики, выбору оптимальных условий для проведения наблюдений, а также необходимые сведения о важнейших принадлежностях к телескопам и правилах обращения с ними при выполнении визуальных и фотографических наблюдений.

Важнейшей частью книги является вторая глава, рассматривающая на конкретном материале вопросы организации, содержания и методики проведения астрономических наблюдений. Значительная часть предложенных наблюдений — визуальные наблюдения Луны, Солнца, планет, затмений — не требует высокой квалификации и при умелом руководстве со стороны учителя может быть освоена за короткое время. Вместе с тем целый ряд других наблюдений — фотографические наблюдения, визуальные наблюдения переменных звезд, программные наблюдения метеорных потоков и некоторые другие — требует уже значительного навыка, определенной теоретической подготовки и дополнительных приборов и оборудования.

Разумеется, не все из перечисленных в этой главе наблюдений могут быть реализованы в любой школе. Организация наблюдений повышенной трудности доступна скорее всего тем школам, где сложились хорошие традиции организации внеклассных занятий по астрономии, имеется опыт соответствующей работы и, что очень важно, хорошая материальная база.

Наконец, в третьей главе на конкретном материале в простой и наглядной форме изложены основные математические методы обработки наблюдений: интерполирование и экстраполирование, приближенное представление эмпирических функций и теория ошибок. Эта глава является неотъемлемой частью книги. Она нацеливает и учителей школы, и учащихся, и, наконец, любителей астрономии на вдумчивое, серьезное отношение к постановке и проведению астрономических наблюдений, результаты которых могут обрести известную значимость и ценность только после того, как будут подвергнуты соответствующей математической обработке.

Обращено внимание учителей на необходимость использования микрокалькуляторов, а в будущем — и персональных ЭВМ.

Материал книги может быть использован при проведении практических занятий по астрономии, предусмотренных учебной программой, а также при проведении факультативных занятий и в работе астрономического кружка.

Пользуясь случаем, авторы выражают глубокую признательность заместителю председателя Совета астрономических кружков Московского планетария, сотруднику ГАИШ МГУ М. Ю. Шевченко и доценту Владимирского педагогического института, кандидату физико-математических наук Е. П. Разбитной за ценные указания, способствовавшие улучшению содержания книги.

Авторы с благодарностью воспримут от читателей все критические замечания.

# Глава I

## ИСПЫТАНИЕ ТЕЛЕСКОПОВ

### § 1. Введение

Основными инструментами каждой астрономической обсерватории, в том числе учебной, являются телескопы. С помощью телескопов учащиеся наблюдают Солнце и происходящие на нем явления, Луну и ее рельеф, планеты и некоторые их спутники, разнообразный мир звезд, рассеянные и шаровые скопления, диффузные туманности, Млечный Путь и галактики.

Опираясь на непосредственные телескопические наблюдения и на фотографии, полученные с помощью больших телескопов, учитель может создать у учащихся яркие естественнонаучные представления о строении окружающего мира и на этой основе формировать твердые материалистические убеждения.

Приступая к наблюдениям на школьной астрономической обсерватории, учитель должен хорошо знать возможности телескопической оптики, различные практические методы ее испытания и установления основных ее характеристик. Чем полнее и глубже будут знания учителя о телескопах, тем лучше он сможет организовать проведение астрономических наблюдений, тем плодотворнее будет работа учащихся и тем убедительнее предстанут перед ними результаты проведенных наблюдений.

Преподавателю астрономии, в частности, важно знать краткую теорию телескопа, быть знакомым с наиболее распространенными оптическими системами и установками телескопов, а также иметь достаточно полные сведения об окулярах и различных принадлежностях телескопа. Вместе с тем он должен знать основные характеристики, а также достоинства и недостатки небольших телескопов, предназначенных для школьных и институтских учебных астрономических обсерваторий, иметь хорошие навыки в обращении с такими телескопами и уметь реалистично оценивать их возможности при организации наблюдений.

Результативность работы астрономической обсерватории зависит не только от ее оснащенности различным оборудованием и, в частности, от оптической мощи имеющихся на ней телескопов, но и от степени подготовленности наблюдателей. Только квалифицированный наблюдатель, обладающий хорошими навыками обращения с имеющимся в его распоряжении телескопом и знающий его основные характеристики и возможности, в состоянии получить на этом телескопе максимум возможной информации.

Поэтому перед учителем стоит важная задача по подготовке активистов, способных хорошо проводить наблюдения, требующие выдержки, аккуратного исполнения, большого внимания и времени.

Без создания группы квалифицированных наблюдателей нельзя рассчитывать на повсеместное продолжительное функционирование школьной обсерватории и на ее большую отдачу в деле обучения и воспитания всех остальных учащихся.

В связи с этим учителю мало знать сами телескопы и их возможности, он должен еще владеть продуманной и выразительной методикой объяснения, не выходящей далеко за рамки школьных программ и учебников и опирающейся на знания учащихся, полученные при изучении физики, астрономии и математики.

Следует при этом обращать особое внимание на прикладной характер сообщаемых сведений о телескопах, чтобы возможности последних раскрывались в процессе осуществления планируемых наблюдений и проявлялись в получаемых результатах.

Принимая во внимание вышеизложенные требования, в первую главу книги включены теоретические сведения о телескопах в объеме, необходимом для проведения хорошо осмысленных наблюдений, а также описания рациональных практических приемов испытаний и установления различных их характеристик с учетом знаний и возможностей учащихся.

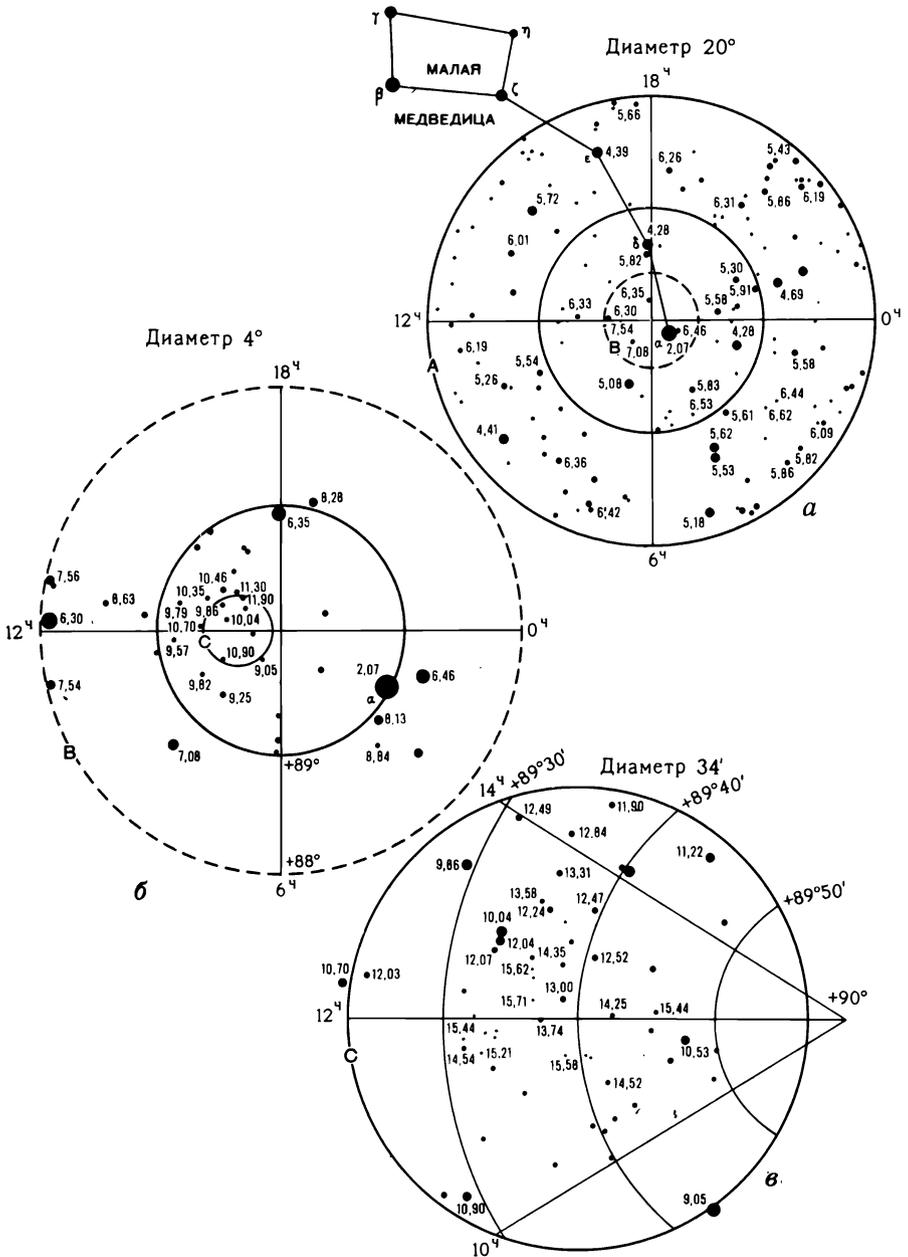
## § 2. Определение основных характеристик оптики телескопов

Чтобы глубоко разобраться в возможностях оптики телескопов, следует вначале привести некоторые оптические данные о **человеческом глазе** — основном «инструменте» учащихся при проведении большинства учебных астрономических наблюдений. Остановимся на таких его характеристиках, как **предельная чувствительность и острота зрения**, иллюстрируя их содержание на примерах наблюдений небесных объектов.

Под **предельной (пороговой) чувствительностью глаза** понимают тот минимальный световой поток, который еще можно воспринять полностью адаптированным к темноте глазом.

Удобными объектами для определения предельной чувствительности глаза являются группы звезд различного блеска с тщательно измеренными звездными величинами. При хорошем состоянии атмосферы, безоблачном небе в безлунную ночь вдали от города можно наблюдать звезды до 6-й звездной величины. Однако это не предел. Высоко в горах, где бывает особенно чиста и прозрачна атмосфера, становятся видимыми звезды до 8-й звездной величины.

Опытный наблюдатель должен знать предельные возможности своих глаз и уметь определять состояние прозрачности атмосферы по наблюдениям звезд. Для этого надо хорошо изучить общепринятый в астрономии стандарт — Северный Полярный ряд (рис. 1, а) и взять себе за правило: перед проведением телескопических наблюдений вначале следует невооруженным глазом определить видимые на пределе звезды из этого ряда и по ним установить состояние атмосферы.



**Рис. 1. Карта Северного Полярного ряда:**  
*a* — для наблюдений невооруженным глазом; *b* — с биноклем или с небольшим телескопом; *v* — средним телескопом.

Полученные данные заносят в журнал для наблюдений. Все это требует наблюдательности, памяти, вырабатывает привычку глазомерных оценок и приучает к аккуратности — эти качества, весьма полезные для наблюдателя.

Под остротой зрения понимают способность глаза различать близко расположенные предметы или светящиеся точки. Медики установили, что острота нормального человеческого глаза в среднем составляет 1 мин дуги. Эти данные получены при рассматривании в лабораторных условиях ярких, хорошо освещенных предметов и точечных источников света.

При наблюдении звезд — значительно менее ярких объектов — острота зрения несколько понижена и составляет около 3 мин дуги и более. Так, обладая нормальным зрением, легко заметить, что возле Мицара — средней звезды в ручке ковша Большой Медведицы — находится слабая звездочка Алькор. Установить же двойственность  $\epsilon$  Лиры невооруженным глазом удастся далеко не всем. Угловое расстояние между Мицаром и Алькором составляет  $11'48''$ , а между компонентами  $\epsilon_1$  и  $\epsilon_2$  Лиры —  $3'28''$ .

Рассмотрим теперь, каким образом телескоп расширяет возможности человеческого зрения, и проанализируем эти возможности.

Телескоп — это афокальная оптическая система, преобразующая пучок параллельных лучей сечением  $D$  в пучок параллельных лучей сечением  $d$ . Это хорошо видно на примере схемы прохождения лучей в рефракторе (рис. 2), где объектив перехватывает идущие от далекой звезды параллельные лучи и фокусирует их в точку в фокальной плоскости. Далее лучи расходятся, попадают в окуляр и выходят из него параллельным пучком меньшего диаметра. Затем лучи попадают в глаз и фокусируются в точку на дне глазного яблока.

Если диаметр зрачка человеческого глаза будет равен диаметру выходящего из окуляра параллельного пучка, то все собранные объективом лучи попадут в глаз. Следовательно, в этом случае отношение площадей объектива телескопа и зрачка человеческого глаза выражает кратность увеличения светового потока, попадающего в глаз:

$$n = \frac{\pi\left(\frac{D}{2}\right)^2}{\pi\left(\frac{d}{2}\right)^2} = \left(\frac{D}{d}\right)^2.$$

Если считать, что диаметр зрачка равен 6 мм (в полной темноте он достигает даже 7—8 мм), то школьный рефрактор с диаметром объектива 60 мм может посылать в глаз в 100 раз больше световой энергии, чем воспринимает невооруженный глаз. В результате с таким телескопом могут стать видимыми звезды, посылающие нам световые потоки в 100 раз меньшие, чем световые потоки от звезд, видимых на пределе невооруженным глазом.

Согласно формуле Погсона, стократное увеличение освещенности (светового потока) соответствует 5-ти звездным величинам:

$$\frac{E_1}{E_2} = 2,512^{m_2 - m_1} \text{ или } \lg \frac{E_1}{E_2} = 0,4(m_2 - m_1).$$

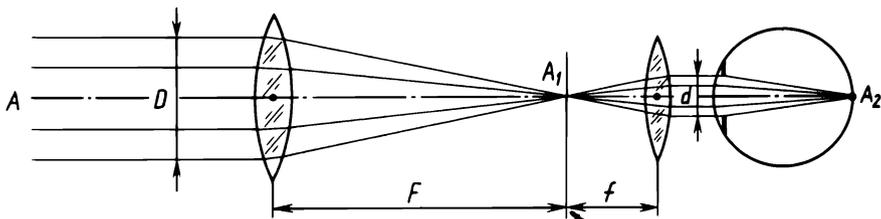


Рис. 2. Ход лучей в рефракторе.

$$\begin{aligned} \text{Откуда } m_2 - m_1 &= \frac{\lg \frac{E_1}{E_2}}{0,4} = \frac{\lg \left(\frac{D}{d}\right)^2}{0,4} = \\ &= \frac{2 \lg \frac{D}{d}}{0,4} = 5 \lg \frac{60}{6} = 5 \text{ зв. вел.} \end{aligned}$$

Если невооруженный глаз видит на пределе звезды до  $m_1 = 6$  зв. вел., то со школьным рефрактором становятся на пределе видимыми до  $m_2 = m_1 + 5 = 6 + 5 = 11$  зв. вел. В общем виде эту схему расчета можно выразить следующей формулой:

$$m_2 = 6 + 5 \lg \frac{D}{d}.$$

Приведенная формула позволяет оценить проникающую силу — важнейшую характеристику телескопа. **Проникающая сила** определяется предельной звездной величиной ( $m$ ) самой слабой звезды, которую еще можно увидеть в данный телескоп при наилучших атмосферных условиях. Поскольку в вышеприведенной формуле не учтены ни потери света при прохождении оптики, ни потемнение фона неба в поле зрения телескопа, то она является приближенной.

Более точное значение проникающей силы телескопа можно рассчитать по следующей эмпирической формуле, в которой обобщены результаты наблюдений звезд на инструментах разных диаметров:

$$m = 2,1 + 5 \lg D, \quad (1)$$

где  $D$  — диаметр объектива, выраженный в миллиметрах.

В целях ориентировки в таблице 1 приводятся приближенные значения проникающей силы телескопов, рассчитанные по эмпирической формуле (1).

Т а б л и ц а 1

Диаметр объектива, мм	Предельная звездная величина	Диаметр объектива, мм	Предельная звездная величина
60	11,0 <sup>m</sup>	200	13,6 <sup>m</sup>
80	11,6	250	14,1
100	12,1	500	15,6
140	12,8	1000	17,1

Реальную же проникающую силу телескопа можно определить, наблюдая звезды Северного Полярного ряда (рис. 1, б, в). Для этого, ориентируясь по таблице 1 или по эмпирической формуле (1), устанавливают приближенное значение проникающей силы телескопа. Далее из приведенных карт (рис. 1, б, в) подбирают звезды с несколько большими и несколько меньшими звездными величинами. Тщательно копируют все звезды большего блеска и все подобранные. Таким образом изготовляют звездную карту, тщательно ее изучают и приступают к наблюдениям. Отсутствие «лишних» звезд на карте способствует быстрому отождествлению телескопической картины и установлению звездных величин видимых звезд. В последующие вечера проводят повторные наблюдения. Если погода и прозрачность атмосферы улучшаются, то появляется возможность видеть и отождествлять более слабые звезды.

Найденная таким образом звездная величина самой слабой звезды и определяет **реальную проникающую силу** используемого телескопа. Получаемые результаты заносят в журнал наблюдений. По ним можно судить о состоянии атмосферы и об условиях наблюдений других светил.

Второй важнейшей характеристикой телескопа является его **разрешающая способность**  $\delta$ , под которой понимают минимальный угол между двумя звездами, видимыми раздельно. В теоретической оптике доказывается, что с идеальным объективом в видимом свете  $\lambda \approx 5,5 \cdot 10^{-7}$  м можно еще разрешить двойную звезду, если угловое расстояние между ее компонентами будет равно углу или больше угла

$$\delta \geq \frac{140''}{D}, \quad (2)$$

где  $D$  — диаметр объектива в миллиметрах.

Так, объектив диаметром 60 мм позволяет на пределе разрешить двойную звезду, если угловое расстояние между ее одинаковыми компонентами будет не менее  $2,3''$ , а объектив диаметром 80 мм — не менее  $1,8''$ .

Как уже было сказано в начале параграфа, острота невооруженного человеческого глаза при рассматривании звезд составляет  $3' = 180''$ . Следовательно, чтобы реализовать разрешающую возможность первого объектива, потребуется увеличение не менее  $\frac{180''}{2,3''} \approx 80$  раз, а второго —  $\frac{180''}{1,8''} = 100$  раз. Или

$$N = \frac{180''}{\delta} = \frac{180''}{140''} D = 1,3D, \quad (3)$$

где  $D$  — диаметр объектива в миллиметрах,  $N$  — увеличение.

В действительности могут потребоваться несколько большие увеличения, так как идеальных объективов нет и не все наблюдатели могут невооруженным глазом разрешать звезды на угловых расстояниях в  $3'$  дуги.

Реальную разрешающую способность телескопа устанавливают, наблюдая ряды двойных звезд с уменьшающимися угловыми

расстояниями компонентов. В таблице 2 подобраны подходящие двойные звезды для установления реальной разрешающей способности телескопов. При этом в таблицу занесены двойные звезды с суммарным блеском до 6-й звездной величины, т. е. те, которые можно найти на небе невооруженным глазом. Их склонения  $\delta > -30^\circ$ .

Компоненты пар подобраны с различиями блеска не более 2,5 зв. вел. и в порядке убывания угловых расстояний от 5,2" до 0,5". При этом в таблице оставлены пары с очень медленными изменениями угловых расстояний с тем, чтобы приведенные значения оставались справедливыми на протяжении не менее 15—20 лет.

Если на основе данной таблицы пронаблюдать с одним и тем же телескопом все более и более тесные пары, то легко заметить, как одинаковые по размеру дифракционные диски звезд сближаются, сливаются и становятся неразрешимыми (рис. 3).

Таблица 2

Двойные звезды для определения разрешающей способности телескопов

№ п/п	Обозначения звезд в созвездиях	Экваториальные координаты		Звездные величины компонентов		Угловое расстояние, с
		$\alpha$	$\delta$	$m_1$	$m_2$	
1	$\gamma$ Девы	12°39,1"	-01°11'	3 <sup>m</sup> ,6	3 <sup>m</sup> ,6	5,2"
2	70 Змееносца	18 0,2,9	+02 31	4 ,3	6 ,0	4,6
3	$\lambda$ Ориона	05 32,4	+09 54	3 ,7	5 ,5	4,4
4	$\gamma$ Льва	10 17,2	+20 06	2 ,6	3 ,8	4,3
5	$\rho$ Геркулеса	17 22,0	+37 11	4 ,5	5 ,5	4,0
6	$\rho$ Змееносца	16 22,6	-23 20	5 ,2	5 ,9	3,5
7	$\sigma$ Кассиопеи	23 56,5	+55 29	5 ,1	7 ,2	3,1
8	$\epsilon$ Волопаса	14 42,8	+27 17	2 ,7	5 ,1	2,9
9	$\epsilon_1$ Лирь	18 42,7	+39 37	5 ,1	6 ,0	2,8
10	$\epsilon_2$ Лирь	18 42,7	+39 37	5 ,1	5 ,4	2,3
11	$\xi$ Б. Медведицы	11 15,5	+31 49	4 ,4	4 ,8	2,5
12	$\zeta$ Ориона	05 38,2	-01 58	2 ,1	4 ,2	2,4
13	$\alpha$ Близнецов	07 31,4	+32 00	2 ,0	2 ,9	2,2
14	$\alpha$ Рыб	01 59,4	+02 31	4 ,3	5 ,2	2,1
15	$\zeta$ Водолея	22 26,3	-00 17	4 ,4	4 ,6	2,0
16	12 Рыси	06 41,8	+59 30	5 ,4	6 ,0	1,8
17	$\mu$ Весов	14 46,6	-13 57	5 ,8	6 ,7	1,7
18	$\eta$ Южной Рыбы	21 58,0	-28 42	5 ,8	6 ,8	1,6
19	$\eta$ Ориона	05 22,0	-02 26	3 ,7	5 ,1	1,5
20	$\epsilon$ Овна	02 56,4	+21 08	5 ,2	5 ,5	1,5
21	$\chi_1$ Скульптора	00 08,8	-28 16	6 ,2	6 ,3	1,4
22	$\zeta$ Волопаса	14 38,8	+13 57	4 ,6	4 ,6	1,2
23	$\eta$ Дракона	16 23,1	+61 49	6 ,0	7 ,2	1,1
24	78 Б. Медведицы	12 58,6	+56 38	5 ,0	7 ,4	1,0
25	14 Ориона	04 05,2	+08 26	5 ,9	6 ,6	1,0
26	$\zeta$ Рака	08 09,3	+17 48	5 ,7	6 ,0	0,9
27	$\lambda$ Лебедя	20 45,5	+36 18	4 ,7	6 ,1	0,8
28	$\lambda$ Змееносца	16 28,4	+02 06	4 ,2	5 ,2	0,8
29	32 Ориона	05 28,1	+05 55	4 ,6	5 ,9	0,7
30	$\pi$ Цефея	23 06,3	+65 07	4 ,7	6 ,7	0,7

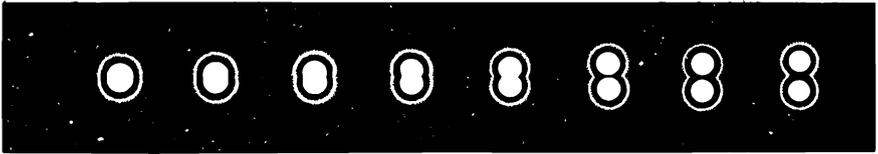


Рис. 3. Дифракционные картины тесных звездных пар с разными угловыми расстояниями компонентов.

Поучительно также провести телескопические наблюдения ярких звездных пар при диафрагмировании объектива. По мере постепенного диафрагмирования входного отверстия телескопа дифракционные диски звезд увеличиваются, соединяются и сливаются в едином дифракционном диске большего диаметра, но со значительно меньшей яркостью.

При проведении подобных исследований следует обращать внимание на качество телескопических изображений, которые определяются состоянием атмосферы.

Наблюдения за атмосферными волнениями следует вести с хорошо отъюстированным телескопом (желательно рефлектором), рассматривая при больших увеличениях дифракционные изображения ярких звезд. Из оптики известно, что при монохроматическом потоке света в центральном дифракционном диске концентрируется 83,8% прошедшей через объектив энергии, в первом кольце — 7,2%, во втором — 2,8%, в третьем — 1,5%, в четвертом — 0,9% и т. д.

Так как приходящие излучения звезд не монохроматичны, а состоят из разных длин волн, то дифракционные кольца получаются окрашенными и размытыми. Четкость изображений колец можно улучшить, применяя светофильтры, в особенности узкополосные. Однако в связи с убыванием энергии от кольца к кольцу и увеличением их площадей уже третье кольцо становится малозаметным.

Это следует иметь в виду при оценке состояния атмосферы по видимым дифракционным картинам наблюдаемых звезд. При проведении таких наблюдений можно пользоваться шкалой Пиккеринга, согласно которой наилучшие изображения оцениваются баллом 10, а очень плохие — баллом 1.

Приводим описание этой шкалы (рис. 4).

1. Изображения звезд волнуются и размазываются так, что их диаметры в среднем вдвое превосходят третье дифракционное кольцо.

2. Изображение волнуется и слегка выходит за третье дифракционное кольцо.

3. Изображение не выходит за пределы третьего дифракционного кольца. Яркость изображения увеличивается к центру.

4. Временами виден центральный дифракционный диск звезды с появляющимися вокруг короткими дугами.

5. Дифракционный диск виден постоянно, а короткие дуги — часто.
6. Дифракционный диск и короткие дуги видны постоянно.
7. Вокруг четко видимого диска движутся дуги.
8. Вокруг четко очерченного диска движутся кольца с разрывами.
9. Ближайшее к диску дифракционное кольцо неподвижно.
10. Все дифракционные кольца неподвижны.

Баллы 1—3 характеризуют плохое для астрономических наблюдений состояние атмосферы, 4—5 — посредственное, 6—7 — хорошее, 8—10 — отличное.

Третьей важной характеристикой телескопа является **светосила его объектива**, равная квадрату отношения диаметра объектива к его фокусному расстоянию  $\left(\frac{D}{F}\right)^2$ .

Часто вместо светосилы пользуются **относительным отверстием**, равным отношению  $\frac{D}{F}$ .

Светосила характеризует освещенность, создаваемую объективом в его фокальной плоскости. Если, например, планета создает в плоскости объектива наведенного на нее телескопа освещенность  $E_0$ , то в объектив попадает световой поток

$$\Phi = E_0 S_{об} = E_0 \pi \left(\frac{D}{2}\right)^2.$$

При угловых размерах планеты  $\alpha$  и фокусном расстоянии объектива  $F$  ее изображение в фокальной плоскости получится в виде круга радиусом

$$r_{кр} = F \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \approx F \frac{\alpha}{2}$$

и площадью

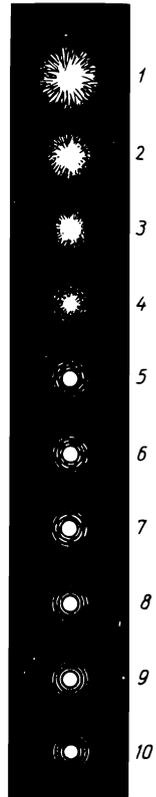
$$S_{кр} = \pi \left(\frac{F\alpha}{2}\right)^2.$$

Освещенность этого круга без учета потерь будет равна:

$$E = \frac{\Phi}{S_{кр}} = \frac{\pi E_0 \left(\frac{D}{2}\right)^2}{\pi \left(\frac{F\alpha}{2}\right)^2} = \frac{E_0}{\alpha^2} \left(\frac{D}{F}\right)^2. \quad (4)$$

Коэффициент  $\frac{E_0}{\alpha^2}$  характеризует освещенность, создаваемую планетой, относительно телесного угла, под которым она видна, а отношение  $\left(\frac{D}{F}\right)^2$  — светосилу объектива телескопа.

Рис. 4. Шкала для оценки качества телескопических изображений звезд.



Если коэффициент  $\frac{E_0}{\alpha^2}$  мал по величине, т. е. освещенность  $E_0$  мала и сам объект имеет большие угловые размеры  $\alpha$ , то требуется светосильный объектив с диаметром побольше и фокусным расстоянием поменьше. Только тогда освещенность в фокальной плоскости объектива будет достаточна для его регистрации.

Если же коэффициент  $\frac{E_0}{\alpha^2}$  значителен по величине, т. е. объекты создают значительную освещенность (Солнце, Луна, отчасти планеты), или угловые размеры малы (звезды), то с длиннофокусными объективами могут быть получены лучшие результаты, ибо изображения ярких протяженных светил выходят большими по размерам, а тесные группы звезд лучше разрешаются.

Уменьшающаяся при этом освещенность должна быть все же достаточной для уверенной регистрации получаемых изображений объектов.

Как видно из вышеизложенного, три важнейшие характеристики телескопа — проникающая сила, разрешающая способность и светосила — всецело зависят от параметров объектива.

Четвертая характеристика телескопа — **угловое увеличение** — зависит как от объектива, так и от окуляра и определяется отношением их фокусных расстояний:

$$N = \frac{F_{об}}{f_{ок}}. \quad (5)$$

Рассмотрим этот вопрос подробнее.

Из рисунка 2 видно, как с помощью телескопа получается изображение одной звезды на дне глазного яблока в виде светящейся точки  $A_2$ .

Пусть вторая звезда  $B$  (рис. 5) видна на небе выше под углом  $\alpha$  от звезды  $A$ . Тогда при наведении телескопа на звезду  $A$  идущие от звезды  $B$  лучи попадут в объектив под углом  $\alpha$  к его оптической

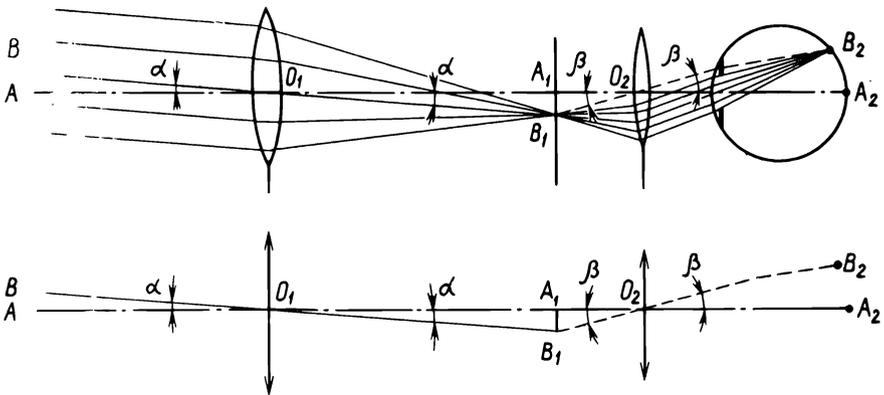


Рис. 5. К выводу формулы углового увеличения телескопа.

оси, сфокусируются в точку  $B_1$  в фокальной плоскости, далее разойдутся, попадут в окуляр и выйдут из него параллельным пучком под углом  $\beta$  к оптической оси. Для правильного построения угла выхода лучей из окуляра проведен точечный пунктир через его оптический центр и далее в глаз.

Таким образом, видимые на небе под углом  $\alpha$  звезды  $A$  и  $B$  становятся видимыми в телескоп под углом  $\beta$ .

Угловое увеличение равно:  $N = \frac{\beta}{\alpha}$ .

Из треугольников  $O_1A_1B_1$  и  $O_2A_1B_1$  можно легко установить, что  $F \operatorname{tg} \alpha = f \operatorname{tg} \beta$ , откуда при малых углах  $\frac{F}{f} = \frac{\operatorname{tg} \beta}{\operatorname{tg} \alpha} \approx \frac{\beta}{\alpha}$ , или

$$N = \frac{\beta}{\alpha} = \frac{F}{f}. \quad (6)$$

### § 3. Проверка качества оптики телескопа

Практическая ценность любого телескопа как наблюдательного инструмента определяется не только размерами, но и качеством его оптики, т. е. степенью совершенства его оптической системы и качеством изготовления объектива. Немаловажную роль играет и качество окуляров, прилагаемых к телескопу, а также полнота их комплекта.

Объектив является наиболее ответственной частью телескопа. К сожалению, даже самые совершенные телескопические объективы обладают рядом недостатков, обусловленных как чисто техническими причинами, так и природой света. Важнейшими из них являются хроматическая и сферическая абберация, кома и астигматизм. Кроме того, светосильные объективы в разной степени страдают кривизной поля и дисторсией.

Преподавателю необходимо знать об основных оптических недостатках наиболее употребительных типов телескопов, выразительно и понятно демонстрировать эти недостатки и уметь их в какой-то степени понижать.

Опишем последовательно важнейшие оптические недостатки телескопов, рассмотрим, в каких типах небольших телескопов и в какой мере они проявляются, и укажем простейшие способы их выделения, показа и уменьшения.

Главным препятствием, мешавшим длительное время совершенствованию телескопа-рефрактора, была **хроматическая** (цветовая) **абберация**, т. е. неспособность собирающей линзы собрать все световые лучи с разной длиной волны в одну точку. Хроматическая абберация обусловлена неодинаковой преломляемостью световых лучей разной длины волны (красные лучи преломляются слабее, чем желтые, а желтые слабее, чем синие).

Хроматическая абберация особенно проявляется у телескопов с однолинзовыми светосильными объективами. Если такой телескоп навести на яркую звезду, то при определенном положении окуляра

можно увидеть яркое фиолетовое пятнышко, окруженное цветным ореолом с размытым красным внешним кольцом. По мере выдвижения окуляра цвет центрального пятнышка будет постепенно меняться на синий, затем — зеленый, желтый, оранжевый и, наконец, красный. В последнем случае вокруг красного пятнышка будет виден цветной ореол с фиолетовой кольцевой окантовкой.

Если в такой телескоп посмотреть на планету, то картина будет весьма размытая, с радужными разводами.

Двухлинзовые объективы, в значительной мере свободные от хроматической аберрации, называются **ахроматическими**. Относительное отверстие рефрактора с ахроматическим объективом обычно равно  $1/15$  или несколько больше (у школьных телескопов-рефракторов оно составляет  $1/10$ , что несколько ухудшает качество изображения).

Однако ахроматический объектив не свободен полностью от хроматической аберрации и хорошо сводит в одну точку только лучи определенных длин волн. В связи с этим объективы ахроматизируются в соответствии с их назначением: визуальные — в отношении лучей, сильнее всего действующих на глаз, фотографические — для лучей, сильнее всего действующих на фотоэмульсию. В частности, объективы школьных рефракторов по своему назначению являются визуальными.

Судить о наличии остаточной хроматической аберрации в школьных рефракторах можно на основе наблюдений с очень большими увеличениями дифракционных изображений ярких звезд, быстро меняя следующие светофильтры: желто-зеленый, красный, синий. Обеспечить быструю смену светофильтров можно, применяя дисковые или скользящие рамки, описанные в § 20 книги «Школьная астрономическая обсерватория»<sup>1</sup>. Наблюдаемые при этом изменения дифракционных картин свидетельствуют, что не все лучи в одинаковой мере оказываются сфокусированными.

Более успешно уничтожение хроматической аберрации решается в трехлинзовых **апохроматических** объективах. Однако полностью уничтожить ее пока не удастся ни в каких линзовых объективах.

В зеркальном объективе не происходит преломления световых лучей. Поэтому эти объективы полностью свободны от хроматической аберрации. Этим зеркальные объективы выгодно отличаются от линзовых.

Другим крупным недостатком телескопических объективов является **сферическая аберрация**. Она проявляется в том, что монохроматические лучи, идущие параллельно оптической оси, фокусируются на разных расстояниях от объектива в зависимости от того, через какую его зону они прошли. Так, в одиночной линзе далее всего фокусируются лучи, прошедшие вблизи ее центра, а ближе всего — прошедшие через краевую зону.

В этом легко убедиться, если телескоп с однолинзовым объекти-

---

<sup>1</sup> Андрианов Н. К., Марленский А. Д. Школьная астрономическая обсерватория. — М.: Просвещение, 1977.

вом направить на яркую звезду и наблюдать ее с двумя диафрагмами: одна из них должна выделять поток, проходящий через центральную зону, а вторая, выполненная в виде кольца, пропускать лучи краевой зоны. Наблюдения следует вести со светофильтрами по возможности с узкими полосами пропускания. При использовании первой диафрагмы резкое изображение звезды получается при несколько большем выдвижении окуляра, чем при использовании второй диафрагмы, что подтверждает наличие сферической aberrации.

В сложных объективах сферическая aberrация совместно с хроматической уменьшается до необходимого предела путем подбора линз определенной толщины, кривизны и сортов применяемых стекол.

Остатки неисправленной сферической aberrации в сложных линзовых телескопических объективах можно обнаружить при помощи вышеописанных диафрагм, наблюдая при больших увеличениях дифракционные картины от ярких звезд. При исследованиях визуальных объективов следует применять желто-зеленые светофильтры, а при исследованиях фотографических объективов — синие.

В зеркальных параболических (точнее параболоидальных) объективах сферическая aberrация отсутствует, так как объективы сводят в одну точку весь пучок лучей, идущих параллельно оптической оси. Сферические зеркала имеют сферическую aberrацию, при этом она тем больше, чем больше и светосильнее само зеркало.

У небольших зеркал с малой светосилой (относительным отверстием менее 1 : 8) сферическая поверхность мало отличается от параболоидальной — в результате сферическая aberrация небольшая.

Выявить наличие остаточной сферической aberrации можно вышеописанным способом, применяя разные диафрагмы. Хотя зеркальные объективы свободны от хроматической aberrации, для лучшей диагностики сферической aberrации следует употреблять светофильтры, ибо окрашенность наблюдаемых дифракционных картин при разных диафрагмах не одинакова, что может привести к недоразумениям.

Рассмотрим теперь aberrации, возникающие при прохождении лучей наклонно к оптической оси объектива. К ним относятся: **кома**, **астигматизм**, **кривизна поля**, **дисторсия**.

При визуальных наблюдениях следует проследить за первыми двумя aberrациями — комой и астигматизмом и практически их изучить, наблюдая звезды.

**Кома** проявляется в том, что изображение звезды в стороне от оптической оси объектива приобретает вид размытого асимметричного пятнышка со смещенным ядром и характерным хвостом (рис. 6). **Астигматизм** же состоит в том, что объектив собирает наклонный пучок света от звезды не в один общий фокус, а в два взаимно перпендикулярных отрезка  $AB$  и  $CD$ , расположенных в разных плоскостях и на разных расстояниях от объектива (рис. 7).

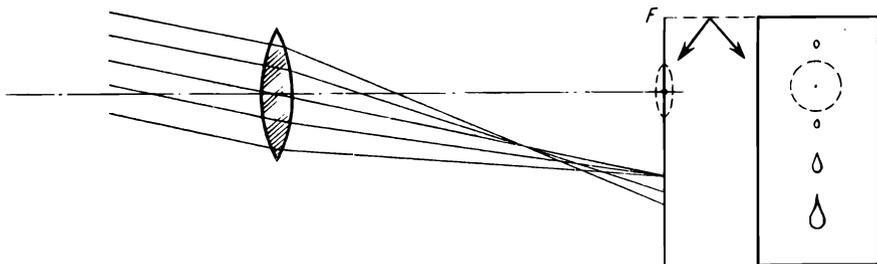


Рис. 6. Образование комы у наклонных лучей. Кружком очерчено поле вблизи оптической оси, где кома незначительна.

При хорошей юстировке в трубе телескопа малосветосильного объектива и при малом поле зрения окуляра трудно заметить обе упомянутые aberrации. Их можно хорошо видеть, если в целях обучения несколько разъюстировать телескоп, повернув на некоторый угол объектив. Такая операция полезна для всех наблюдателей, а в особенности для тех, кто строит свои телескопы, — ведь рано или поздно они обязательно столкнутся с вопросами юстировки, и будет значительно лучше, если они будут действовать сознательно.

Чтобы разъюстировать рефлектор, достаточно ослабить и закрутить два противоположных винта, удерживающих зеркало.

В рефракторе это сделать сложнее. Чтобы не испортить резьбу, следует склеить из картона переходное усеченное под углом кольцо и вставить его одной стороной в трубу телескопа, а на вторую посадить объектив.

Если в разъюстированный телескоп посмотреть на звезды, то все они предстанут хвостатыми. Причина тому — кома (рис. 6). Если же на входное отверстие телескопа надеть диафрагму с небольшим центральным отверстием и передвигать окуляр вперед и назад, то можно видеть, как звезды вытягиваются в светлые отрезки  $AB$ , затем превращаются в эллипсы разного сжатия, кружки, и вновь в отрезки  $CD$  и эллипсы (рис. 7).

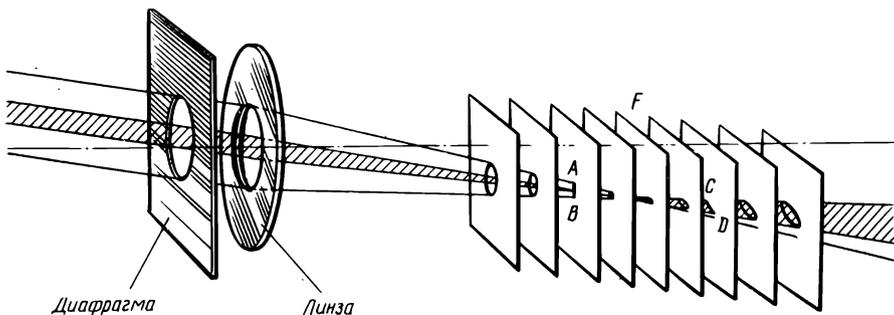
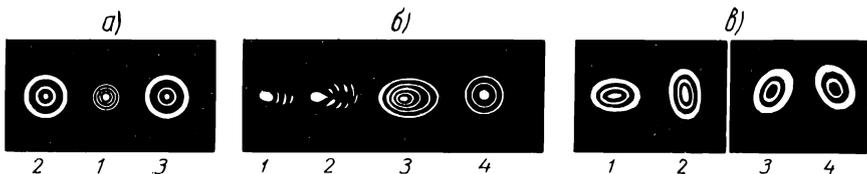


Рис. 7. Астигматическое изображение звезды в разных плоскостях. Отрезки  $AB$  и  $CD$  перпендикулярны.



**Рис. 8. Дифракционные изображения звезд при испытании телескопов:**  
*а* — хороший объектив: 1 — в фокальной плоскости, 2, 3 — дофокальное и зафокальное изображения; *б* — кома: 1, 2, 3, 4 — в порядке убывания; *в* — астигматизм: 1, 2, 3, 4 — по разные стороны от фокальной плоскости.

Кома и астигматизм устраняются поворотами объектива. Как легко понять, ось вращения при юстировке будет перпендикулярна направлению. Если при вращении установочного винта зеркала хвост удлинится, то винт надо вращать в противоположную сторону. Окончательную доводку при юстировке следует осуществить с короткофокусным окуляром при больших увеличениях, чтобы хорошо были видны дифракционные кольца.

Если объектив телескопа обладает высокими качествами, а оптика отъюстирована правильно, то внефокальные изображения звезды при наблюдении в рефрактор будут выглядеть в виде небольшого светового диска, окруженного системой цветных концентрических дифракционных колец (рис. 8, *а* 1). При этом картины дофокального и зафокального изображений будут совершенно одинаковыми (рис. 8, *а* 2, 3).

Такой же вид будут иметь внефокальные изображения звезды при наблюдении в рефлектор, только вместо центрального светлого диска будет видно темное пятнышко, являющееся тенью от вспомогательного зеркала или диагональной призмы полного отражения.

Неточность юстировки телескопа скажется в том, что концентричность дифракционных колец будет нарушена, а сами они примут вытянутую форму (рис. 8, *б* 1, 2, 3, 4). При наведении на резкость звезда будет казаться не резко очерченным светлым диском, а слегка размытым светлым пятнышком с отброшенным в сторону (эффект комы) слабым хвостом. Если указанный эффект вызван действительно неточной юстировкой телескопа, то дело легко поправить, достаточно только, действуя регулировочными винтами оправы объектива (зеркала), несколько изменить ее положение в нужную сторону. Гораздо хуже, если причина кроется в астигматизме самого объектива или (в случае рефлектора Ньютона) в плохом качестве вспомогательного диагонального зеркальца. В этом случае устранить недостаток можно только перешлифовкой и реполировкой дефектных оптических поверхностей.

По внефокальным изображениям звезды можно легко обнаружить и другие недостатки телескопического объектива, если они имеются. Например, различие в размерах соответствующих дифракционных колец дофокального и зафокального изображений звезды свидетельствует о наличии сферической аберрации, а различие в их цветности — о значительном хроматизме (для лин-

зового объектива); неравномерная плотность распределения колец и различная их интенсивность указывает на зональность объектива, а неправильная форма колец — на местные более или менее значительные отклонения оптической поверхности от идеальной.

Если все перечисленные недостатки, открываемые картиной внефокальных изображений звезды, невелики, то с ними можно мириться. Зеркальные объективы любительских телескопов, успешно прошедшие предварительную проверку теневым методом Фуко [7, 8, 11], как правило, имеют безукоризненную оптическую поверхность и отлично выдерживают испытания по внефокальным изображениям звезд.

Расчеты и практика показывают, что при идеальной юстировке оптики кома и астигматизм незначительно отражаются на визуальных наблюдениях, когда используются малосветосильные объективы (менее 1:10). В равной степени это относится и к фотографическим наблюдениям, когда с теми же объективами фотографируют светила с относительно небольшими угловыми размерами (планеты, Солнце, Луна).

Кома и астигматизм сильно портят изображения, когда фотографируют большие участки звездного неба с параболическими зеркалами или двухлинзовыми объективами. Искажения резко увеличиваются у светосильных объективов.

Ниже приведенная таблица дает представление о росте комы и астигматизма в зависимости от угловых отклонений от оптической оси у параболических рефлекторов разной светосилы.

Таблица 3

Ошибки изображения параболического рефлектора

Относительное отверстие	Расстояние от центра (в град.)	Астигматизм (в сек. дуги)	Кома (в сек. дуги)
1:10	0,25°	0,1"	0,8"
	0,5	0,4	1,7
	1,0	1,6	3,4
	2,0	6,3	6,8
	4,0	25,2	13,6
1:3	0,25	0,4	9,3
	0,5	1,3	18,7
	1,0	5,0	37,4
	2,0	20,0	74,9
	4,0	83,8	149,8

Объективы, помимо комы и астигматизма, при фотографировании больших участков звездного неба имеют и другие аберрации, такие, как **кривизна поля** и **дисторсия**.

**Кривизна поля** проявляется в том, что объектив строит поле резких изображений не строго в фокальной плоскости, а на искривленной поверхности, касающейся этой плоскости (рис. 9).

Продемонстрировать в чистом виде кривизну поля можно легко с тем объективом, в котором хорошо исправлены кома и астигма-

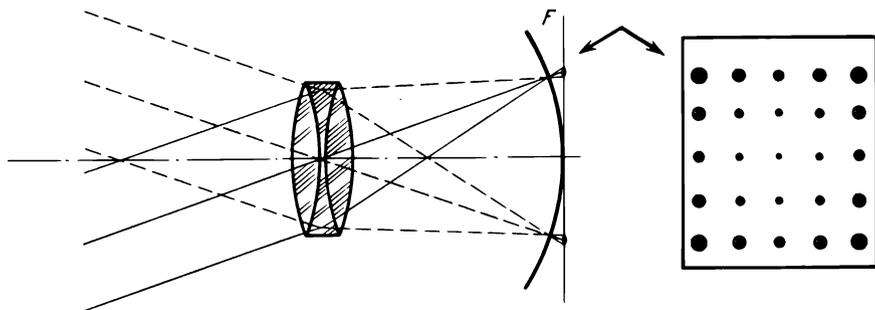


Рис. 9. Кривизна поля зрения и изображения звезд в его фокальной плоскости (при исправлении всех остальных aberrаций).

тизм, но имеется кривизна поля. Если с таким объективом сфотографировать большой участок звездного неба и при этом наведение на резкость осуществить по центральной зоне, то по мере отступления к краям поля резкость изображений звезд будет ухудшаться. И наоборот, если наведение на резкость произвести по звездам, находящимся по краям поля, то резкость изображений звезд будет ухудшаться в центре.

Чтобы с таким объективом получить фотографию, резкую по всему полю, следует изогнуть фотопленку в соответствии с кривизной поля резких изображений самого объектива.

Кривизну поля устраняют также при помощи плоско-выпуклой линзы Пиацци—Смита, которая превращает искривленный фронт волн в плоский.

Кривизну поля можно наиболее просто уменьшить диафрагмированием объектива. Из практики фотографирования известно, что с уменьшением диафрагмы растет глубина резкости — в результате четкие изображения звезд получаются по всему полю плоской пластинки. Однако следует помнить, что диафрагмирование сильно понижает оптическую мощь телескопа и для того, чтобы вышли на пластинке слабые звезды, надо значительно увеличивать время экспозиции.

**Дисторсия** проявляется в том, что объектив строит изображение, не пропорциональное оригиналу, а с некоторыми отступлениями от него. В результате при фотографировании квадрата его изображение может получиться с вогнутыми внутрь или выпуклыми наружу сторонами (подушкообразная и бочкообразная дисторсия).

Исследовать любой объектив на дисторсию очень просто: для этого надо его сильно задиафрагмировать, чтобы осталась незакрытой только очень небольшая центральная часть. Кома, астигматизм и кривизна поля при таком диафрагмировании будут устранены и дисторсию можно будет наблюдать в чистом виде (рис. 10).

Если с таким объективом фотографировать прямоугольные

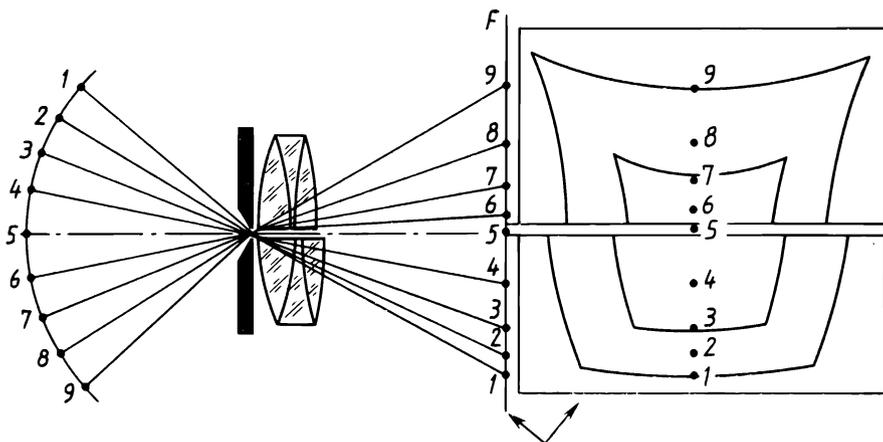


Рис. 10. Половина верхнего объектива увеличивает углы по мере отступления от оптической оси и в результате дает подушкообразную дисторсию, а половина нижнего уменьшает соответственные углы и дает бочкообразную дисторсию.

решетки, проемы окон, дверей, то, рассматривая негативы, легко установить вид дисторсии, свойственный данному объективу.

Дисторсию готового объектива нельзя устранить или понизить. Ее учитывают при исследовании фотографий, в особенности при проведении астрометрических работ.

#### § 4. Окуляры и предельные увеличения телескопа

Комплект окуляров является необходимым дополнением к телескопу. Ранее мы уже выяснили (§ 2) назначение окуляра в увеличительной телескопической системе. Теперь необходимо остановиться на основных характеристиках и конструктивных особенностях различных окуляров. Оставляя без внимания **галилеевский окуляр** из одной рассеивающей линзы, который давно уже не применяется в астрономической практике, обратимся сразу же к специальным астрономическим окулярам.

Исторически первым астрономическим окуляром, сразу же вытеснившим галилеевский окуляр, был **окуляр Кеплера** из одной короткофокусной линзы. Обладая в сравнении с окуляром Галилея значительно большим полем зрения, он в соединении с распространенными в то время длиннофокусными рефракторами давал достаточно четкие и мало окрашенные изображения. Однако позднее окуляр Кеплера был вытеснен более совершенными **окулярами Гюйгенса** и **Рамсдена**, которые встречаются и поныне. Наиболее распространенными астрономическими окулярами в настоящее время являются **ахроматический окуляр Кельнера** и **ортоскопический окуляр Аббе**. На рисунке 11 показано устройство этих окуляров.

Наиболее просто устроены окуляры Гюйгенса и Рамсдена. Каждый из них составлен из двух плоско-выпуклых собирающих

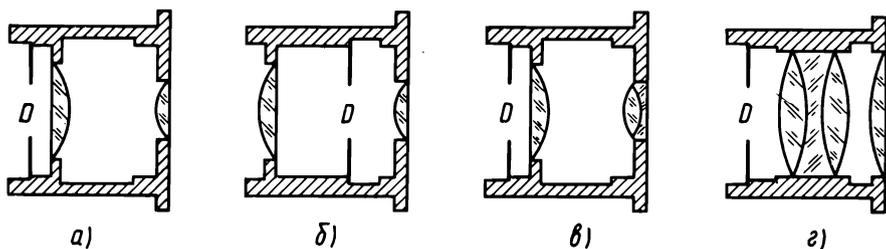


Рис. 11. Окуляры:

а — Рамсдена, б — Гюйгенса, в — Кельнера — ахроматический, г — Аббе — ортоскопический.

линз. Передняя из них (обращенная к объективу) называется полевой линзой, а задняя (обращенная к глазу наблюдателя) — глазной линзой. В окуляре Гюйгенса (рис. 12) обе линзы обращены своими выпуклыми поверхностями к объективу, и если  $f_1$  и  $f_2$  — фокусные расстояния линз, а  $d$  — расстояние между ними, то должно выполняться соотношение:

$$f_1:d:f_2 = 3:2:1.$$

Окуляр Гюйгенса нередко называют еще **отрицательным окуляром**, имея при этом в виду, что главная фокальная плоскость окуляра находится между полевой  $\Pi$  и глазной  $\Gamma$  линзами (где и поставлена диафрагма  $D$ ).

В окуляре Рамсдена обе линзы обращены своими выпуклыми поверхностями друг к другу и при тех же обозначениях выполняется соотношение:

$$f_1:d:f_2 = 3:2:3.$$

Диафрагма  $D$  поставлена в передней фокальной плоскости глазной линзы.

Поскольку передняя фокальная плоскость окуляра Рамсдена

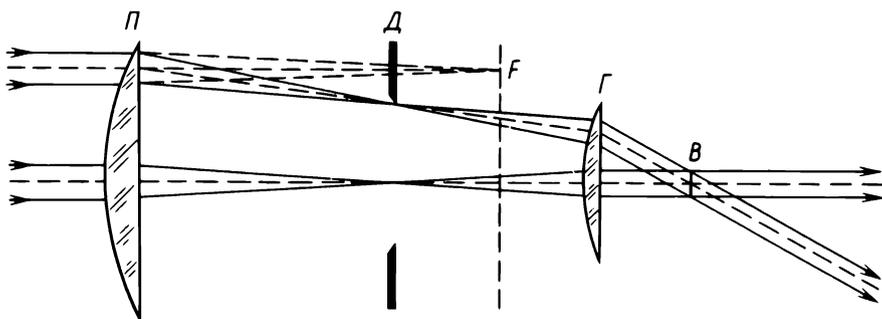
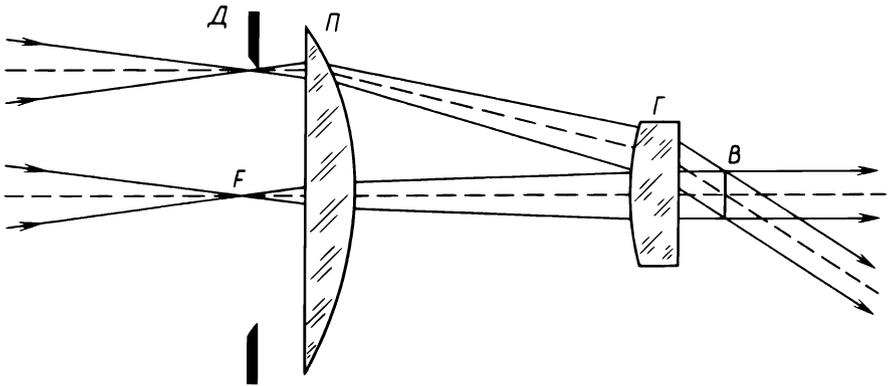


Рис. 12. Ход лучей через окуляр Гюйгенса:

$\Pi, \Gamma$  — полевая и глазная линзы,  $F$  — фокальная плоскость объектива (без окуляра),  $D$  — диафрагма и фокальная плоскость окуляра,  $B$  — диаметр зрачка выхода



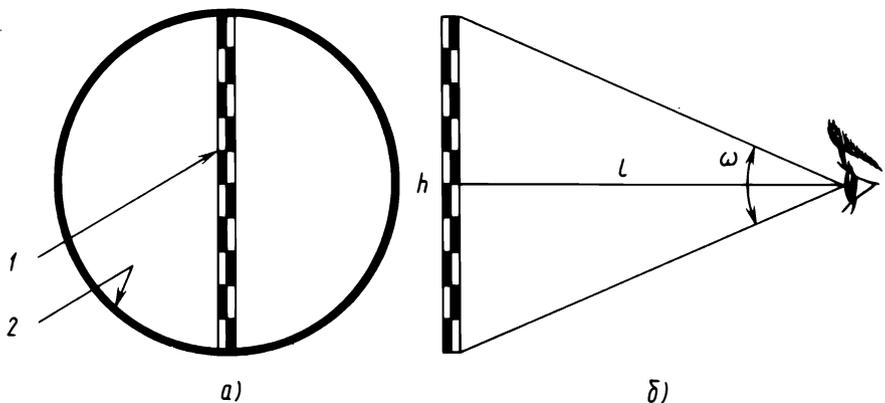
**Рис. 13. Ход лучей через окуляр Рамсдена:**

*П, Г* — полевая и глазная линзы, *Д, F* — диафрагма и фокальные плоскости объектива и окуляра, *В* — диаметр зрачка выхода.

находится перед полевой линзой, то его иногда еще называют **положительным окуляром** (рис. 13).

Одной из основных характеристик окуляра является его **поле зрения**, т. е. угол, под которым видно круглое отверстие окулярной диафрагмы. Поле зрения окуляра можно определить следующим образом. На окно ставят, например, метровую линейку так, чтобы ее середина была на уровне глаз наблюдателя. Приставляют к одному глазу окуляр, а вторым смотрят на линейку и, перемещаясь по направлению к ней, стараются разместить ее в видимом круге окуляра по диаметру (рис. 14, а).

Как только это удастся, ассистент измеряет второй линейкой расстояние  $l$  от окуляра до середины поставленной линейки (рис. 14, б).



**Рис. 14. Определение диаметра поля зрения окуляра:**

*а* — видимые картины: *1* — невооруженным глазом, *2* — вторым глазом в окуляр; *б* — чертеж к расчету поля зрения.

Так как  $\operatorname{tg} \frac{\omega}{2} = \frac{h}{2} : l$ , то поле зрения окуляра равно:

$$\omega = 2 \operatorname{arctg} \frac{h}{2l}.$$

**Поле зрения телескопа**, т. е. угловые размеры видимого в телескоп круга, можно определить, например, сравнивая на глаз наблюдаемые в телескоп диски Солнца, Луны, двойных звезд с известным угловым расстоянием. Точнее поле зрения телескопа определяют по времени прохождения светил. Если звезда при неподвижном телескопе прошла через поле зрения за  $t$  с, то оно равно:

$$\omega_1 = \frac{15t}{\cos \delta} \text{ секунд, дуги, где } \delta \text{ — склонение звезды.}$$

Для этих упражнений следует подбирать экваториальные звезды, т. е. звезды со склонениями  $\delta \approx 0^\circ$ , тогда задача сводится к превращению временной меры прохождения светила через поле зрения в угловую.

Так как угловое увеличение телескопа равно отношению поля зрения окуляра к полю зрения телескопа, т. е.  $N = \frac{\omega}{\omega_1}$ , то описанная методика позволяет независимым способом определять эту важную характеристику телескопа.

Начинающим наблюдателям полезно овладеть и непосредственным методом определения углового увеличения телескопа по наблюдениям каких-то равномерных структур. Так, если удаленную каменную стену наблюдать, одним глазом смотря в телескоп, а другим — непосредственно на стену, то можно легко установить, какую часть стены покрывает видимый в окуляре увеличенный кирпич. Подсчитав кирпичи на стене, которые уложились в увеличенное изображение одного кирпича (по вертикали или по горизонтали), находят угловое увеличение телескопа при данном окуляре.

Так как телескопические наблюдения производить тем удобнее, чем больше поле зрения телескопа при данном увеличении, то стремятся применять окуляры с большими полями зрения.

Поле зрения классического окуляра Гюйгенса достигает  $40^\circ$ , что примерно в 4 раза больше поля зрения однолинзового окуляра Кеплера. Почти такое же большое поле зрения имеет и окуляр Рамсдена. Поэтому окуляры Гюйгенса и Рамсдена используются при наблюдениях до настоящего времени.

Наиболее узкая и самая яркая часть светового пучка, выходящего из окуляра к глазу наблюдателя, называется **выходным зрачком** телескопа. Он изображен отрезком  $B$  на рисунках 12, 13, 15.

Его демонстрируют следующим образом. В дневное время направляют телескоп на небо и за окуляром передвигают белый листок бумаги, пока на нем не получится четкое светлое пятнышко, — это и будет выходной зрачок. Измерять его диаметр удобно при помощи лупы Польди с делениями в 0,1 мм, на которую наклеена полоска белой бумаги. При визуальных телескопических

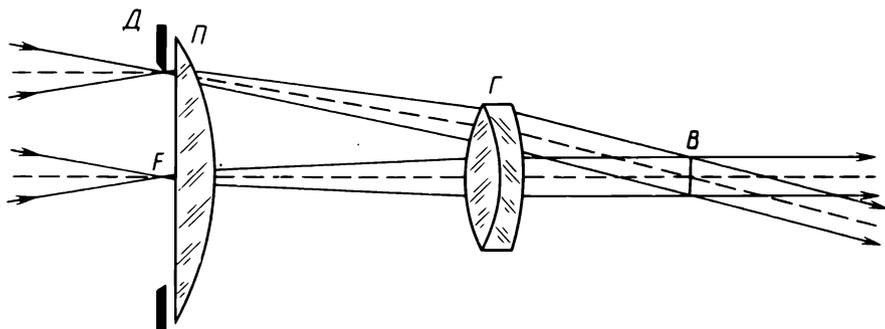


Рис. 15. Ход лучей через ахроматический окуляр Кельнера. Зрачок выхода отстоит от глазной линзы значительно дальше, чем у окуляра Рамсдена.

наблюдениях зрачок глаза должен быть совмещен с выходным зрачком окуляра. Поэтому очень важно, чтобы выходной зрачок окуляра находился не слишком близко от его глазной линзы. Самые короткофокусные (а значит, и самые сильные) окуляры Гюйгенса и Рамсдена этому требованию удовлетворяют не очень хорошо: при наблюдениях с ними глаз приходится располагать слишком близко от глазной линзы, что, конечно, представляет известные неудобства.

От указанного недостатка вполне свободны более совершенные окуляры **Кельнера** и **Аббе**. Ахроматический окуляр Кельнера (рис. 15) является модифицированным окуляром Рамсдена, отличаясь от него почти полным ахроматизмом, большим полем зрения (до  $50^\circ$ ) и несколько дальше вынесенным за глазную линзу выходным зрачком.

В ортоскопическом окуляре Аббе тройная ахроматическая полевая линза обеспечивает очень резкое и неокрашенное изображение по всему полю, превышающему  $40^\circ$ , а фокальная плоскость вынесена далеко вперед, благодаря чему этот окуляр очень удобен при работе с микроскопом и визуальными фотометрами.

Оптическая сила сложного окуляра, составленного из полевой и глазной линз, определяется его эквивалентным фокусным расстоянием  $f$ , которое вычисляется по формуле:

$$f = \frac{f_1 f_2}{f_1 + f_2 - d},$$

где  $f_1$  — фокусное расстояние полевой линзы,  $f_2$  — фокусное расстояние глазной линзы,  $d$  — расстояние между ними.

Зная эквивалентное фокусное расстояние окуляра, легко определить увеличение, которое с ним дает телескоп. Для этого достаточно разделить фокусное расстояние объектива на эквивалентное фокусное расстояние окуляра.

Однако гораздо проще увеличение телескопа с данным окуляром определить, измерив предварительно диаметр выходного зрачка телескопа  $\delta$ . Тогда, как это доказывается в геометрической

оптике, если  $D$  — диаметр объектива телескопа, то увеличение будет равно:

$$N = \frac{D}{\delta}.$$

Этим методом лучше всего определять увеличения таких телескопов, у которых затруднительно измерять эквивалентное фокусное расстояние объектива (системы Максудова, Кассегрена и других). Так, например, если диаметр объектива равен 130 мм, а диаметр выходного зрачка — 0,5 мм, то увеличение телескопа с этим окуляром равно  $260\times$ .

Для каждого телескопа существуют свои предельные (наибольшее и наименьшее) полезные увеличения. Они определяются диаметром его объектива. В телескопе не имеет смысла применять окуляр, при котором диаметр выходного зрачка телескопа будет больше диаметра зрачка человеческого глаза, ибо тогда часть светового потока, выходящего из окуляра, не попадет в глаз и будет просто потеряна. Поэтому за **наименьшее полезное увеличение** телескопа (называемое также **равнозрачковым**) принимается увеличение, численно равное отношению диаметра объектива телескопа к диаметру зрачка глаза.

В зависимости от условия освещения диаметр зрачка глаза меняется приблизительно от 5 до 8 мм. Следовательно, и равнозрачковое увеличение также будет меняться. Если принять диаметр зрачка глаза в среднем равным 6 мм, то наименьшее полезное увеличение телескопа ( $N_{\min}$ ) будет равно  $1/6$  диаметра объектива ( $D$ ) телескопа, выраженного в миллиметрах:

$$N_{\min} = \frac{1}{6} D \approx 0,17 D \text{ раз.}$$

Очевидно, применение увеличений, меньших равнозрачкового, равносильно диафрагмированию объектива, а значит, и уменьшению его оптической мощи. Впрочем, при наблюдении слабосветящихся объектов (туманности, звездные скопления) можно применять увеличения несколько меньшие, так как в темноте зрачок человеческого глаза расширяется до 7—8 мм:

$$N_{\min} = (0,13 \div 0,14) D \text{ раз.}$$

Мы уже отмечали в § 1, что для разрешения звездных пар требуются увеличения  $\sim N = 1,3D$  раз. В ряде случаев более приемлемыми оказываются даже большие увеличения  $\sim N = 2D$  раз, где  $D$  означает число, равное диаметру объектива в миллиметрах.

При наблюдениях таких ярких светил, как Солнце и Луна, разрешающая способность глаза улучшается до  $1'—2'$ , поэтому для разрешения деталей требуются увеличения в 2—3 раза меньше.

Выбор оптимального увеличения в сильной степени зависит от состояния погоды (дрожание изображения) и определяется на практике путем смены окуляров с разными фокусными расстояниями. При значительном дрожании изображения увеличения понижают, при хорошем состоянии погоды — повышают.

В § 1 при обсуждении светосилы объектива и анализе формулы освещенности  $E = \frac{E_0}{\alpha^2} \left( \frac{D}{F} \right)^2$  указывалось, что для наблю-

дений слабых протяженных объектов, т. е. с малыми коэффициентами  $\frac{E_0}{\alpha^2}$ , требуется увеличить множитель  $\left( \frac{D}{F} \right)^2$ , т. е. применять светосильные объективы с диаметрами побольше и фокусными расстояниями поменьше.

Если при этом употребляются окуляры с небольшим равнозрачковым увеличением, то на задней стенке глаза получается изображение, небольшое по размерам, но с максимальной освещенностью, — в результате появляется возможность заметить слабые протяженные объекты.

При использовании длиннофокусных с небольшой светосилой объективов да еще в сочетании с короткофокусными окулярами получают очень большие увеличения, в результате световая энергия распределяется по значительной площади сетчатки глаза, и ее удельная плотность может оказаться недостаточной для раздражения колбочек и палочек. Слабый протяженный объект в этом случае оказывается невидимым.

Длиннофокусные малосветосильные объективы в сочетании с окулярами, дающими большие увеличения, хороши для наблюдения ярких протяженных объектов и для разрешения тесных звездных пар на пределе разрешения телескопа.

Заметим также, что при короткофокусных объективах затруднительно получать большие увеличения, ибо требуются слишком короткофокусные окуляры, у которых выходные зрочки находятся вблизи поверхности глазной линзы.

В заключение параграфа приведем диапазоны оптимальных увеличений для наблюдений различных небесных объектов с телескопами небольших размеров:

(0,15—0,2)  $D$  раз при наблюдении слабых туманностей, шаровых звездных скоплений, комет. Результаты тем лучше, чем светосильнее объектив.

(0,2—0,4)  $D$  раз при наблюдении Луны в фазе полного затмения. Требуется светосильный объектив.

(0,3—0,6)  $D$  раз при наблюдении деталей солнечной фотосферы.

(0,4—1,0)  $D$  раз при наблюдении деталей лунной поверхности.

(0,7—1,5)  $D$  раз при наблюдении деталей планет.

(1,3—2,0)  $D$  раз при наблюдении тесных пар звезд при установлении разрешающей способности телескопов.

## § 5. Монтровки телескопов и их характеристики

Механическую и достаточно жесткую конструкцию, соединенную с трубой телескопа, позволяющую придавать ей любое желаемое направление и при необходимости плавно изменять его, принято

называть **монтажкой** (установкой) телескопа. Монтажку малого телескопа часто называют **штативом**.

Проанализируем общеупотребительные монтажки телескопов, обсудим их достоинства и недостатки, дадим ряд полезных советов по рациональной их эксплуатации.

Малые телескопы (с отверстиями до 60—70 мм) обычно выпускают на максимально упрощенных **азимутальных штативах** с целью минимализации цен.

Так, труба простейшей модели школьного рефрактора ( $D=60$  мм) опирается на азимутальную головку штатива весьма несложной конструкции (рис. 16).

Данный азимутальный штатив вполне удовлетворяет первым запросам начинающих наблюдателей. С его помощью они могут быстро наводить трубу телескопа в какую угодно точку неба и на любое видимое невооруженным глазом светило. Прилагаемые к телескопу окуляры при увеличениях  $30\times$  и  $60\times$  обеспечивают относительно большие поля зрения:  $1^\circ 30'$  и  $40'$ , что позволяет легко отыскивать нужные светила. Конечно, вследствие видимого суточного вращения неба светила уходят из поля зрения, и тем быстрее, чем больше угловое увеличение телескопа. Для удержания светила в поле зрения необходимо поворачивать трубу телескопа вокруг вертикальной и горизонтальной осей, т. е. одновременно изменять азимут и высоту линии его визирования. Сделать это легко. Надо отпустить зажимные винты настольно, чтобы они лишь слегка удерживали трубу телескопа от непредвиденных поворотов вокруг ука-

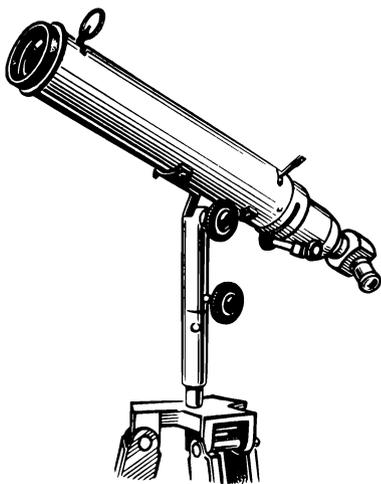


Рис. 16. Школьный рефрактор Главцехпрома ( $D=60$  мм) на азимутальном штативе.

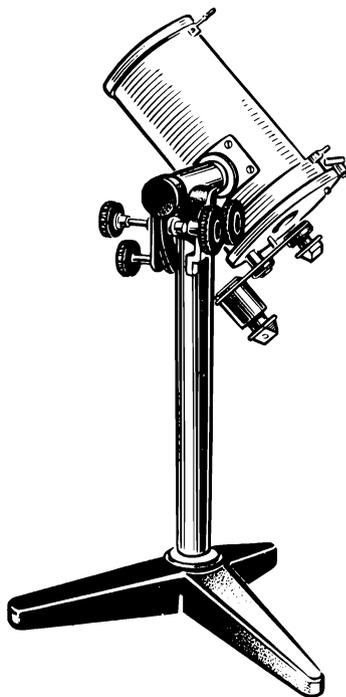


Рис. 17. Азимутальный штатив менникового телескопа системы Д. Д. Максимова ( $D=70$  мм).

занных осей. При таком полузакреплении трубы ее можно с легким усилием плавно вести вслед за смещающимися светилами. Даже при небольшом навыке начинающие наблюдатели могут длительное время удерживать нужные светила в центре поля зрения без резких их уходов в стороны.

В школьных телескопах Максутова с диаметром отверстия 70 мм азимутальный штатив (рис. 17) имеет микрометрические винты для плавного изменения высоты и азимута приблизительно в пределах до  $10^\circ$ , что позволяет осуществлять плавное слежение за светилами не менее 35 мин.

При этом, конечно, оказываются занятыми обе руки — надо одновременно вращать два микрометрических винта, что не очень удобно. Поэтому понятно, почему некоторые учителя старались превращать азимутальную монтировку в экваториальную путем наклона вертикальной стойки штатива на угол широты места жительства, т. е. расположения ее вдоль оси мира. Для этого опору штатива телескопа системы Максутова укрепляли на грани треугольной деревянной призмы с углом наклона ( $90^\circ - \varphi$ ) ко второй грани.

Если выставить укрепленный таким образом телескоп, ориентировав его вдоль плоскости меридиана и направив стойку на Северный полюс мира, то установка превращается в **экваториальную** и за смещениями светил при их суточном движении становится возможным следить, вращая один лишь микрометрический винт.

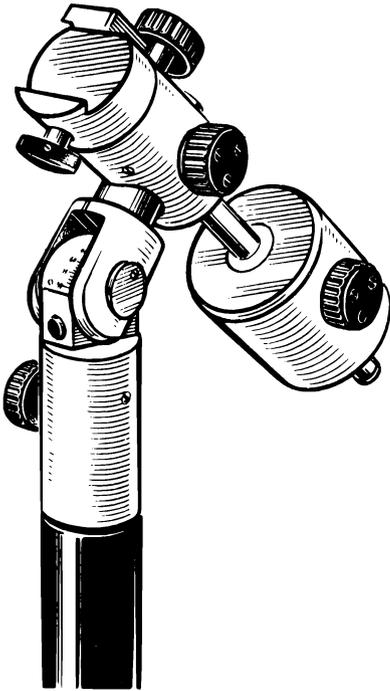


Рис. 18. Упрощенная параллактическая головка для малых телескопов, изготовляемая в ГДР.

Ввиду несомненных преимуществ экваториальных монтировок перед азимутальными ряд зарубежных фирм даже малые телескопы выпускает с параллактическими головками упрощенных конструкций. Так, народное предприятие «Карл Цейс» в ГДР разработало упрощенную универсальную головку для малых телескопов (рис. 18). Эта головка немного сложнее по конструкции головки азимутального штатива упрощенной модели рефрактора (рис. 16), но представляет больше удобств для наблюдений. Микрометрических винтов головка не имеет. Передвижение трубы за смещающимися светилами вследствие суточного вращения

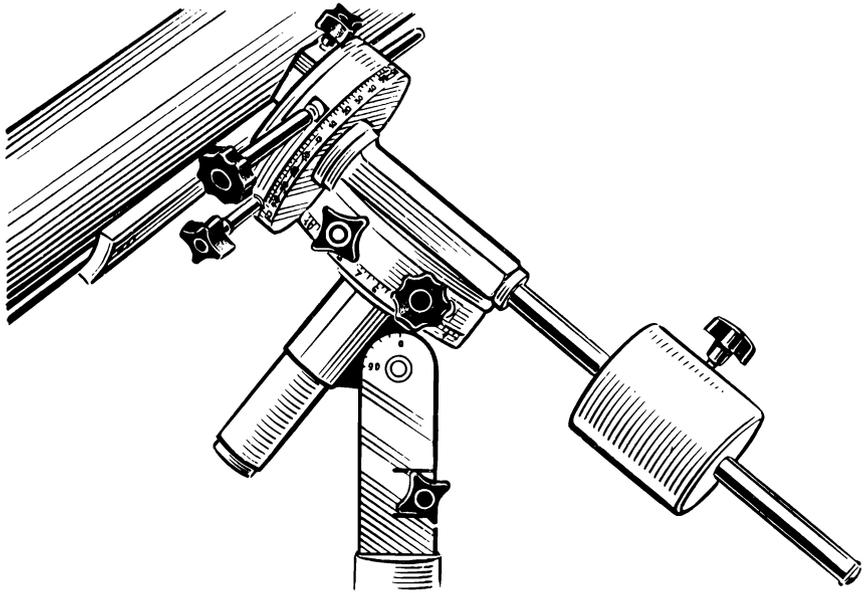


Рис. 19. Параллактическая монтировка школьного рефрактора «Телементор» (63/840).

неба осуществляется вручную при зажатом винте на оси склонения и полуослабленном винте на полярной оси.

Несколько сложнее штатив школьного телескопа-рефрактора «Телементор» ( $D_1 = 63$  мм,  $F = 840$  мм) того же предприятия (рис. 19). В нем имеются шкалы склонения и прямых восхождений и микрометрические винты на обеих осях с пределами регулировки  $7,5^\circ$ , что дает возможность непрерывно перемещать трубу телескопа вслед за смещающимися светилами не более 30 мин. Затем надо делать остановку, вращать винты в обратную сторону до упора, потом вновь перемещать трубу за светилами и т. д.

Параллактическая головка телескопа-рефрактора ( $D = 80$  мм,  $F = 800$  мм), долгое время выпускавшаяся Главучтехпромом (рис. 20), имеет запас хода для слежения за светилами около 6 ч, что вполне достаточно для проведения даже затянувшихся наблюдений. К недостаткам этой монтировки следует отнести несовершенство конструкции параллактической головки с точки зрения установки и регулировки телескопа, отсутствие делительных кругов и использование облегченной и неустойчивой треноги.

Устранить полностью конструктивные недостатки данной параллактической головки весьма сложно. Укажем лишь, как можно изменить посадку параллактической головки на штатив для улучшения установки телескопа по азимуту. Для этого на конус штатива следует насадить кольцо так, чтобы оно оказалось в самом его основании и позволило опираться на него муфте основания головки. В результате у параллактической головки появляется возможность плавного вращения вокруг вертикальной оси. Если в муфте про-

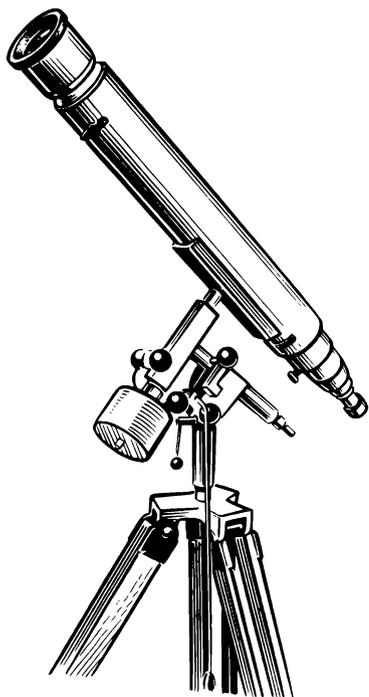


Рис. 20. Параллактическая монтировка школьного рефрактора Главчтехпрома (80/800).

сверлить отверстие и сделать нарезку под соответствующий винт, то головку вместе с трубой можно фиксировать по азимутам, что кардинально облегчает операции по правильной установке телескопа и его регулировке.

Несложно также вырезать из жести круги диаметром 120 мм, проставить на одном из них деления склонений, на втором — прямых восхождений и установить их на соответствующих осях телескопа. Наличие кругов на телескопе расширяет возможности телескопических наблюдений и повышает их учебную эффективность.

Что касается неустойчивости телескопа, то ее можно уменьшить путем придания конструктивной жесткости треноге. Для этого следует сделать из дерева или металла трехлучевую «звезду» (или треугольник) с зажимами на концах лучей крепления на ногах треноги. Если «звезду» устанавливать внизу треноги (рис. 21), то ее лучи могут быть

длиной примерно по 50 см. В качестве зажимов можно использовать болты с гайками. Надо лишь в соответствующих местах просверлить отверстия в ногах треноги и на концах лучей «звезды».

От перечисленных недостатков свободна новая параллактическая монтировка телескопа-рефрактора на колонне, описанная ранее в «Школьной астрономической обсерватории». Как уже отмечалось, облегченная колонна позволяет использовать телескоп в качестве переносного инструмента, а также устанавливать его стационарно в обсерватории. Последнее обстоятельство чрезвычайно важно для улучшения постановки астрономических наблюдений в школах страны.

Оптико-механические мастерские Академии наук Армянской ССР вместо телескопа БАМ-5А стали выпускать новую модель: школьный телескоп системы Максудова ШТМ-6 (рис. 22). Оптические характеристики телескопа оставлены прежними. При диаметре светового отверстия 100 мм, эквивалентном фокусном расстоянии 1177 мм и двух прилагаемых окулярах ( $F_1 = 14$  мм,  $F_2 = 10$  мм), телескоп дает увеличения  $84\times$  и  $118\times$ . Поле зрения даже при первом окуляре, к сожалению, относительно мало — всего  $15'$ . С новой окулярной головкой стало более удобно наводить на резкость.

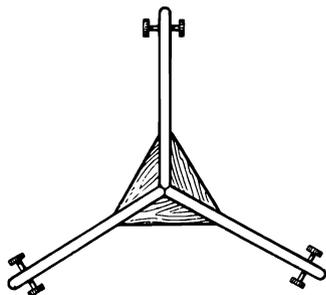
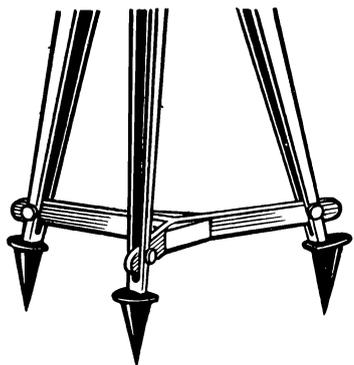


Рис. 21. Придание устойчивости и жесткости треноге с помощью трехлучевой звезды с болтами и гайками на концах лучей.

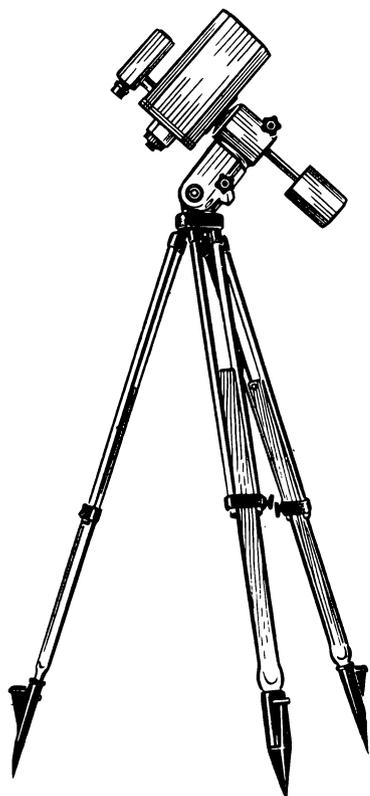


Рис. 22. Параллактическая монтировка школьного телескопа системы Д. Д. Максутова ШТМ-6, созданного оптико-механическими мастерами АН Армянской ССР.

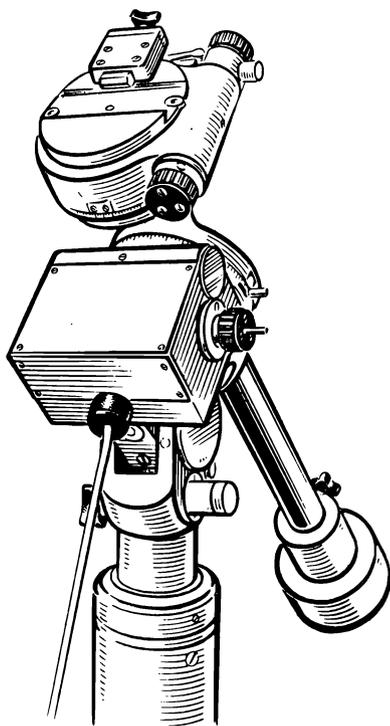


Рис. 23. Универсальная параллактическая головка для малых телескопов, изготавливаемая в ГДР.

Прилагаемая к телескопу фотокамера «Зенит-Е» может быть легко навинчена вместо окулярной головки, и тогда с телескопом можно проводить фотографирование как небесных светил, так и удаленных земных объектов.

В качестве штатива для телескопа использована стандартная геодезическая тренога для теодолитов и нивелиров. Если устанавливать телескоп на мягком грунте, то достигается хорошая устойчивость — острые окончания ног штатива глубоко входят в землю и надежно фиксируются. При установке телескопа на твердых покрытиях для обеспечения надежной устойчивости следует изготовить трехлучевую «звезду» (треугольник) и закрепить ее у основания штатива (рис. 21).

Хорошими качествами обладает универсальная параллактическая головка, выпускаемая в ГДР народным предприятием «Карл Цейс» (рис. 23). Все трубы малых телескопов, изготавливаемые этим предприятием, легко крепятся к параллактической головке при помощи зажима, сделанного в форме ласточкина хвоста. Синхронный двигатель, помещенный внутри головки, обеспечивает хорошее гидирование трубы телескопа при проведении наблюдений. Микрометрические винты на обеих осях позволяют осуществлять точное визирование трубы телескопа на избранные объекты.

Ряд зарубежных фирм выпускает параллактические монтировки

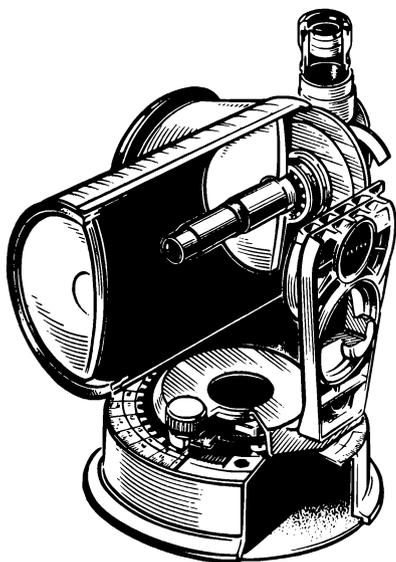


Рис. 24. Вилочная параллактическая монтировка телескопа системы Д. Д. Максудова «Квестар», изготовляемого в США (показана в разрезе).

вилочного типа, в особенности для небольших телескопов с короткими трубами (системы Кассегрена, Максудова, Шмидта и, отчасти, Ньютона). Использование вилочных конструкций позволяет снизить общую массу телескопа при обеспечении в то же время достаточной жесткости и устойчивости всей установки. Так, в США большим спросом пользуется телескоп системы Максудова «Квестар» (рис. 24) с вилочной монтировкой. При диаметре входного отверстия 89 мм масса телескопа с монтировкой составляет 3,2 кг. Вилочные конструкции параллактических головок пользуются большим спросом у любителей телескопостроения [7, 8, 11].

Любая установка телескопа, как азимутальная, так и параллактическая, должна обеспечить прежде всего достаточно жесткое крепление трубы телескопа, а также легкое ее наведение в

любую точку неба и плавное перемещение за наблюдаемым светилом при его суточном движении по небесному своду. Поэтому, приступая к работе с телескопом, необходимо, наряду с проверкой качества его оптики и правильности юстировки, обратить серьезное внимание и на установку телескопа. Пробные наблюдения должны подтвердить, что изображения светил в поле зрения не дрожат, а труба телескопа легко наводится на объект наблюдения и может плавно за ним перемещаться. При необходимости надо подтянуть крепежные болты и смазать машинным маслом все шарнирные и иные подвижные соединения, а также тщательно проверить балансировку трубы телескопа.

Если телескоп установлен стационарно в павильоне и смонтирован на параллактической установке, то совершенно необходимо проверить правильность ее регулировки. Параллактическая установка будет работать хорошо только в том случае, если ее полярная ось строго параллельна оси вращения Земли (оси мира).

Точная регулировка параллактической установки производится по наблюдениям звезд с применением сильного окуляра, снабженного крестом нитей.

Простейший метод регулировки установки заключается в следующем. Наводят телескоп на какую-нибудь звезду, находящуюся вблизи меридиана (недалеко от экватора), и вращением окуляра направляют одну из нитей вдоль ее суточной параллели. Если установка ориентирована точно по меридиану, то звезда при перемещении телескопа только около полярной оси не будет сходить с нити, оставаясь все время в центре поля зрения. Если же звезда постепенно отходит от нити вверх или вниз, то описываемая ею суточная параллель не совпадает с той линией, которую на небесной сфере прочерчивает оптическая ось телескопа, и, следовательно, установка не совсем точно ориентирована вдоль меридиана. Тогда немного поворачивают установку, изменяя ее азимут, и снова следят за звездой. Постепенно шаг за шагом добиваются столь точного положения установки, что звезда даже при длительном наблюдении остается все время в центре поля зрения (на кресте нитей). Это означает, что правильная установка по меридиану достигнута.

Вслед за этим производят выверку угла наклона полярной оси к плоскости горизонта. С этой целью телескоп наводят на какую-нибудь звезду, находящуюся вблизи первого вертикала: при таком положении трубы телескопа легче всего обнаружить неточность в наклоне полярной оси. И если при ведении телескопа за звездой (при закрепленном ключе склонений) последняя смещается в ту или иную сторону перпендикулярно своей суточной параллели, то необходимо изменить наклон полярной оси.

Путем ряда проб добиваются в конце концов единственно правильного наклона полярной оси к плоскости горизонта: контрольная звезда не будет больше сходить с креста нитей. Ясно, что теперь линия, описываемая на небесной сфере оптической осью телескопа, будет весьма точно совпадать с суточной параллелью звезды.

Нетрудно понять, что при регулировке установки по азимуту

смещение контрольной звезды вверх (учитывая перевернутое изображение в астрономическом окуляре — фактически вниз) требовало поворота всей установки против часовой стрелки, а при смещении вниз — по часовой стрелке. Точно так же при регулировке установки по высоте наблюдаемое в первом вертикале смещение контрольной звезды влево требовало уменьшения угла наклона полярной оси, а смещение звезды вправо — увеличения этого угла.

Регулировку параллактической установки можно осуществить также с помощью разделенных кругов. Однако этот метод, описание которого читатель может найти, например, в книге В. П. Цесевича «Что и как наблюдать на небе» [9], требует наличия очень точных разделенных кругов, которые имеются только у достаточно крупных телескопов.

## § 6. Необходимые принадлежности телескопа

Важнейшей принадлежностью любого телескопа, предназначенного для визуальных наблюдений, является **комплект окуляров** к нему. Малые телескопы (с диаметром объектива до 70—80 мм) обычно снабжаются 2—3 окулярами. Более крупные телескопы имеют комплект из 5—6 окуляров.

Небольшие телескопы старых конструкций, которые кое-где встречаются у нас и поныне, обычно снабжались окулярами Гюйгенса и Рамсдена. В более современных моделях чаще всего встречаются окуляры Кельнера.

В комплект окуляров к небольшому телескопу, как минимум, должны входить три окуляра: слабый, средний, сильный. Слабый окуляр обычно дает увеличение, близкое к равнозрачковому; увеличение телескопа со средним окуляром приблизительно равно  $D/2$  раз, а с сильным окуляром —  $D$  и более раз, где  $D$  — число, равное диаметру объектива в миллиметрах.

В более полных комплектах окуляров, прилагаемых обычно к телескопам с отверстием 100—130 мм, имеются, кроме слабого окуляра, два окуляра средней силы и 2—3 сильных окуляра, позволяющих получать увеличения до  $2D$  раз. Вообще, чем полнее набор окуляров к телескопу, тем лучше, ибо, как было уже выяснено выше (§ 4), разные объекты наблюдения и разные атмосферные условия требуют применения различных увеличений.

Другой важнейшей принадлежностью всякого телескопа, отверстие которого превышает 70—80 мм, является **искатель**, т. е. небольшой телескоп, дающий слабое увеличение и имеющий благодаря этому большое поле зрения. Искатель крепится к основному телескопу так, чтобы его оптическая ось была строго параллельна оптической оси телескопа. Поэтому светило, оказавшееся в центре поля зрения искателя, будет видно и в главный телескоп. С помощью искателя легко осуществляется наводка телескопа на нужный участок неба — для этого нужно только навести на этот участок неба искатель. Более крупные телескопы могут иметь два искателя разной силы.

Телескоп, предназначенный для фотографирования неба, дополнительно снабжается параллельно скрепленным с ним визуальным телескопом, часто по силе не уступающим основному телескопу. Этот визуальный телескоп называется **гидом**. В фокальной плоскости окуляра телескопа-гида натянут крест нитей. Наблюдатель при длительной экспозиции с помощью микрометрических ключей подправляет время от времени работу часового механизма, глядя в окуляр гида, и удерживает контрольную звезду на пересечении креста нитей. Иногда к небольшому телескопу, монтированному на экваториальной установке с часовым механизмом, присоединяют одну или несколько (обычно короткофокусных) фотографических камер, и тогда при съемках неба роль гида выполняет сам телескоп.

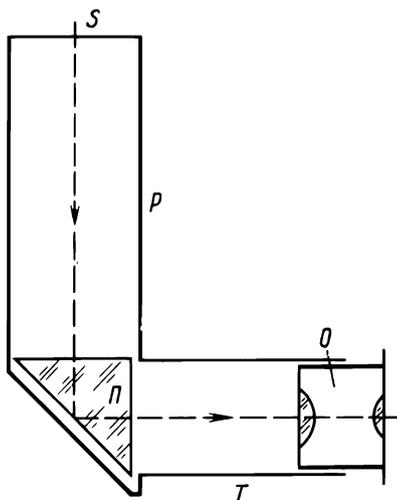


Рис. 25. Зенитная призма.

При наблюдениях в рефрактор (или в кассегреновский рефлектор) светила вблизи зенита очень полезна **зенитная призма** (рис. 25), которая позволяет вести наблюдения без необходимости закидывать голову назад. Она представляет собой призму полного отражения, вставленную в окулярную трубу, от которой под прямым углом отходит патрубок ( $T$ ) с окуляром ( $O$ ). Призма отбрасывает падающие на нее от объектива световые лучи в окуляр, занимающий при таких наблюдениях очень удобное для наблюдателя (почти горизонтальное) положение.

При визуальных наблюдениях Солнца применяются **окулярные бленды** с темными стеклами и темным клином.

**Окулярная бленда с темным стеклом** (рис. 26) имеет вид небольшого колпачка, центральное отверстие которого закрыто темным стеклом для ослабления солнечного света. Перед наблюдениями бленда навинчивается на окуляр. Желательно иметь несколько бленд с темными стеклами разной густоты. Самые слабые из них могут быть использованы для ослабления блеска Луны, Венеры и других ярких светил.

Более совершенным приспособлением, позволяющим менять степень ослабления изображения Солнца, является **окулярная бленда с темным клином**. Сам клин представляет собой полоску очень темного стекла, отшлифованную в форме клина. Он склеен с таким же клином из белого стекла, так что получается плоскопараллельная пластинка. Она может с легким трением перемещаться в пазах небольшого колпачка, навинчиваемого на окуляр, ослабляя в нужной степени яркость изображения Солнца. Окуляр-

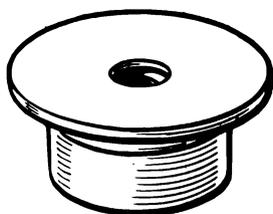


Рис. 26. Окулярная бленда с темным стеклом для наблюдений Солнца.

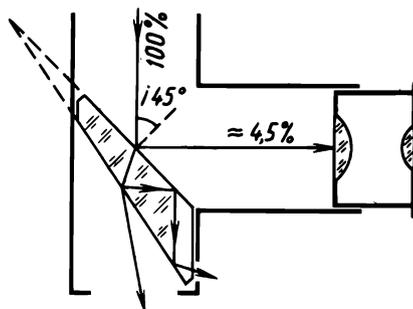


Рис. 27. Гелиоскопический окуляр Гершеля.

ная бленда с темным клином может быть использована также при наблюдениях Луны и ярких планет, блеск которых порой нуждается в некотором ослаблении.

При наблюдениях Солнца с темным клином или темными стеклами для избежания перегрева стекла окуляра объектив телескопа приходится сильно диафрагмировать (до относительного отверстия  $1/45$  и менее). При этом значительно уменьшается разрешающая способность телескопа. Избежать этого можно применением специальных гелиоскопических (солнечных) окуляров. Наиболее простым из них является **гелиоскопический окуляр Гершеля** (рис. 27). Главной его частью является узкая треугольная призма, передняя грань которой наклонена под углом в  $45^\circ$  к оптической оси телескопа. Форма призмы рассчитана так, чтобы большую часть (около 95%) световой энергии направить в сторону от окуляра. Следует, однако, иметь в виду, что, хотя в окуляр поступает всего только около 5% света, отраженного от передней грани призмы, изображение Солнца все же еще очень яркое, и для дальнейшего его ослабления применяются слабые бленды с темными стеклами.

Более совершенным является **поляризационный солнечный окуляр** (рис. 28), представляющий собой ломаную трубку, в которую вставлены четыре попарно параллельных плоских зеркала из черного стекла. Луч света, испытав четырехкратное отражение от этих зеркал, поступает в окуляр поляризованным и ослабленным в такой степени, что применение темных стекол становится уже ненужным. Таким образом, поляризационный окуляр позволяет наблюдать Солнце в натуральных цветах, в чем и заключается его главное преимущество перед окуляром Гершеля.

При телескопических наблюдениях Луны, планет и многих других светил очень полезны (а в некоторых случаях и совершенно необходимы) **светофильтры**. Благодаря избирательному поглощению цветных лучей светофильтр сам приобретает окраску, родственную цвету пропускаемых им лучей. Обычно светофильтром является окрашенное в определенный цвет стекло. Но бывают и свето-

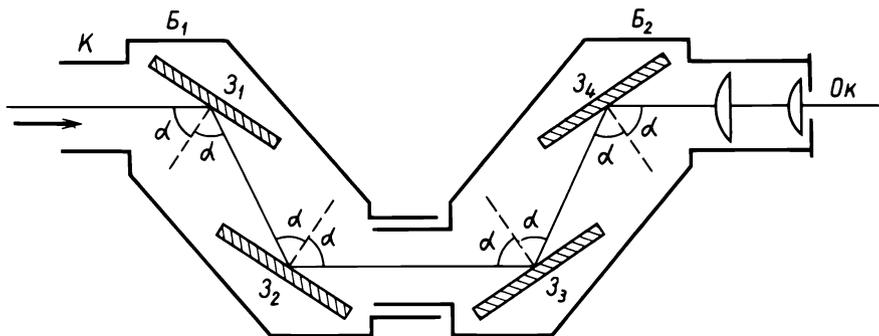


Рис. 28. Поляризационный солнечный окуляр.

фильтры из окрашенных желатиновых пленок на стеклянной основе. Изготовление таких светофильтров несложно и подробно описано во многих руководствах. Впрочем, очень хорошие стеклянные светофильтры разнообразных цветов и разного размера можно приобрести в магазинах фотопринадлежностей. Во многих случаях совершенно достаточно иметь комплект из 3—4 светофильтров: оранжевый ОС-12, желтый ЖС-17 (частично пропускает и зеленые лучи), темно-желтый ЖС-18 и зеленый ЗС-5. Очень полезно иметь и другие светофильтры (голубой, синий и красный).

Стеклянные светофильтры с плоскопараллельными оптическими поверхностями можно располагать в любом месте на пути световых лучей и даже перед объективом. Пленочные (желатиновые) светофильтры во избежание порчи изображения должны находиться за окуляром, между его глазной линзой и глазом наблюдателя.

Необходимой принадлежностью телескопа-рефрактора является **противоросник**, представляющий собой короткую зачерненную изнутри трубу, надеваемую на объектив телескопа. Его длина должна в 2,5—3 раза превышать диаметр объектива. Противоросник предохраняет объектив рефрактора от выпадения росы при ночных наблюдениях и, кроме того, защищает его от боковых лучей, что имеет немаловажное значение при наблюдениях светил, расположенных на небе недалеко от Луны или от фонарей уличного освещения (при наблюдениях в черте города).

Очень полезной принадлежностью телескопа, предназначенного для наблюдений Солнца, является **солнечный экран**. Размеры экрана должны позволять получать на нем изображение Солнца диаметром не менее 10 см.

Современные рефракторы с диаметром объектива от 110 мм и выше, как правило, снабжаются **окулярным кассетным устройством**, позволяющим в главном фокусе производить снимки неба на sensibilizированные фотопластинки и фотопленки. В комплект, кроме кассетного устройства, входит набор светофильтров и несколько кассет. Кассетное устройство особенно полезно при фотографических наблюдениях переменных звезд.

## § 7. Дополнительные замечания

Телескоп является очень точным и нежным оптико-механическим прибором, требующим к себе аккуратного и бережного отношения. Прежде всего его нужно оберегать от ударов и сотрясений, которые могут вызвать нарушение юстировки оптики и даже ее повреждение.

Самое бережное отношение должно быть к важнейшей части телескопа — его объективу. Прежде всего нужно тщательно оберегать его от запыления и загрязнения, закрывая в нерабочем состоянии специальной защитной крышкой. С течением времени оптические поверхности объектива все-таки запыляются и загрязняются, что приводит к некоторому уменьшению проникающей силы телескопа. Увлечаться частой чисткой оптических поверхностей объектива не следует, но если уж такая необходимость назрела, то нужно отнестись к делу со всей ответственностью, помня о том, что очень легко каким-нибудь несбдуманным действием привести объектив в полную негодность. Линзы ахроматического объектива телескопа-рефрактора изготавливаются из специальных сортов оптического стекла, которое, в отличие от обыкновенного зеркального стекла, характеризуется большой химической нестойкостью. Поэтому при чистке объектива ни в коем случае нельзя применять никакие реактивы, кроме чистого ректифицированного спирта или эфира, которыми нужно смочить чистый ватный тампон и, предварительно смахнув пыль чистой мягкой кисточкой, осторожно и без всякого нажима водить этим тампоном по поверхности линзы. При этом нельзя ни касаться линз руками, ни тем более протирать их чем-нибудь другим, иначе почти неминуемо появление царапин.

Линзовый объектив нужно чистить только снаружи. В случае же необходимости разборку объектива следует предоставить опытному специалисту-оптику.

Очень бережного отношения требует и зеркальный объектив, оптическая поверхность которого покрыта очень нежной и тонкой отражательной пленкой. Этой пленки ни в коем случае нельзя касаться руками, а осевшую на нее пыль нужно время от времени осторожно смахивать чистой мягкой кисточкой (еще лучше — обдувать струей воздуха).

Окуляры нужно хранить в закрытом ящике и тщательно оберегать от нечаянных сотрясений. Их линзы надо периодически чистить с соблюдением тех же предосторожностей, что и линзы объектива.

Пыль, грязь и влага являются врагами всего механизма телескопа. Поэтому нужно постоянно следить за смазкой различных механизмов и трущихся частей установки телескопа, периодически их чистить и возобновлять покраску. Очень полезно также для предохранения от пыли и влаги в нерабочее время закрывать телескоп специальным чехлом из водонепроницаемого материала. При бережном обращении телескоп будет служить долго и безотказно.

## Глава II

# ОРГАНИЗАЦИЯ, СОДЕРЖАНИЕ И МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ АСТРОНОМИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ

### § 8. Введение

Эта глава написана с целью оказания конкретной помощи преподавателю астрономии в постановке различных астрономических наблюдений повышенного уровня. Поскольку такие наблюдения несколько выходят за рамки учебной программы, их проведение должно быть организовано на занятиях астрономического кружка. Нам думается, что содержание этой главы, как и всей книги в целом, должно также заинтересовать и любителей астрономии. Вместе с тем мы напоминаем читателю о том, что методике организации и проведения первоначальных, более простых наблюдений (ознакомительных и тематических) была посвящена специальная глава ранее вышедшей книги «Школьная астрономическая обсерватория» [11].

Каким бы скромным оборудованием ни обладала учебная астрономическая обсерватория школы (а тем более педагогического института), при надлежащей настойчивости и целеустремленности на ней всегда можно организовать регулярные и достаточно серьезные астрономические наблюдения Луны, планет, Солнца, переменных звезд и многих других интереснейших небесных объектов и явлений. Такие наблюдения будут способствовать дальнейшему развитию у учащихся интереса к астрономии и более углубленному ее изучению. Кроме того, как об этом свидетельствует положительный опыт отдельных любителей астрономии и целых коллективов наблюдателей при отделениях ВАГО в Москве, Симферополе, Новосибирске, Одессе и других городах нашей страны, а также опыт работы астрономических кружков при ряде школ и педагогических институтов, такие наблюдения при надлежащей их организации и достаточно высокой квалификации наблюдателей могут иметь и определенную научную ценность.

При организации наблюдений необходимо руководствоваться следующими соображениями.

**1. Тематика наблюдений должна соответствовать имеющимся инструментальным возможностям.** В частности, совершенно бесперспективно со сравнительно скромным оборудованием учебной астрономической обсерватории ставить в наши дни серьезные наблюдения шаровых и рассеянных звездных скоплений, туманностей и галактик. То же самое можно сказать и о наблюдениях поверхностей Меркурия; Урана и Нептуна (не говоря о Плутоне, который можно видеть только в самые мощные телескопы), а также о целом ряде специальных астрофизических работ (астро-спектроскопия, спектрофотометрия и др.), постановка которых

требует специальных глубоких знаний и дорогостоящего (а порой и уникального) оборудования.

**2. Наблюдениям повышенной трудности должны предшествовать сходные по тематике более простые учебные наблюдения.** Их нужно поручать в первую очередь тем учащимся или студентам (членам астрономического кружка), которые прошли предварительную школу учебных тематических наблюдений, проявив большую аккуратность, настойчивость и добросовестность в работе.

**3. Необходима общая теоретическая подготовленность наблюдателей по вопросам, связанным с тематикой наблюдений,** так как при этом условии возможно сознательное, а значит, и в достаточной мере качественное проведение серьезных астрономических наблюдений. Учащимся, приступающим впервые к таким наблюдениям, необходимо дать исчерпывающие консультации и указать дополнительную литературу для самостоятельного изучения. Они должны твердо усвоить, что астрономические наблюдения проводятся не ради самих наблюдений. Они являются лишь первой фазой всей запланированной работы по изучению определенного объекта или явления. Второй же неотъемлемой фазой такой работы должна быть обязательная обработка выполненных наблюдений и осмысливание полученных результатов, достоверность, а значит, и ценность которых существенно зависит от качества и объема полученного наблюдательного материала.

**4. Наблюдения, поставленные по определенной теме, должны проводиться систематически в течение всего запланированного периода времени и быть однородными,** т. е. выполняться по одной и той же методике, с одними и теми же инструментами. Отдельные, отрывочные наблюдения, выполненные бессистемно, не представляют почти никакой ценности.

**5. Наблюдения группы наблюдателей по данной теме, каждый из которых ведет работу самостоятельно, имеют значительно большую ценность, чем наблюдения одного человека.**

Преимущество коллективных наблюдений (в особенности, если иметь в виду визуальные наблюдения, страдающие, как известно, большим субъективизмом) состоит в том, что они дают более объективную информацию о наблюдаемом объекте, а заодно позволяют учесть и исключить при обработке личные ошибки наблюдателей.

Для координации работы всего коллектива наблюдателей целесообразно (по каждой избранной теме наблюдений) предварительно разработать специальную **программу наблюдений**, в которой подробно расписать всю запланированную работу. В этой программе, в частности, нужно предусмотреть цели и задачи, поставленные перед каждым наблюдателем, время проведения наблюдений и методику использования подготовленной аппаратуры.

Объем книги не позволяет в одинаковой мере подробно осветить все разнообразие астрономических наблюдений. Поэтому, например, в ней мало уделено внимания наблюдениям переменных звезд, а такие темы, как наблюдения искусственных спутников Земли, серебристых облаков и некоторые другие, оказались вовсе не затрону-

тыми. Однако этот пробел восполняют имеющиеся практические руководства [1, 2, 9, 10, 12, 14, 17], а также специальные инструкции ВАГО.

### **§ 9. Возможности визуальных и фотографических наблюдений с телескопами**

Для учебных целей любой телескоп, предназначенный для визуальных наблюдений, можно использовать и для фотографических наблюдений. Однако тематика и результативность таких наблюдений в значительной мере будут зависеть не только от оптической мощи телескопа и степени совершенства его установки, но еще и от того, по какой оптической схеме он работает.

Наиболее пригодны для проведения как визуальных, так и фотографических наблюдений телескопы-рефлекторы, а также менисковые телескопы, поскольку они практически лишены хроматической аберрации и потому дают изображения светил в их естественных цветах.

Визуальные телескопы-рефракторы менее пригодны для фотографических наблюдений, ибо их ахроматические объективы не вполне свободны от хроматической аберрации и рассчитаны таким образом, что более или менее хорошо сводят в одну точку главным образом желто-зеленые лучи (к которым наиболее чувствителен глаз наблюдателя). Однако и с такими телескопами можно получить хорошие снимки светил, если только применять пластинки или пленки с сенсibilизированной фотоэмульсией и специально подобранные светофильтры. Хорошие результаты, в частности, дает применение фотопластинок или фотопленок с ортохроматической эмульсией, которая наиболее чувствительна к желтым лучам, а также с панхроматической эмульсией, наиболее чувствительной к красным и оранжевым лучам. Снимки Луны, например, полученные на таких фотоэмульсиях через желтый или оранжевый светофильтры средней густоты (ЖС-17 или ОС-12 соответственно) даже в школьный рефрактор, получаются при проекционной печати достаточно четкими и выразительными.

Хороших результатов можно добиться при мелкомасштабных съемках звезд, туманностей и звездных скоплений с помощью хотя бы самодельного короткофокусного астрографа со специальным светосильным фотообъективом. Из фотографических объективов отечественного производства для этих целей наиболее пригодны «Индустар-17» (диаметр объектива 100 мм, фокусное расстояние 500 мм) и «Индустар-13» (диаметр объектива 65 мм, фокусное расстояние 300 мм). С объективом «Индустар-17» при выдержке в 1 ч на высокочувствительной фотоэмульсии получаются звезды до 14-й звездной величины, а с объективом «Индустар-13» при тех же условиях — до 13-й звездной величины.

Разумеется, астрограф должен быть смонтирован на хорошей параллактической установке с часовым механизмом (или электро-

приводом) и снабжен достаточно сильным гидом. Указания по изготовлению и монтажке самодельного астрографа приводятся во многих практических руководствах [1, 7, 8, 10, 11]. Роль короткофокусного астрографа может выполнить и узкоплечный фотоаппарат типа «Зоркий», «Зенит» и т. д., который надо также смонтировать на параллактической установке.

Другим немаловажным фактором, предопределяющим область применения телескопа в визуальных и фотографических наблюдениях, является его оптическая мощь (т. е. проницающая сила), определяемая качеством и диаметром его объектива. Как для визуальных, так и для фотографических наблюдений желательно иметь телескоп возможно большей оптической мощи, т. е. с объективом возможно большего диаметра. Однако и фокусное расстояние объектива, особенно для фотографических наблюдений, также имеет немаловажное значение.

Визуальные телескопы-рефракторы средних размеров обычно имеют относительное отверстие  $1/15$  (у школьных рефракторов с диаметрами 60 и 80 мм, выпускаемых нашей промышленностью, оно равно  $1/10$ ) и позволяют с имеющимся набором окуляров получать достаточно сильные увеличения, что нередко бывает необходимым при визуальных наблюдениях, например, двойных и кратных звезд, а также поверхностей Луны и планет. При фотографических же наблюдениях с такими телескопами, равно как и с длиннофокусными рефракторами, применять столь сильные увеличения практически не имеет смысла (за исключением, может быть, только фотографирования двойных звезд), так как из-за сильного ослабления яркости изображения светила придется (даже при высокочувствительной эмульсии) значительно увеличить выдержку при съемке. А это, как правило, приведет к сильному замыванию и ухудшению качества изображения из-за турбулентности земной атмосферы.

Поэтому разумнее всего фотографические наблюдения с длиннофокусными телескопами выполнять либо в главном фокусе, либо с небольшим окулярным увеличением, так чтобы эквивалентное фокусное расстояние всей оптической системы превосходило диаметр объектива не более чем в 30—50 раз (т. е. с относительным отверстием не менее  $1/30$ — $1/50$ ). И только в отдельных случаях, например при фотографировании планет для фотометрических целей, допускается применение более сильных окулярных увеличений, уменьшающих относительное отверстие телескопа до  $1/100$  и менее (см. § 11).

И наконец, имеется еще один важный фактор, от которого очень сильно зависит продуктивность и значимость как визуальных, так, в особенности, и фотографических наблюдений с телескопом, — это степень совершенства его установки.

Менее всего удобна для проведения наблюдений азимутальная установка, вынуждающая наблюдателя для удержания светила в поле зрения телескопа, постоянно поворачивать его трубу вокруг обеих осей. Однако и на школьном рефракторе (равно как и телескопе Максудова) с азимутальным штативом можно проводить мно-

го интересных наблюдений, не только визуальных, но и фотографических.

Чтобы избежать заметного влияния суточного движения, фотографировать в телескоп с неподвижной трубой можно только такие яркие светила, как Солнце, Луну и некоторые планеты, ибо выдержки при съемке должны быть весьма малыми (подробнее об этом сказано в конце параграфа).

Несравненно больше удобств и возможностей для проведения наблюдений, и в особенности фотографических, предоставляет наблюдателю параллактическая установка телескопа. Даже на школьном рефракторе ( $D = 80$  мм) можно поставить много разнообразных и интересных наблюдений, так как модернизированная параллактическая установка его достаточно устойчива и обладает микрометрическим винтом для медленного и плавного ведения трубы телескопа вдоль суточной параллели. Нужен только небольшой (хотя бы самодельный) искатель-гид с 10—15-кратным увеличением, и тогда на этом телескопе можно будет производить не только мгновенные съемки ярких светил (Солнце, Луна, яркие планеты), но и фотографирование более слабых объектов (звездные скопления, туманности и т. д.) с выдержками до 20—30 мин и более, в зависимости от терпения и настойчивости наблюдателя.

Еще большие возможности для постановки высококачественных визуальных и фотографических наблюдений (в том числе и с научной целью) дают выпускаемые нашей промышленностью такие весьма сильные телескопы с совершенными параллактическими установками, как рефрактор типа АВР-3, рефрактор типа АВР-2 и менисковый телескоп Максудова АЗТ-7. Эти телескопы весьма дороги и предназначены в основном для астрономических обсерваторий педагогических институтов и университетов. Однако приобретение одного из них (хотя бы АВР-3) для учебной астрономической обсерватории, обслуживающей несколько школ, или для станции юных техников было бы весьма желательным. В связи с этим нелишним будет заметить, что с подобными телескопами фабричного изготовления могут успешно конкурировать и хорошо изготовленные самодельные телескопы-рефлекторы с зеркалом диаметром 150—200 мм и выше [7, 8, 11].

При организации наблюдений важно знать, какой величины получается в фокальной плоскости данного объектива изображение того или иного небесного объекта с определенными угловыми размерами. Ответ на этот вопрос дает таблица 4, при составлении которой было принято приближенно, что 1 радиан равен  $57,3^\circ$  и что любой предмет виден невооруженным глазом под тем же углом зрения, под каким видно его изображение с расстояния ясного зрения в фокальной плоскости объектива с фокусным расстоянием 250 мм.

Из этой таблицы, в частности, видно, что в фокусе школьного рефрактора ( $D = 60$  мм,  $F = 600$  мм) изображения Луны или Солнца, видимых невооруженным глазом под углом приблизительно в  $30'$ , будут выглядеть в виде небольших кружков, диаметром чуть более 5,2 мм, а при применении 5-кратного окулярного увели-

Линейные размеры (в мм) фокальных изображений объектов  
для объективов с различными фокусными расстояниями

Угловые размеры объекта	Фокусное расстояние объектива, мм					
	250	600	800	1000	2000	3000
1°	4,36	10,47	13,96	17,45	34,90	52,36
30′	2,18	5,24	6,98	8,73	17,45	26,18
15′	1,09	2,62	3,49	4,36	8,73	13,09
1′	0,07	0,17	0,23	0,29	0,58	0,87
30″	0,04	0,09	0,12	0,15	0,29	0,44
15″	0,02	0,04	0,06	0,07	0,14	0,22
5″	0,01	0,01	0,02	0,02	0,05	0,07

чения (эквивалентное фокусное расстояние 3000 мм) — около 26 мм. Точно такого же размера, следовательно, получатся и их негативные снимки, которые затем с помощью фотоувеличителя можно будет дополнительно увеличить в 4—5 раз и более, в зависимости от качества негатива. Таким образом, даже такой небольшой телескоп, каким является школьный рефрактор, позволяет получать снимки Луны или Солнца размером 10 см и более. При визуальных же наблюдениях в этот телескоп при увеличении в  $30\times$  и  $60\times$  Луна и Солнце будут представляться нам дисками поперечником соответственно около 66 мм и 134 мм, отнесенными на расстояние ясного зрения (250 мм). Действительно, при увеличении в 30 и 60 раз Луна и Солнце будут видны под углами в  $15^\circ$  и  $30^\circ$ , что на расстояниях ясного зрения (250 мм) будет соответствовать кружкам с диаметрами

$$\text{мм } 250 \text{ мм} \cdot 2 \operatorname{tg} \frac{15^\circ}{2} \approx 66 \text{ мм} \text{ и } 250 \text{ мм} \cdot 2 \operatorname{tg} \frac{30^\circ}{2} \approx 134 \text{ мм}.$$

В качестве второго примера сделаем аналогичные расчеты для Юпитера, находящегося в противостоянии, когда его угловые размеры достигают максимального значения приблизительно в  $50''$ . Пусть мы располагаем телескопом-рефлектором с фокусным расстоянием главного зеркала в 2000 мм и  $D = 200$  мм. Пользуясь таблицей 4, находим, что в главном фокусе телескопа изображение Юпитера будет иметь диаметр 0,48 мм (и такое же, следовательно, на негативном снимке). Применяя 10-кратное окулярное увеличение, мы получим на негативе изображение планеты диаметром 4,8 мм. Такой негатив уже можно подвергнуть измерениям на микрофотометре или же сделать с него отпечатки при дополнительном увеличении на фотоувеличителе в 2—3 раза, т. е. получить снимки Юпитера размером около 10—15 мм.

Чтобы выяснить, какого размера будет изображение Юпитера при визуальных наблюдениях в этот телескоп при увеличениях, например, в  $200\times$  и  $300\times$ , надо, как и в примере с Луной и Солнцем, вначале определить увеличенные угловые размеры Юпитера при

наблюдении в телескоп, а затем рассчитать диаметр соответствующего ему кружка на расстоянии ясного зрения (250 мм).

Несложные расчеты показывают, что Юпитер будет казаться чуть сплюснутым кружком (поскольку эта планета имеет заметное сжатие у полюсов) диаметром соответственно в 12 мм и 18 мм.

Аналогичные расчеты можно проделать и для любой другой планеты, зная ее угловые размеры (см. таблицу 6 в § 10).

Выше мы уже отмечали, что яркие светила можно фотографировать и с неподвижной трубой телескопа, если только выдержки при съемке столь малы, что суточное движение еще не оказывает заметного влияния на качество снимка. Какими же должны быть эти предельно допустимые выдержки в каждом конкретном случае?

Чтобы ответить на этот вопрос, необходимо учесть угловую скорость небесной сферы (15" за 1 с), разрешающую способность телескопа, разрешающую способность фотографической эмульсии и чувствительность последней.

Достаточно взглянуть на таблицу 6, где приведены угловые размеры планет, и сравнить указанные там данные с видимой угловой скоростью небесной сферы, чтобы сразу понять, что секундные выдержки не годятся. Действительно, за 1 с ряд планет сместится на несколько своих диаметров или на значительные части их. Все детали при этом пропадут или получатся сильно смазанными.

Окулярные увеличения в этом случае не помогут, ибо с увеличением изображения пропорционально возрастают видимые в окуляре скорости движения светил.

Чтобы снизить смазывание, надо уменьшить выдержку. Таблица 5 дает представление о том, как с уменьшением выдержки снижаются смещения изображений экваториальных светил в фокальных плоскостях объективов.

До каких же значений следует уменьшать выдержки?

Если за время фотографирования светило смещается на меньший угол, чем угол, разрешаемый объективом, то можно считать, что достигнут предел. Дальнейшие снижения выдержек не прояснят деталей.

С другой стороны, при фотографировании необходимо стремиться применять мелкозернистые эмульсии, позволяющие реализовать

Таблица 5

Смещения изображений экваториальных светил в фокальных плоскостях объективов (в мм)

Время, с	Фокусное расстояние объектива, мм					
	250	600	800	1000	2000	3000
1	0,02	0,04	0,06	0,07	0,14	0,22
0,5	0,01	0,02	0,03	0,04	0,07	0,11
0,1	0,002	0,004	0,006	0,007	0,014	0,022

разрешающую способность объектива или приблизиться к ней. Если разрешающая способность чувствительной эмульсии составляет 40 линий на миллиметр, т. е. на пластинке могут проявляться детали большие, чем 0,025 мм, а разрешаемые объективом детали значительно меньше по размерам, следует применять окулярные увеличения. Однако окулярные увеличения значительно понижают освещенность пластинки. Так, при пятикратном увеличении освещенность уменьшается в 25 раз.

Поэтому требования малых выдержек при фотографировании неподвижными телескопами и требования больших окулярных увеличений оказываются несовместимыми при фотографировании большинства протяженных небесных объектов. Только снимки Солнца, Луны и Венеры, сделанные неподвижным телескопом, могут оказаться высокого качества (доступного для данного инструмента). Для получения качественных фотографий остальных светил требуется гидирование трубы телескопа.

Фотографические наблюдения в сравнении с визуальными обладают такими важными преимуществами, как панорамность (одновременное фотографирование многих объектов), документальность, интегральность (способность фотоэмульсии накапливать световое воздействие от слабых объектов) и объективность. В свою очередь, при визуальных наблюдениях в моменты успокоения телескопического изображения можно увидеть на нем такие мелкие детали, которые из-за замывания изображения невозможно получить на снимках (например, при наблюдениях поверхностей планет и Луны). Поэтому разумнее всего было бы так организовать и планировать работу учебной астрономической обсерватории, чтобы визуальные и фотографические наблюдения взаимно дополняли друг друга.

## § 10. Визуальные наблюдения планет

Несмотря на огромные успехи, достигнутые за последнее время в изучении околоземного космического пространства и Солнечной системы с помощью космических аппаратов, роль наземных наблюдений планет и их спутников остается еще очень значительной. Не потеряли своего важного значения и визуальные телескопические наблюдения планет, если только они выполняются квалифицированными наблюдателями на соответствующей аппаратуре и охватывают достаточно длительные промежутки времени.

Скромные наблюдательные средства учебной астрономической обсерватории позволяют организовать интересные и весьма содержательные наблюдения прежде всего Юпитера и его спутников, а также Венеры, Сатурна и Марса. Такие наблюдения при наличии телескопа с отверстием не менее 130—150 мм и небольшого (хотя бы в 2—3 человека) коллектива опытных наблюдателей могут привести к результатам, имеющим определенную научную ценность. Что же касается остальных планет Солнечной системы, то их наблюдения (исключая, конечно, Плутон) менее интересны и могут иметь только познавательную ценность для самих учащихся.

В приводимой ниже таблице 6 содержатся очень нужные для наблюдателя сведения о видимых угловых размерах и звездных величинах планет.

Т а б л и ц а 6

Планеты	Угловой экваториальный диаметр		Блеск (в зв. вел.)	
	наибольший	наименьший	наибольший	наименьший
Меркурий	12,9"	4,6"	— 1,8 <sup>m</sup>	+ 3,5 <sup>m</sup>
Венера	65,8	9,7	— 4,4	— 3,0
Марс	25,5	3,5	— 2,8	+ 2,0
Юпитер	50,1	30,5	— 2,5	— 1,2
Сатурн	20,7	14,4	— 0,4	+ 1,5
Уран	4,0	3,3	+ 5,4	+ 6,0
Нептун	2,5	2,2	+ 7,6	+ 7,8
Плутон	<0,17		+14,0	+15,2

Пользуясь данными этой таблицы, а также таблицы 4, приведенной в § 9, и произведя необходимые выкладки, мы легко найдем, что, например, даже при наиболее благоприятных условиях для наблюдений с помощью школьного рефрактора ( $D = 80$  мм) с увеличением  $80^{\times}$  Уран будет виден в виде маленького кружка диаметром 0,4 мм, рассматриваемого с расстояния ясного зрения, а Нептун — вдвое меньше. В несколько раз большего размера будет виден в этот телескоп Меркурий (вблизи нижнего соединения, в виде серпика). В этот же телескоп и с тем же увеличением Юпитер в противостоянии будет казаться заметно сплюснутым диском размером около 5 мм (с расстояния ясного зрения) с характерными для него полосами. Примерно такого же размера будет наблюдаться и серп Венеры (вблизи ее нижнего соединения). И только диски Сатурна и Марса (в противостоянии) будут примерно вдвое меньше.

Все же следует признать, что школьный рефрактор ( $D = 80$  мм) мало пригоден для серьезных наблюдений планет. Сколько-нибудь ценные результаты в планетной астрономии можно надеяться получить по крайней мере телескопом диаметром 100—130 мм (см. § 9), полезные предельные увеличения которого достигают 200—300<sup>x</sup>.

Большое значение имеет и выбор времени для проведения наблюдений. Необходимые сведения по этому вопросу можно получить из «Школьного астрономического календаря» [15] или из переменной части «Астрономического календаря ВАГО» на данный год [14]. При этом следует иметь в виду, что наиболее благоприятным временем для наблюдений Юпитера, Сатурна и Марса в наших умеренных широтах являются осенние, весенние и, в особенности, зимние противостояния, когда любая из этих планет находится до-

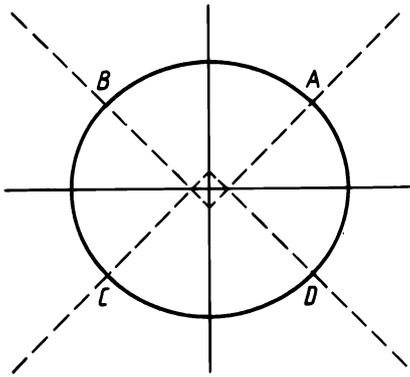


Рис. 29. Вычерчивание эллиптического диска.

статочно высоко над горизонтом и, следовательно, влияние атмосферных помех сказывается не так сильно на качестве ее телескопических изображений.

Что же касается Венеры, то ее удобнее всего наблюдать в период между наибольшей элонгацией и нижним соединением.

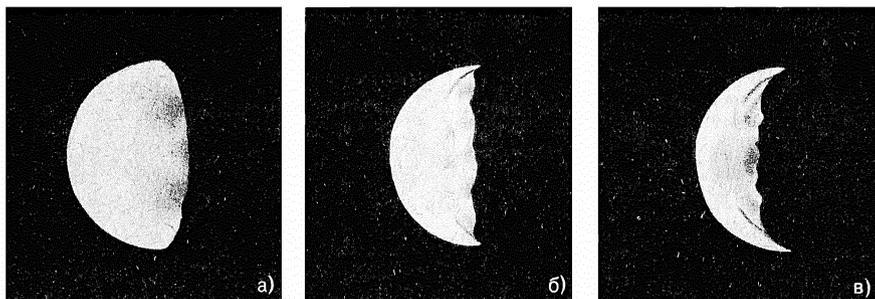
Одной из основных задач визуальных наблюдений планет должно быть периодическое картографирование их видимых поверхностей с целью изучения протекающих на них глобальных процессов, явлений и претерпеваемых ими изменений. Поэтому

такие наблюдения, сводящиеся обычно к планомерным систематическим зарисовкам внешнего вида планеты с необходимыми пометками и пояснительными записями, должны охватывать достаточно длительный промежуток времени и быть однородными.

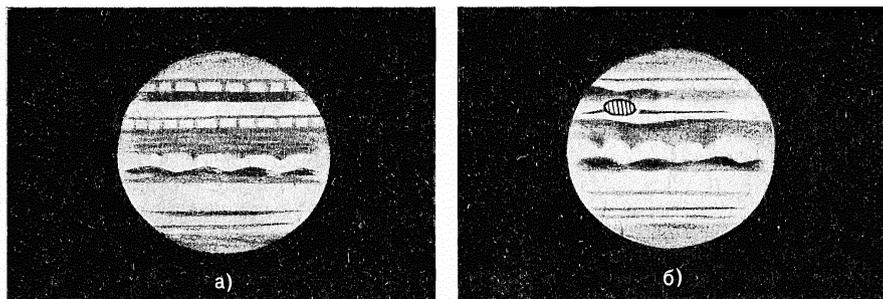
Лучше всего перед началом наблюдения заготовить большое количество листов белой плотной бумаги (например, из альбома для рисования) определенного формата (можно рекомендовать  $150 \times 200$  мм) и на каждом из них заранее нарисовать контур будущего рисунка планеты: для Венеры и Марса окружность диаметром 50 мм, а для Юпитера, имеющего заметное сжатие у полюсов, овал размером  $47 \times 50$  мм. Это позволит впоследствии при обработке наблюдений весьма просто определять с необходимой точностью планетографические координаты характерных деталей поверхностей планет путем наложения на их рисунки специальных координатных сеток (на кальке), имеющих аналогичные размеры и форму [1, 2, 11]. Контур рисунков планет удобно вычерчивать, обводя остро отточенным карандашом специально изготовленные, хотя бы из картона, шаблоны. Очевидно, изготовление круглого шаблона не представляет никаких затруднений, а овальный шаблон для Юпитера можно изготовить с помощью циркуля и масштабной линейки. Для этого надо на подходящем куске картона провести две взаимно перпендикулярные оси и от точки их пересечения отступить в каждую сторону на 2,5 мм. Продолжая затем, как показано на рисунке 29, стороны маленького квадрата, мы тем самым получим границы для дуг  $AD$  и  $BC$ ,  $CD$  и  $AB$ . Первые две из них проводятся радиусом 22,5 мм из ближних вершин квадрата, расположенных на горизонтальной оси, а другие две радиусом 26 мм — из двух дальних его вершин с сопряжениями в точках  $A$ ,  $B$ ,  $C$  и  $D$ . Для получения шаблона остается вырезать фигуру, ограниченную построенным овалом. Поскольку сжатие Сатурна у полюсов больше, чем сжатие у Юпитера, для его рисунков нужен овальный шаблон размером  $45 \times 50$  мм.

Сама техника визуальных наблюдений планет в телескоп требует, кроме аккуратности и терпения, определенной тренировки и некоторого искусства. Обычно начинающий наблюдатель, рассматривая планету даже в сильный телескоп, на ее диске почти ничего не видит. Объясняется это и отсутствием тренированности, и «волнением» телескопического изображения из-за неспокойствия атмосферы. Совсем не обязательно быть хорошим художником, но нужно основательно потренироваться, прежде чем приобретется навык в короткие мгновения успокоения телескопического изображения быстро улавливать конфигурацию и расположение деталей на видимом планетном диске и затем все это так же быстро и правильно воспроизводить на рисунке. Только постоянные тренировки у телескопа могут помочь приобретению и дальнейшему совершенствованию этого крайне необходимого для наблюдателя навыка. Примеры зарисовок планет в телескоп приведены на рисунках 30, 31, 32 и 33.

На рисунке 30 показаны три зарисовки Венеры при наблюдении в телескоп-рефлектор диаметром 165 мм при разных ее фазах. Вблизи терминатора видны отдельные темные пятна. По мере уменьшения фазы их количество и контрастность возрастают.



**Рис. 30. Рисунки Венеры по наблюдениям в рефлектор ( $D = 165$  мм):**  
*a* — 16.II.1964,  $13^h 10^m$  м. вр.; *б* — 13.IV.1964,  $15^h 0^m$  м. вр.; *в* — 13.V.1964,  $15^h 25^m$  м. вр.,  $270\times$  (ориг.).



**Рис. 31. Рисунки Юпитера по наблюдениям в рефлектор ( $D = 165$  мм):**  
*a* — 23.IX.1964,  $21^h 10^m$  м. вр.; *б* — 23.IX.1964,  $20^h 15^m$  м. вр.,  $190\times$  и  $285\times$  (ориг.).

На рисунке 30, б хорошо видны неровности терминатора и светлые «рога» у полюсов. На рисунке 30, в, кроме того, заметны еще два ярких белых пятна.

На рисунке 31 приведены две зарисовки Юпитера, сделанные при очень хорошем качестве изображения. На обоих рисунках отчетливо видны отдельные темные полосы, из которых наиболее контрастно выступают экваториальные. На рисунке 31, а в южном

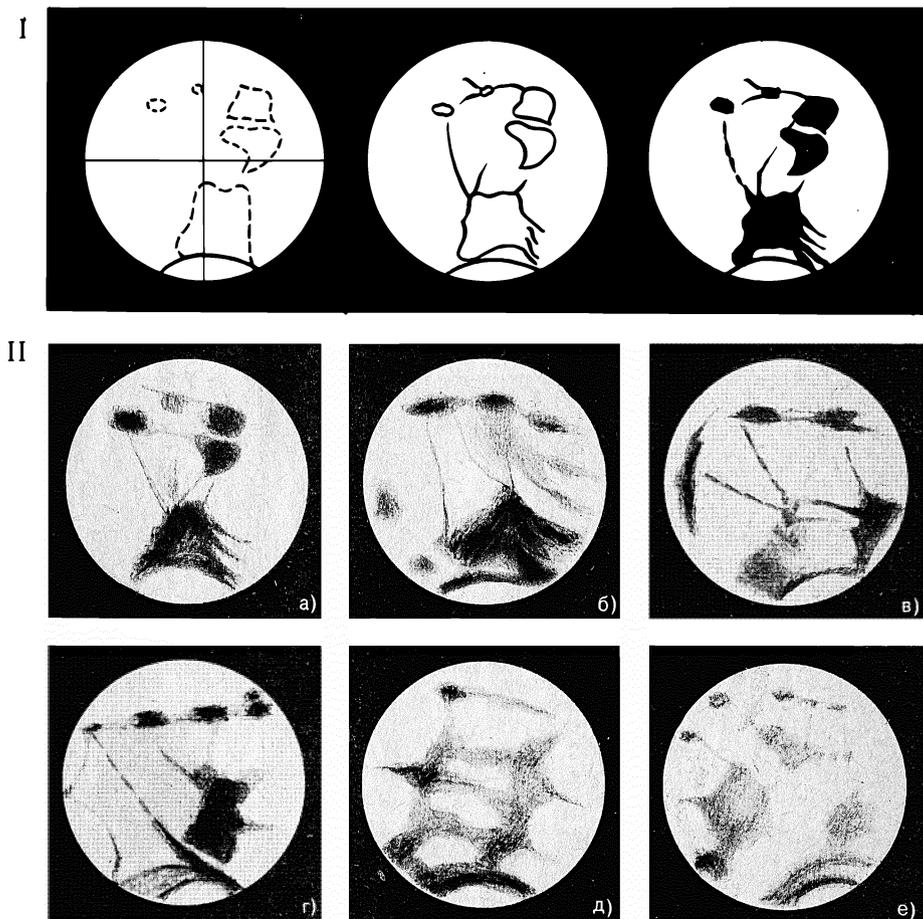


Рис. 32. I — последовательные фазы зарисовки Марса. II — рисунки Марса, полученные в марте-апреле 1965 г. при хорошем качестве изображения на рефлекторе ( $D = 165$  мм,  $285\times$ ):

а — 8.III,  $L_0 = 257^\circ$  (Syrtis Major и Boreosyrtis), оранжевый светофильтр; б — 15.IV,  $L_0 = 255^\circ$  (область Syrtis Major закрыта серой вуалью), оранжевый светофильтр; в — 7.IV,  $L_0 = 345^\circ$  (области Arabia Moab, Cydonia, Ortygia), зеленый светофильтр; г — 6.IV,  $L_0 = 13^\circ$  (Mare Acidalium и область Moab), зеленый светофильтр; д — 18.III,  $L_0 = 124^\circ$  (область Amazonis), зеленый светофильтр; е — 22.VI,  $L_0 = 122^\circ$  (та же область), желтый светофильтр (ориг.).

полушарии хорошо заметно множество слабых поперечных перемычек, а на рисунке 31, б — Красное Пятно и Южное Тропическое Возмущение.

На рисунке 32, I показаны последовательные фазы зарисовки Марса: а — диск планеты разбивается на части и фиксируются положения основных деталей, б — уточняются контуры основных деталей и наносятся остальные (более слабые) детали, в — производится растушевка деталей в соответствии с их интенсивностью.

На рисунке 32, II представлены шесть законченных зарисовок Марса, которые были выполнены во время зимне-весеннего противостояния с применением разных светофильтров. Пояснения помещены под рисунками.

На рисунке 33 приведены зарисовки Сатурна в период «исчезновения» его колец. При этом отмечены положения отдельных ярких деталей в кольцах и их смещения со временем.

Нужно научиться также достаточно уверенно производить глазомерные **оценки интенсивности** наблюдаемых деталей. Обычно эти оценки производят по семибалльной шкале в условных единицах, и их достоверность растет вместе с опытом и тренированностью наблюдателя. В частности, при наблюдениях Юпитера баллом 0 оценивается интенсивность самой светлой экваториальной зоны, а баллом 6 — интенсивность черной тени на поверхности планеты от ее спутника. Эту же шкалу в принципе можно использовать и для оценки интенсивностей деталей на видимых поверхностях других планет. Однако результаты глазомерных оценок интенсивностей деталей на дисках планет, как правило, обременены более или менее значительными субъективными ошибками, проистекающими от недостаточно полного определения самой условной шкалы. Поэтому крайне желательно при визуальном фотометрировании планет использовать либо простой по конструкции ступенчатый клиновой фотометр, либо специальный поверхностный фотометр. Изготовле-

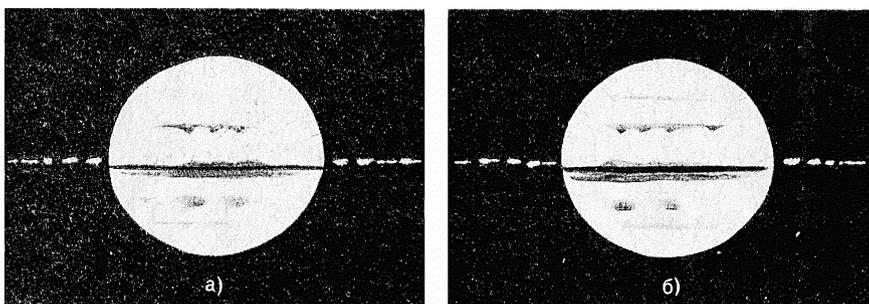


Рис. 33. Рисунки Сатурна в период «исчезновения» его колец по наблюдениям в рефлектор ( $D = 240$  мм):

а — 22.X.1966,  $17^{\circ}30'$  м. вр., б — 22.X.1966,  $18^{\circ}15'$  м. вр. Заметно перемещение ярких участков кольца вдоль его ребра (ориг.).

ние этих фотометров описано, в частности, в «Школьной астрономической обсерватории» [11].

Большую пользу в изучении поверхностей планет дает **применение светофильтров**. Изучение изменения контрастности деталей на планетном диске при замене одних светофильтров другими может помочь составить правильное представление об их цветности. Кроме того, светофильтры очень полезны при выявлении отдельных слабоконтрастных деталей. Так, например, оранжевый светофильтр усиливает контрастность марсианских «морей» и «каналов», а зеленый светофильтр помогает увереннее следить за изменением контура марсианских полярных шапок.

Наблюдения цветности деталей на планетах удобнее всего производить на телескопе-апохромате или телескопе-рефлекторе, передающих цвета объектов почти без искажения. Наблюдаемую цветность деталей можно выражать словесным описанием. Еще лучше использовать для этой цели какую-нибудь **количественную цветовую шкалу**, например **шкалу Остгофа**, в которой принимается:

0 — белый	6 — красновато-желтый
1 — желтовато-белый	7 — оранжевый
2 — беловато-желтый	8 — желтовато-красный
3 — светло-желтый	9 — красный
4 — желтый	10 — темно-красный
5 — темно-желтый	

Для наблюдения за изменением цветности Красного Пятна на Юпитере мы применяли специально разработанную для этой цели следующую восьмибалльную цветовую шкалу:

1 — светло-розовый	5 — светло-красный
2 — розовый	6 — красный
3 — темно-розовый	7 — темно-красный
4 — фиолетово-красный	8 — красно-коричневый

Оценка цветности наблюдаемых на планетных дисках деталей в количественной цветовой шкале имеет несомненное преимущество перед страдающим известной расплывчатостью словесным описанием, позволяя вместе с тем при обработке наблюдений представить полученные результаты в виде лаконичной таблицы или графика (рис. 41).

Особого внимания заслуживает **детальное фотометрирование** (фотометрирование отдельных крупных деталей, участков, зон) поверхностей планет с помощью электрофотометра. Для таких наблюдений нужен телескоп с отверстием не менее 200 мм на хорошей параллактической установке. Лучше всего для этой цели использовать электрофотометр с фотоумножителем, обладающий высокой чувствительностью. Однако для ярких планет (Венера, Юпитер) до некоторой степени подойдет и самодельный электрофотометр с фотоэлементом и усилителем [11].

Каждое отдельное фотометрическое наблюдение нужно выпол-

нять по схеме «фон — деталь — фон», используя в качестве фона либо свободный участок неба на некотором стандартном расстоянии от диска планеты, либо некоторую область самого диска планеты стабильной яркости. В случае Юпитера за фон можно принять, например, светлую экваториальную зону. При наблюдениях необходимо применять окулярное увеличение и ставить в электрофотометре такую диафрагму, чтобы ею вырезался нужный для фотометрирования участок планетного диска. Разумеется, такое фотометрирование является в принципе относительным. Тем не менее полученные результаты, особенно если применять светофильтры с известными полосами пропускания, могут оказаться весьма интересными и ценными.

С помощью электрофотометра очень удобно производить и **интегральную фотометрию** планет. Для таких наблюдений вполне подойдет даже простейший электрофотометр с фотоэлементом и усилителем. Наблюдения проводятся в главном фокусе телескопа. Здесь также с успехом могут быть использованы различные светофильтры. В качестве замечания отметим, что в простейшем варианте интегральную фотометрию ярких планет можно производить по методу «перевернутого бинокля» (или небольшого телескопа) с помощью глазомерных оценок блеска, применяемых при визуальных наблюдениях переменных звезд.

Мы совершенно не останавливаемся здесь на таких специальных астрофизических методах исследования планет, как спектральный анализ, спектрофотометрия, поляриметрия и др., полагая, что учебная астрономическая обсерватория не располагает необходимым для этой цели оборудованием.

Обычно, если позволяет погода, за один вечер (или ночь) удается сделать несколько наблюдений той или иной планеты. Однако следует иметь в виду, что длительность каждого отдельного наблюдения и интервалы между ними существенно зависят от периода вращения планеты вокруг своей оси. И если, например, интервалы между отдельными наблюдениями Марса могут достигать одного часа (с длительностью отдельного наблюдения до 25—30 мин), то наблюдения Юпитера и Сатурна, вращающихся вокруг своей оси значительно быстрее, чем Марс, желательно повторять примерно каждые полчаса, стремясь к тому, чтобы на одно наблюдение уходило не более 10—15 мин. За это время непосредственно у телескопа надо успеть зарисовать возможно более точно внешний вид наблюдаемой планеты, определить и зарегистрировать характерные признаки отдельных образований и деталей ее видимой поверхности (интенсивность, цветность, контрастность и т. д.), а также сделать дополнительные записи об обстоятельствах проведения наблюдения (дата и время наблюдения, качество изображения, отверстие и увеличение телескопа, использованные светофильтры и др.). Эти записи можно делать в специальном журнале под тем же номером, что и номер рисунка, или же на самом листе с рисунком (рис. 34). Для ориентировки рисунков Марса на них стрелками надо обязательно указывать направление суточной параллели.

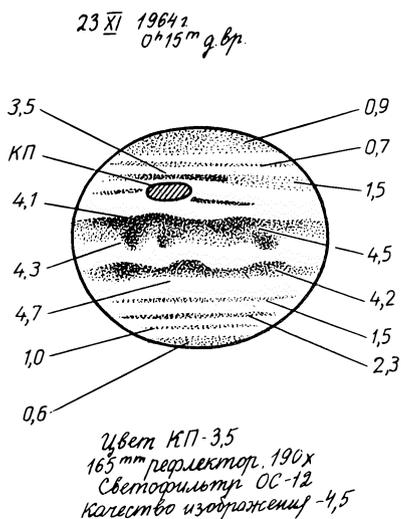


Рис. 34. Пример оформления записи визуальных наблюдений Юпитера.

ные измерения усреднялись по небольшим группам рисунков, охватывавшим периоды в 20—30 сут.

На рисунке 36 представлена карта Юпитера на 19.IX.1964 г., составленная на основе измерения на рисунках координат отдельных деталей, наблюдавшихся 3—4 раза.

На рисунках 37 и 38 показаны карты Марса и Сатурна, составленные таким же образом, как и карта Юпитера.

На рисунках 39 и 40 приведены усредненные данные о движе-

Приступив к наблюдениям какой-либо планеты, надо затем регулярно продолжать их в течение всего периода ее видимости, используя по возможности каждый ясный вечер. В результате постепенно накопится богатый наблюдательный материал, на основании которого в дальнейшем можно будет сделать интересные выводы о различных изменениях и процессах, протекающих на поверхности планеты.

Так, например, на рисунке 35 приведена диаграмма движения полос Юпитера за период с 1.IX.1964 г. по 17.I.1965 г. Она сделана на основе измерений широт краев полос при наложении на зарисовки прозрачной координатной сетки [10]. Для повышения точности результатов отдельные

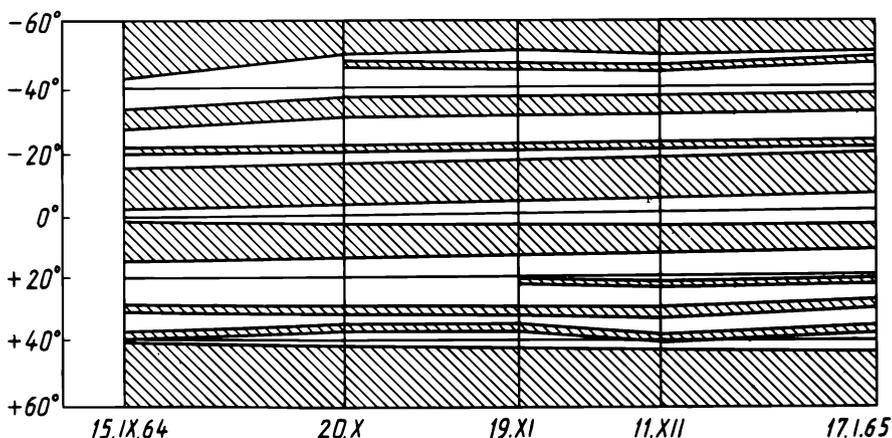


Рис. 35. Диаграмма движения полос Юпитера за период с 15.IV.1964 по 17.I.1965 (ориг.).

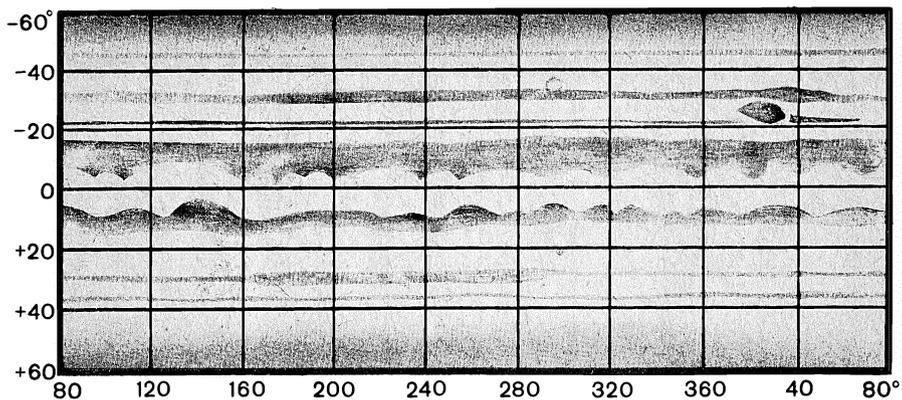


Рис. 36. Карта Юпитера на 19.XI.1964 составлена по наблюдениям в рефлектор ( $D = 165$  мм) (ориг.).

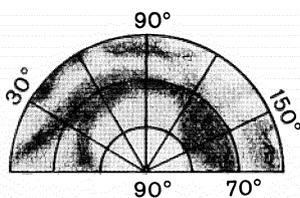
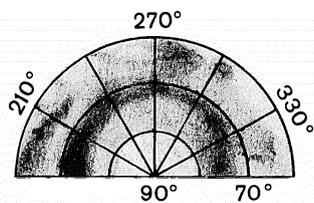
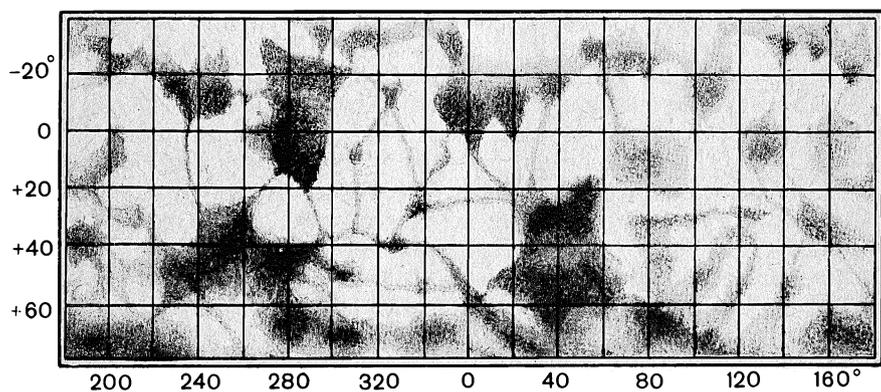


Рис. 37. Карта Марса по наблюдениям в рефлектор ( $D = 165$  мм) в марте-апреле 1965 г. (ориг.).

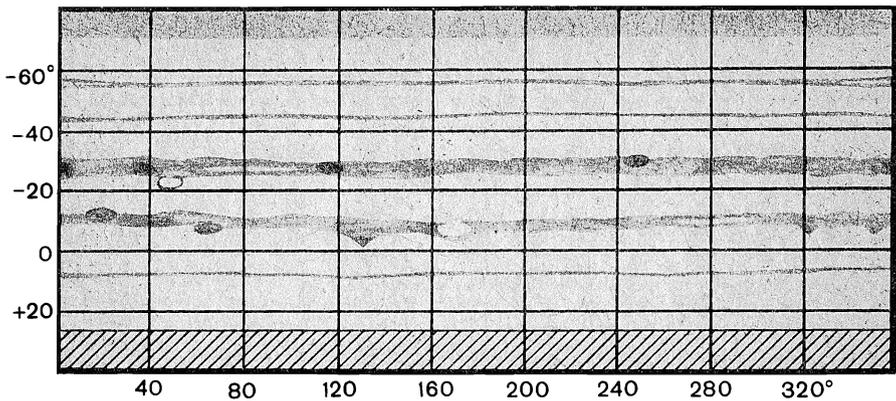


Рис. 38. Карта Сатурна на 9.III.1974 по наблюдениям в рефлектор ( $D = 240$  мм) (ориг.).

нии Красного Пятна по долготе и широте, а также изменения его интенсивности.

**Тематика наблюдений планет** весьма разнообразна и интересна. Помимо отмеченных выше, можно рекомендовать еще и такие важные темы для наблюдения:

1. Наблюдения Красного Пятна на Юпитере, которое обладает собственным движением (рис. 39) и изменяет с течением времени цвет и интенсивность (рис. 40). Было бы очень важно подметить определенную закономерность в этих изменениях.

2. Поиски долговременных (долгоживущих) образований и активных областей на видимой поверхности Юпитера и Сатурна. Помимо знаменитого Красного Пятна и Южного Тропического Возмущения, могут быть и другие долгоживущие детали на поверхности Юпитера. Имеются слабые детали и на поверхности Сатурна. Длительные наблюдения формы и размеров этих деталей представляют интерес для изучения атмосферы Сатурна.

3. Изучение изменений в положении, размерах и интенсивности полос на поверхности Юпитера и Сатурна (рис. 35, 36, 38).

4. Определение и уточнение периода вращения различных деталей на поверхности Юпитера и Сатурна.

5. Изучение сезонных изменений на Марсе (скорость таяния полярной шапки, яркость, цвет ее и других характерных образований), а также определение расположения белых и пылевых облаков на его поверхности.

6. Наблюдения фаз Венеры с целью установления момента дихотомии и проверки «эффекта Шретера» (отклонение во времени наблюдаемой фазы от теоретической, рис. 41), а также наблюдения пепельного света Венеры и ее облачного покрова, особенно вблизи терминатора (рис. 30).

7. Фотометрические наблюдения отдельных спутников Юпитера и Сатурна и их покрытий этими планетами.

Что же касается обработки наблюдений планет, то лучше всего, по крайней мере на первых порах, установить связь с отделением планет и Луны Московского отделения ВАГО или же с отделом «Луна и планеты» юношеской секции отделения ВАГО в г. Алма-Ате, куда и отсылать свои наблюдения для обработки. Там же можно получить подробные инструкции для наблюдений, задания и нужные указания. В дальнейшем, по мере приобретения опыта, можно организовать и самостоятельную обработку наблюдений. Необходимые указания для этого можно получить в тех же отделениях ВАГО и в специальной литературе [10]. Краткие указания по этому вопросу даны и в приложении, помещенном в конце этой книги.

### § 11. Фотографические наблюдения планет

Положительной стороной фотографического метода выполнения астрономических наблюдений является, прежде всего, его объективность. Этим фотографический метод выгодно отличается от визуального метода. И если бы не атмосферные помехи, то фотографические наблюдения планет давно бы уже полностью вытеснили визуальные наблюдения. Однако в действительности постоянная турбулентность воздушных слоев вызывает ощутимое дрожание телескопического изображения и даже при сравнительно небольших выдержках, измеряемых нередко долями секунды, приводит к столь значительному замыванию картины, что на снимках планет, как правило, обнаружи-

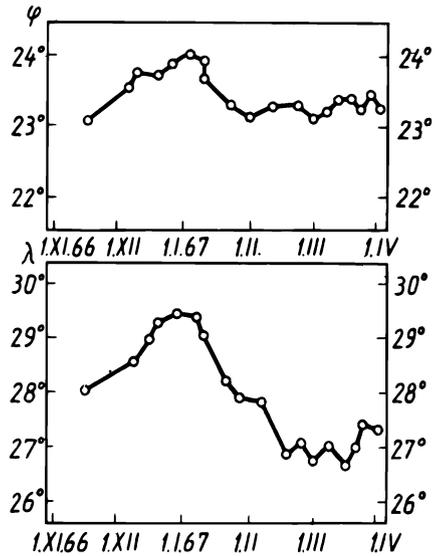


Рис. 39. Собственное движение Красного Пятна на Юпитере за период с 16.XI.1966 по 31.III.1967 по наблюдениям в рефлектор ( $D = 240$  мм) (ориг.).

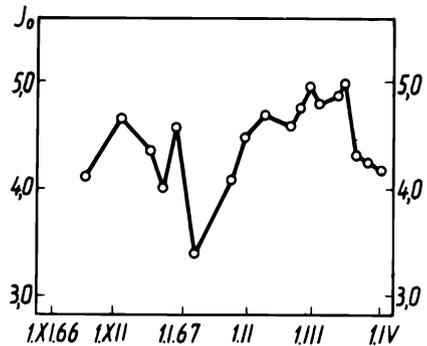


Рис. 40. Изменение интенсивности  $I_0$  Красного Пятна на Юпитере за период с 16.XI.1966 по 31.III.1967 по наблюдениям в рефлектор ( $D = 240$  мм) (ориг.).

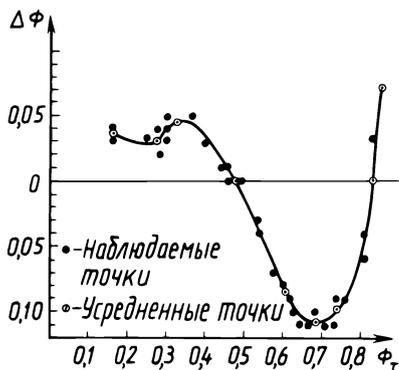


Рис. 41. График отклонения  $\Delta\phi$  теоретической фазы  $\phi_T$  Венеры от фазы по наблюдениям в 1964 г. (ориг.).

метра. При этом ценность таких снимков значительно возрастет, если при фотографировании планет применять различные светофильтры с заранее определенными (в лабораторных условиях) полосами пропускания.

В § 9 мы уже выяснили вопрос о масштабе снимка, полученного в главном фокусе телескопа, объектив которого имеет определенное фокусное расстояние (см. табл. 4). Для объективов с иными фокусными расстояниями  $F$  (в мм) этот масштаб определяется соотношением:

$$l' \approx \frac{F}{3438} = 0,0002909 F \text{ мм,}$$

$$1^\circ \approx \frac{F}{57,30} = 0,01745 F \text{ мм.}$$

Учитывая это и используя данные о видимых угловых размерах планет, приведенные в таблице 6 (§ 10), нетрудно рассчитать, что, например, при фотографировании в главном фокусе телескопа, объ-

вается значительно меньше подробностей, чем при обычных визуальных наблюдениях.

Именно по этой причине фотографические наблюдения планет малопригодны для целей картографии (за исключением отдельных удачных снимков, получаемых в крупные телескопы при исключительно благоприятных атмосферных условиях, рис. 42). Тем не менее удачные снимки планет, сделанные в телескоп средней силы (с отверстием от 130 до 200 мм), могут оказаться ценными в научном отношении, особенно для детального фотометрирования с помощью микрофото-

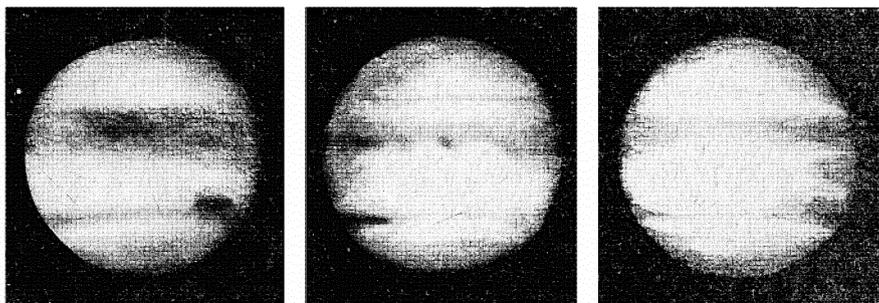


Рис. 42. Снимки Юпитера в крупный телескоп.

ектив которого имеет фокусное расстояние 2 м, даже в противостоянии изображение Юпитера на снимке будет размером всего лишь 0,48 мм, а Марса и Сатурна — 0,24 и 0,20 мм соответственно. Этого явно недостаточно даже для проекционной печати, не говоря уже об обработке снимков на микрофотометре, где требуются негативные снимки планет размером не менее 3—4 мм.

Поэтому фотографировать планеты в небольшие телескопы нужно непременно с окулярным увеличением  $n$ , которое определяется по формуле:

$$n = \frac{l}{f} - 1,$$

где  $f$  — фокусное расстояние окуляра, а  $l$  — его расстояние от пластинки (или пленки) при фотографировании<sup>1</sup>. Однако при этом нельзя злоупотреблять слишком большими увеличениями, применение которых значительно ослабит яркость изображения, вынудит увеличить выдержку при фотографировании, а значит, и уменьшит вероятность получения качественного снимка.

Как показывает опыт [10, 11], хорошие результаты могут быть получены при фотографировании планет в телескоп с относительным отверстием от 1/30 до 1/120. Поэтому, например, с телескопом, объектив которого имеет светосилу 1/10, может быть применено дополнительное окулярное увеличение от 3<sup>х</sup> до 12<sup>х</sup> (а при светосиле 1/15 соответственно от 2<sup>х</sup> до 8<sup>х</sup>). При этом хорошие четкие снимки из-за волнения воздуха будут получаться тем реже, чем больше было применено окулярное увеличение (и, значит, чем больше были выдержки при съемке).

В условиях учебной астрономической обсерватории фотографирование планет удобнее всего производить с помощью корпуса зеркального узкоплечного фотоаппарата (типа «Зенит»), присоединенного к окулярной части телескопа [10, 11]. С одной стороны, это дает возможность видеть телескопическое изображение планеты непосредственно перед съемкой (а значит, выбирать для нее моменты наибольшего успокоения изображения), а с другой стороны, позволяет легко и быстро, в случае надобности, произвести целую серию съемок. Последнее особенно важно, так как в действительности обычно приходится каждый снимок дублировать по нескольку раз, а впоследствии при обработке наблюдений из серии однотипных негативов (кадров) выбирать наилучший по качеству (рис. 43).

Из-за некоторой деформации при обработке и хранении пленочные негативы нежелательны для точных микрометрических измерений (для этой цели предпочтительнее стеклянные пластинки), но для фотометрических измерений, ради которых в основном и производятся фотографические наблюдения планет, они вполне пригодны.

<sup>1</sup> Приведенная формула легко получается из хорошо известных соотношений ([10] с. 174):

$$\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} = \frac{1}{f}; \quad n = \frac{r_2}{r_1},$$

где надо принять  $l = r_2$  и исключить  $r_1$ .

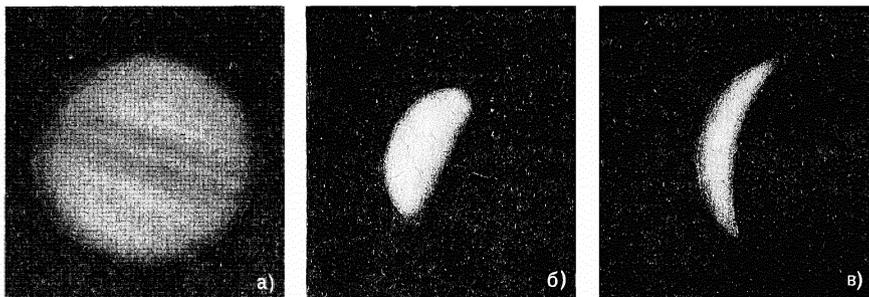


Рис. 43. Снимки Юпитера (а) и Венеры (б и в) в самодельный рефлектор ( $D = 165$  мм) с окулярным увеличением:

а — 27.X.1963,  $20^{\circ}25^{\text{M}}$  д. вр.; б — 13.IV.1964,  $20^{\circ}15^{\text{M}}$  д. вр.; в — 13.V.1964,  $20^{\circ}45^{\text{M}}$  д. вр.

Казалось бы, для фотографирования планет выгоднее всего применять пленки наивысшей чувствительности, чтобы тем самым сделать выдержку как можно меньше. Однако в действительности это не совсем так, потому что вместе с чувствительностью фотопленки растет и ее зернистость. Разумнее всего в зависимости от размеров фотографируемого изображения планеты применять пленки чувствительностью от 90 до 350 единиц ГОСТ типа «Изохром» или «Изопанхром», контрастные. Можно рекомендовать следующие предельные значения чувствительности пленок в зависимости от диаметра изображения планеты [10]:

Таблица 7

Чувствительность (ГОСТ)	90	130	180	250	350
Диаметр изображения, мм	1,5	2	3	4	6

Подбор выдержек лучше всего осуществить опытным путем, делая серию снимков со все возрастающими выдержками (лучше в геометрической прогрессии) и останавливаясь на той, при которой негативное изображение планеты имеет наибольшую контрастность деталей. В частности, при усилении телескопической системы (с использованием окулярного увеличения) 1/30 можно ориентировочно рекомендовать для разных планет и пленок различной чувствительности следующие выдержки (в секундах):

Таблица 8

Планеты	Чувствительность пленки				
	90	130	180	250	350
Венера	0,12 с	0,08 с	0,06 с	0,04 с	0,03 с
Марс	1,2	0,8	0,6	0,4	0,3
Юпитер	4,8	3,2	2,4	1,6	1,2
Сатурн	18	12	9	6	4

При иной светосиле телескопической системы требуемую выдержку можно легко рассчитать, учитывая, что она изменяется обратно пропорционально квадрату светосилы. Например, при светосиле 1/15 все выдержки (в сравнении с указанными в таблице) уменьшатся в 4 раза.

При съемках со светофильтрами в зависимости от их плотности выдержки несколько возрастают и подбираются опытным путем.

Качество снимков планет во многом зависит от точной фокусировки фотографируемого изображения. При употреблении корпуса зеркального фотоаппарата она легко осуществляется по матовому стеклу, которое вместе с получаемым на нем изображением планеты непосредственно перед самым моментом съемки рассматривается с помощью зеркальной системы фотоаппарата. При употреблении незеркальных камер фокусировка осуществляется путем выполнения серии пробных снимков с постепенным изменением расстояния камеры от окуляра телескопа.

Съемки планет можно производить и на стеклянные пластинки. Однако при этом необходимо предусмотреть возможность получения на одной пластинке нескольких последовательных снимков (что достигается путем прикрытия пластинки в кассете непрозрачной ширмочкой с небольшим прямоугольным вырезом у кромки).

Если фотографирование планет производится в фотометрических целях, то несколько кадров пленки надо оставить незаснятыми, чтобы на них затем при калибровке сфотографировать изображение светящихся отверстий трубчатого фотометра или ступенчатого клинового ослабителя. (Изготовление трубчатого фотометра и обращение с ним изложены в книге «Школьная астрономическая обсерватория» [11]; в ней же даны и указания к изготовлению простейшего микрофотометра.)

При калибровке пленки с помощью трубчатого фотометра необходимо принять те же выдержки и пользоваться теми же светофильтрами, что и при фотографировании планет.

Все обстоятельства калибровки пленки, как и обстоятельства выполнения каждого снимка (чувствительность пленки по ГОСТу и ее тип, параметры телескопа и светосила телескопической системы, светофильтр, время выдержки, дата и время съемки), должны аккуратно под соответствующими порядковыми номерами регистрироваться в специальном журнале.

В заключение заметим, что если фотографирование Сатурна, Марса и даже Венеры в небольшие телескопы может преследовать в основном только учебные цели, то удачные снимки Юпитера, полученные хотя бы на телескопе с диаметром объектива 130—150 мм, могут представить и определенную научную ценность. Снимки могут быть использованы, например, для изучения распределения яркости вдоль центрального меридиана и экватора, для измерения широты полос и их интенсивности, а также для определения координат Красного Пятна и других характерных образований облачного покрова этой планеты.

## § 12. Визуальные наблюдения Луны

Несмотря на громадные успехи, достигнутые современной внеатмосферной астрономией, наземные телескопические наблюдения Луны до сих пор не утратили своего научного значения, ибо такие наблюдения, не требуя для своего выполнения почти никаких дополнительных затрат, позволяют обозреть сразу значительные участки лунной поверхности. Остановимся кратко на желательной тематике визуальных наблюдений Луны.

**1. Детальное изучение отдельных участков лунной поверхности.** Хотя общая топография Луны давно уже изучена, изданы многочисленные карты и атласы лунной поверхности, а также каталоги селенографических координат различных пунктов и высот многих лунных гор, детальная топография многих лунных образований еще далека от своего завершения.

В связи с этим представляют несомненный интерес квалифицированные визуальные наблюдения с зарисовками (при разных условиях освещения) целого ряда локальных участков лунной поверхности: отдельных кратеров, горных вершин, трещин и т. д. Такие наблюдения необходимо многократно повторять (желательно при одних и тех же фазах) с целью обнаружения возможных изменений на лунной поверхности. А определенные указания на такие изменения (вплоть до вулканической деятельности на Луне) имеются от многих прежних и весьма известных наблюдателей (В. Гершель, М. Маджини, В. Г. Пикеринг, Н. П. Барабашев и др.). В частности, желательны систематические наблюдения кратеров Мессье, Посидоний, Эратосфен, Аристарх, Манилий, Менелай, Альфонс, Линней и Платон, где наиболее вероятно подметить те или иные изменения (появление или исчезновение темных и светлых пятен, интенсивное свечение и т. д.). Особенно желательны регулярные наблюдения цирка Аристарх, где в 1958 г. советским астрономом Н. А. Козыревым были обнаружены следы вулканической деятельности.

Наконец, интересны систематические наблюдения окраски различных мест лунной поверхности, особенно лунных «морей», так как имеются предположения об изменении цветности отдельных их участков (Море Дождей, Гнилое Болото и др.).

Для детального изучения лунной поверхности нужен телескоп с отверстием не менее 100—130 мм и лучше всего рефлектор. Применение светофильтров здесь очень желательно. Кроме того, для ослабления, порой, слишком яркого блеска изображения Луны будут очень полезны нейтральные бленды.

**2. Фотометрические наблюдения лунной поверхности.** Такие наблюдения удобнее всего производить параллельно с изучением окраски различных ее участков, так как некоторыми наблюдателями неоднократно подмечалось изменение как яркости, так и окраски отдельных лунных образований. В частности, представляют интерес фотометрические и колориметрические наблюдения кратеров

Архимед, Аристарх, Платон, Птолемей и Гримальди, а также лучевых систем кратеров Тихо, Кеплер, Коперник и Аристарх.

Яркость различных участков лунной поверхности можно оценивать глазомерным способом в условной 11-балльной шкале, в которой балл 10 соответствует самой яркой точке (центральная горка в кратере Аристарх), а балл 0 — черной тени на поверхности Луны. Приведем (с некоторыми сокращениями) соответствующую шкалу баллов яркости, рекомендованную известным специалистом в области планетной астрономии проф. Н. Н. Сытинской:

Балл яркости	Объекты
0	Черная тень на поверхности Луны
1	Дно Гримальди, Риггиоли
2	Дно Юлия Цезаря, Крюгера, Эндимиона
3	Дно Тарунция, Плиния, Флэмстеда
4	Дно Птолемея, Манилия, Герике
5	Окрестности Архимеда, Кеплера; вал Араго
6	Вал Канта, Бесселя, Местинга и Флэмстеда
7	Вал Кеплера, Аридея
8	Вал Коперника и Боде
9	Вал Мерсеня и Дионисия
10	Центральная горка Аристарха

Вместо глазомерных оценок фотометрирование лунной поверхности можно производить с помощью поверхностного фотометра или даже электрофотометра. Обширный и весьма ценный наблюдательный материал дает в таких наблюдениях применение светофильтров.

**3. Наблюдения покрытий звезд Луной.** При своем движении по небу Луна часто закрывает то одну, то другую звезду, а иногда (весьма редко) и какую-нибудь планету. Это явление называется покрытием звезды (или планеты) Луной и для звезд до 7—7,5 звездной величины (а в отдельных случаях и до 9-й звездной величины) заранее вычисляется. Соответствующие данные для отдельных звезд публикуются в переменной части «Астрономического календаря» [14].

Наблюдения покрытий звезд Луной требуют хорошего хронометра и радиоаппаратуры, обеспечивающей прием ритмических сигналов точного времени. Моменты контактов звезды с лунным диском должны отмечаться с точностью не менее 0,2 с. Наблюдения можно проводить на любом телескопе (в том числе и на школьном рефракторе) с увеличением в 40—60 раз.

Результаты таких наблюдений имеют большое значение для улучшения теории движения Луны и для вывода поправки эфемеридного времени. Эти результаты необходимо периодически направлять на ближайшую астрономическую обсерваторию, где проводится их обработка.

### § 13. Фотографические наблюдения Луны

На фотоснимках Луны из-за замывания мелких деталей вследствие волнения изображения видно значительно меньше подробностей, чем при визуальных наблюдениях в тот же самый телескоп. Поэтому снимки Луны, сделанные с помощью небольшого телескопа (какие обычно и имеются на учебной астрономической обсерватории), для детальной топографии лунной поверхности не годятся.

Однако такие снимки, сделанные как в главном фокусе телескопа, так и с окулярным увеличением, могут быть использованы для фотометрических измерений. В этом случае они должны быть предварительно прокалиброваны с помощью трубчатого фотометра или ступенчатого ослабителя. Очень ценный и интересный материал получается при фотографировании Луны с различными светофильтрами. Его фотометрическая обработка может дать вполне объективные сведения о цветности различных деталей и участков лунной поверхности.

Для фотометрических измерений снимков Луны было бы очень желательно использовать микрофотометр, который дает более точные и надежные результаты.

При наличии известного навыка можно также заняться цветной фотографией. Цветные фотографии Луны могут дать общее представление о распределении цветности на ее поверхности и ее изменении с течением времени. Особенно большую и ценную информацию в этом направлении могли бы дать систематические съемки на цветную пленку с разными светофильтрами и при разных фазах тех участков лунной поверхности (см. § 12), где более вероятно ожидать появления каких-нибудь изменений.

Что же касается техники получения снимков Луны, то в сравнении с техникой фотографирования планет она значительно проще и доступнее. При использовании фотоэмульсии средней чувствительности (65—90 единиц ГОСТа) выдержки во время съемок в главном фокусе телескопа со светосилой около 1:15 составляют не более 0,1—0,2 с. Поэтому такие съемки можно делать при неподвижной трубе телескопа. Легко рассчитать (см. § 9), принимая видимый угловой диаметр Луны в  $0,5^\circ$ , что в главном фокусе школьного рефрактора  $D=60$  мм,  $F=600$  мм диаметр изображения Луны будет равен приблизительно 5 мм, а в главном фокусе школьного рефрактора  $D=80$  мм,  $F=800$  мм — приблизительно 7 мм. При проекционной печати снимки могут быть дополнительно увеличены в 5—10 раз, т. е. они могут достичь размеров соответственно до 50—70 мм (рис. 44).

Для получения крупномасштабных снимков Луны необходимо применить окулярное увеличение. Фотографирование Луны с окулярным увеличением требует более продолжительных выдержек (до 2—3 с и более), а значит, и плавного ведения телескопа во время съемки вдоль суточной параллели с помощью часового механизма (электропривода) или микрометрического ключа (рис. 45).

Для фотометрических целей снимки Луны вполне могут делаться

на катушечную пленку. Важно только, чтобы она после проявления была хорошо отфиксирована и тщательно промыта. Перед проявлением пленка должна быть прокальбрована. С этой целью на несколько оставшихся кадров фотографируются (при обычных выдержках, применявшихся при фотографировании Луны, и с теми же светофильтрами) ступенчатый ослабитель или светящиеся отверстия трубчатого фотометра [11]. При употреблении стеклянных пластинок возможно непосредственное впечатывание на них как отверстий фотометра, так и ступенчатого ослабителя.

#### § 14. Визуальные наблюдения Солнца

Хотя в настоящее время, в связи с активным освоением околоземного космического пространства, и функционирует мощная инструментальная служба Солнца, систематические и однородные наблюдения Солнца, выполняемые даже с небольшими инструментами, до сих пор еще не утратили своего значения. Серьезные наблюдения Солнца можно поставить даже на небольшом телескопе школьного типа; однако желательно, чтобы он был смонтирован на параллактической установке. Очень удобен для наблюдений Солнца любительский рефлектор, зеркала которого ( $D = 100-150$  мм) лишены отражательного покрытия.

Если нет специального солнечного окуляра (гелиоскопа) и предполагается наблюдать Солнце в рефлектор, то объектив последнего необходимо задиафрагмировать до относительного отверстия  $1/30-1/45$ , в противном

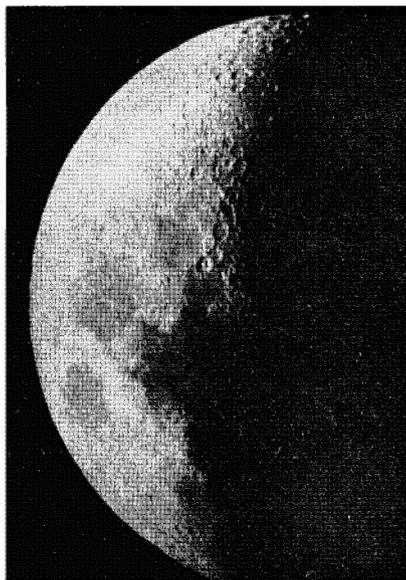


Рис. 44. Снимок Луны в главном фокусе рефлектора диаметром 240 мм.

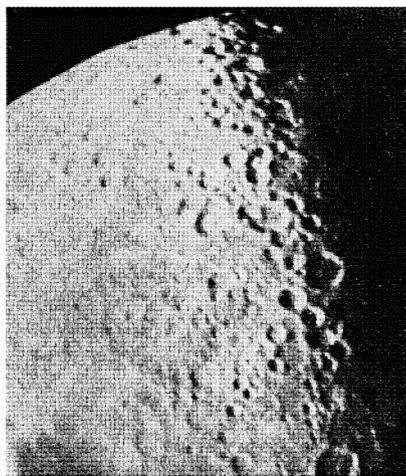


Рис. 45. Снимок Луны в рефлектор ( $D=165$  мм) с окулярным увеличением.

случае линзы окуляра от сильного жара перегреются и треснут. Для предохранения глаз от слишком яркого солнечного света на окуляр должна быть обязательно надета защитная бленда с темным стеклом (лучше всего нейтрального цвета). Поскольку в большинстве случаев необходимо при наблюдениях обозреть сразу весь солнечный диск, чаще всего применяются слабые окуляры, позволяющие получать с данным телескопом увеличения в 40—60 раз (или даже немного меньше). Наконец, нужен еще солнечный экран таких размеров, чтобы на нем мог уместиться лист бумаги с нарисованной окружностью диаметром 10 см (такой размер имеют координатные сетки на кальке, предназначенные для быстрого определения гелиографических координат солнечных пятен, факелов и других деталей на диске Солнца). Важно, чтобы экран был хорошо затенен. Если телескоп установлен в павильоне, то надо постараться с помощью защитных штор или щитов по возможности закрыть все люковое отверстие, оставив только место для объектива телескопа или передней части его трубы. Тогда внутри павильона будет достаточно темно и изображение Солнца на экране получится контрастным и со многими деталями. Наводить телескоп на Солнце лучше всего (и безопаснее всего для зрения) по тени, отбрасываемой его трубой.

Важнейшей темой наблюдений Солнца в учебной астрономической обсерватории является **статистика солнечных пятен и вывод относительных чисел Вольфа**. Визуальные наблюдения Солнца по этой теме могут проводиться как с применением солнечного экрана, так и без него. Научную ценность они будут иметь только в том случае, если охватят длительный промежуток времени (не менее одного-двух лет) и будут проводиться при неизменной методике с одним и тем же инструментом.

Целью каждого отдельного наблюдения является определение (по сделанному рисунку) числа пятен ( $f$ ) и числа групп ( $g$ ) пятен, видимых в день наблюдения на солнечном диске. При этом каждое изолированное (т. е. отдельно расположенное) пятно принимается за группу. По этим данным затем определяется число Вольфа ( $W$ ) по формуле:  $W = 10g + f$ . Это число характеризует активность Солнца по пятнам в день наблюдения.

По числам Вольфа, полученным различными наблюдениями, составляют сводки, которые печатаются в «Бюллетене Комиссии по исследованию Солнца АН СССР». Для того чтобы наблюдения могли быть внесены в эту сводку, нужно соблюдать следующие правила [1, 2]:

а) счет пятен производится и записывается по отдельным группам от западного края солнечного диска к восточному. При этом за пятно считается каждое ядро или часть ядра, отделенная от соседней полутенью, каждая пора (пятно без тени);

б) счет сопровождается рисунком, на котором показано расположение пятен и их групп на солнечном диске и направление солнечной параллели (по траектории отдельного пятна при неподвижной трубе телескопа);

в) время наблюдения указывается с точностью до 5—10 мин;  
 г) качество изображения отмечается по пятибалльной шкале (1— очень плохое, 5 — отличное), а также указываются (в примечании) основные характеристики телескопа (диаметр объектива, увеличение) и способ проведения наблюдения (с экраном или без него и др.);

д) результаты наблюдений оформляются в виде таблицы:

№ п/п	Дата, время	Число		Число Вольфа, $W$	Качество изображения	Примечания
		пятен, $f$	групп, $g$			

Такие таблицы необходимо составлять за каждый месяц наблюдений, выполняя по одному наблюдению каждый день, если только позволяют погодные условия. Наблюдать Солнце лучше всего в утренние часы, когда телескопические изображения более спокойные.

Другой интересной темой визуальных наблюдений Солнца является **изучение изменений отдельных групп и пятен**. Согласно классификации, разработанной Комиссией по исследованию Солнца, все разнообразие пятен и групп в зависимости от их конфигурации и расположения можно свести к следующим основным типам:

1. Одиночная пора.
2. Группа пор.
3. Одиночное пятно.
4. Одиночное пятно с порами.
5. Биполярная группа с большим головным пятном.
6. Биполярная группа с малым головным пятном.
7. Биполярная группа с близкими по размеру пятнами.
8. Многоцентровая группа пор.
9. Многоцентровая группа пятен.
10. Группа без классификации.

Цель наблюдений состоит в том, чтобы, во-первых, тщательно зарисовать избранную для наблюдений группу пятен (или отдельное пятно) при среднем или даже сильном увеличении телескопа; во-вторых, чтобы, повторяя подобные зарисовки с определенными интервалами (от получаса до нескольких часов) на протяжении всего периода видимости данной группы пятен (пятна), постараться подметить из сопоставления сделанных рисунков определенные в них изменения.

При наличии большого наблюдательного материала можно затем попытаться провести несложные статистические подсчеты и

сделать на их основании (порой весьма важные) выводы. Возможны и другие темы наблюдений Солнца (определение координат солнечных пятен и факелов, определение площадей пятен и групп и др.).

### § 15. Фотографические наблюдения Солнца

Помимо визуальных наблюдений или в дополнение к ним можно проводить и фотографические наблюдения Солнца. Тематикой таких наблюдений могут быть:

1) статистика солнечных пятен и вывод относительных чисел Вольфа;

2) изучение изменений отдельных групп и пятен;

3) изучение расположения и изменений факельных полей.

Возможны и другие темы наблюдений (см. § 14).

Фотографические наблюдения Солнца должны (как и визуальные) проводиться систематически, в течение длительного времени, и поэтому надо быть готовым к расходу большого количества фотоматериалов (фотопленки, фотопластинки, фотобумага) и фотореактивов (проявители и закрепитель).

Кроме того, для фотографических наблюдений Солнца нужно иметь фотографическую камеру, представляющую собой легкий непроницаемый для света деревянный ящик, надевающийся на окулярную часть телескопа таким образом, чтобы оставалась возможность менять расстояние до окуляра от пластинки при фокусировке. Вместо пластинок можно применять фотобумагу и впоследствии обрабатывать негативные снимки Солнца.

На снимке должна указываться ориентировка изображения Солнца. Для этого перед пластинкой (фотобумагой) натягивается нить, направленная вдоль суточной параллели (при параллактической установке телескопа) или по отвесу (при азимутальной установке). Обстоятельства каждой съемки Солнца (дата, время, характеристики телескопа, способ фотографирования и т. д.) необходимо под соответствующим порядковым номером регистрировать в специальном журнале наблюдений. В большинстве случаев время достаточно отмечать с точностью до 2—3 мин.

Фотографирование Солнца можно производить как в главном фокусе телескопа, так и с окулярным увеличением. При фотографировании в главном фокусе в качестве фотокамеры можно использовать корпус зеркального узкоплочного фотоаппарата типа «Зенит». Размер изображения Солнца будет равен приблизительно  $1/114$  фокусного расстояния объектива телескопа и, таким образом (при  $F \leq 2$  м), вполне уместится в кадре. Однако во избежание порчи шторного затвора от сильного жара, создаваемого солнечными лучами в фокальной плоскости, необходимо перед ним поместить центральный фильтр из темного стекла с оптически плоскими поверхностями. При фотографировании Солнца в главном фокусе рефлектора, зеркала которого лишены отражательного покрытия, надобность в этом защитном фильтре отпадает. Для съемок

Солнца надо употреблять пленки и пластинки возможно меньшей чувствительности (не более 45 единиц ГОСТа). Выдержки при съемке в главном фокусе обычно при этом бывают порядка  $1/250$ — $1/500$  с и подбираются (в зависимости от чувствительности фотоэмульсии и густоты фильтра) опытным путем. Легко подсчитать, что при фотографировании Солнца в главном фокусе школьного рефрактора ( $D=80$  мм,  $F=800$  мм) диаметр изображения Солнца в кадре будет около 7 мм и в дальнейшем при проекционной печати оно может быть дополнительно увеличено в 5—10 раз и более. Таким образом, снимки Солнца, полученные даже при помощи школьного рефрактора (не говоря уже о более длиннофокусном телескопе) без окулярного увеличения, вполне пригодны для дальнейшей обработки в соответствии с избранной тематикой наблюдений (рис. 46).

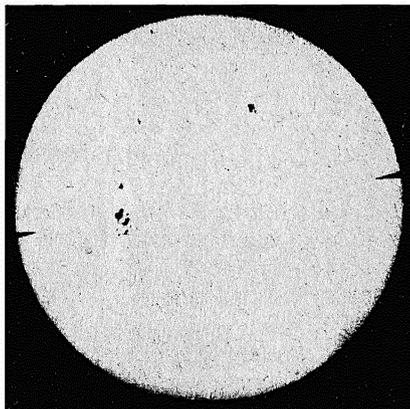


Рис. 46. Снимок Солнца в небольшой телескоп.

Можно фотографировать Солнце в главном фокусе телескопа и с помощью самодельной фотокамеры (о которой упоминалось выше) на фотопластинки или широкую пленку. Однако при этом надо предусмотреть возможность получения на одной пластинке нескольких снимков Солнца (с помощью светонепроницаемой ширмочки, имеющей угловой прямоугольный вырез и помещаемой в разных положениях в кассете перед пластинкой). В этом случае затвор рекомендуется располагать непосредственно перед объективом телескопа и делать его в виде узкой щели, быстро перемещающейся в специальных салазках поперек светового пучка. Во избежание порчи изображения ширина щели не должна быть меньше  $1/50$ — $1/80$  фокусного расстояния телескопа [1, 2].

**Фотографирование Солнца с окулярным увеличением** можно производить как с помощью самодельной фотокамеры, в которую вставляются кассеты с фотопластинками или даже с фотобумагой, так и с помощью корпуса зеркального узкоплочного фотоаппарата типа «Зенит». В последнем случае, однако, придется смириться с тем, что в кадре уместится только часть диска Солнца. Поэтому фотографирование Солнца с окулярным увеличением на узкую пленку целесообразно в основном производить только при проведении наблюдений по темам: 1) изучение изменений отдельных пятен и групп пятен; 2) изучение изменений факельных полей. Возможность получить серию снимков, разделенных определенными интервалами времени, делает применение корпуса узкоплочного фотоаппарата в таких наблюдениях особенно полезным и удобным.

Выдержки при фотографировании Солнца с окулярным увели-

чением обычно берутся в пределах 0,1—0,2 с, и, таким образом, как и при фотографировании в главном фокусе, труба телескопа может оставаться при этом неподвижной.

Негативные изображения Солнца, полученные как в главном фокусе, так и с окулярным увеличением, могут быть подвергнуты измерениям на микрофотометре. Результаты такого фотографирования могут оказаться особенно интересными, если фотографирование Солнца производилось с разными светофильтрами.

## § 16. Наблюдения солнечных и лунных затмений

Методика организации и проведения наблюдений солнечных и лунных затмений с помощью несложной аппаратуры очень подробно изложена в нашей литературе [1, 2, 12]. Мы ограничимся только некоторыми методическими замечаниями.

Как солнечные, так и лунные затмения относятся к числу редких небесных явлений, поэтому к их серьезным наблюдениям надо готовиться заблаговременно и очень тщательно. В частности, перед наблюдением полного солнечного затмения, продолжающегося, как известно, очень короткий промежуток времени, совершенно необходимо провести одну или несколько репетиций, отрабатывая до предела слаженность работы всего коллектива наблюдателей. Не следует забывать и о том, что ценность собранного наблюдательного материала во многом будет зависеть от степени соответствия избранной тематики наблюдений имеющимся инструментальным возможностям и подготовленности наблюдателей.

Если к наблюдению затмения привлекается небольшой коллектив наблюдателей, то целесообразно, не распыляя его сил, выбрать ограниченное количество тем, чтобы иметь возможность провести по ним разносторонние наблюдения.

Приведем примерную тематику наблюдений солнечных и лунных затмений, соответствующую возможностям учебной астрономической обсерватории.

### Тематика наблюдений солнечного затмения

1. **Визуальные наблюдения и зарисовки солнечной короны** с целью изучения ее формы и строения. Наблюдения выполняются невооруженным глазом, в бинокль или телескоп с малым увеличением (на окуляр должна быть надета бленда с темным стеклом слабой густоты). Рисунок короны должен иметь ориентировку. Очень полезны рисунки в красках или цветными карандашами.

2. **Фотографирование солнечной короны.** Так как яркость короны постепенно убывает от центра к периферии, то необходимо сделать несколько снимков короны со все возрастающими экспозициями (при светосиле телескопа 1:15 от 1 до 10—15 с на высокочувствительные фотоэмульсии). Очень желательны, в частности, снимки, сделанные с разными светофильтрами. При выдержке свыше 0,4 с уже необходимо плавное ведение телескопа вдоль суточ-



**Рис. 47.** Фотография частного затмения Солнца 20.V.1966, полученная на школьном рефракторе с камерой «Зенит» членами астрономического кружка станции юных техников г. Винницы.

ной параллели. Для фотометрических целей: перед проявлением отснятые пластинки и пленки должны быть прокалиброваны с помощью трубчатого фотометра или ступенчатого ослабителя.

**3. Наблюдения, связанные с проверкой теории движения Луны:** наблюдения контактов, определение положения контуров полосы полной фазы на местности, фотографирование частных фаз с точной регистрацией соответствующих моментов времени.

**4. Метеорологические наблюдения:** измерение температуры воздуха в течение хода затмения; наблюдения над облачностью, атмосферным давлением, влажностью воздуха и скоростью ветра.

**5. Биологические наблюдения** над животными и растениями во время затмения.

**6. Прочие наблюдения:** четки Бэли, бегущие тени, видимость звезд и планет и т. д.

Преподаватель должен иметь в виду, что для учащихся большое познавательное значение имеют и наблюдения частных солнечных затмений, которые, как известно, для любого данного места происходят значительно чаще, чем полные солнечные затмения. Их наблюдение в простейшем варианте можно свести к серии плановых (через одинаковые промежутки времени) зарисовок или снимков хода затмения (рис. 47), с обязательным указанием времени выполнения каждого рисунка (снимка).

#### Тематика наблюдений лунного затмения

**1. Наблюдение цвета и яркости затмения.** Оценки можно делать в пятибалльной шкале Данжона:

а) затмение очень темное; в середине затмения Луна почти не видна;

б) затмение темное; детали на поверхности Луны не видны;

в) затмение темно-красное или рыжеватое; середина тени более темная;

г) затмение красно-кирпичного цвета; края тени сероватые или голубоватые;

д) затмение медно-красное, очень яркое, внешняя зона светлая или голубая.

**2. Изучение видимости деталей на поверхности Луны во время затмения.** Наблюдения выполняются в телескоп с небольшим увеличением. При себе надо иметь карту Луны и условия видимости каждой характерной детали лунной поверхности регистрировать в журнале наблюдений.

**3. Регистрация контактов затмения и контактов с отдельными деталями лунной поверхности.** При наблюдениях время отмечается с точностью до 5 с; применяется телескоп с увеличением в 60—80 раз.

**4. Наблюдение изменения интегрального блеска Луны.** Во время затмения блеск Луны изменяется в сотни тысяч раз — от 12,7-й звездной величины (блеск в полнолуние) до 1—3-й звездной величины. Такое огромное изменение блеска пронаблюдать чрезвычайно трудно. Рекомендуются следующие три метода наблюдений.

а) **Наблюдения в перевернутый бинокль** (или в небольшой телескоп), снабженный слабым нейтральным фильтром. При наблюдении Луны в перевернутый бинокль (окулярами к Луне) ее изображение становится точечным, а блеск значительно ослабляется. Применение слабых нейтральных фильтров приводит к дополнительному ослаблению ее блеска, так что последний уже может сравниваться с блеском достаточно ярких звезд сравнения по одному из способов, применяемых при глазомерных оценках блеска переменных звезд.

б) **Наблюдения с шариковым фотометром Н. Ф. Флоря** (см. [10], с. 158). Несколько блестящих шариков разных диаметров (например, от шарикоподшипников) располагают в нескольких метрах от наблюдателя так, чтобы он, повернувшись спиной к Луне, видел их проецирующимися на фоне звездного неба. Наблюдения состоят в сравнении блеска звездных бликов на этих шариках от Луны с блеском звезд сравнения и проводятся по методу обычных глазомерных оценок (способы Аргеландера, Пикеринга или Нэйланда — Блажко, см. § 17).

в) **Наблюдения с клиновым фотометром.** Перед задиафрагмированным до 5—6 мм объективом перевернутой трубы помещается нейтральный фотометрический клин, передвижением которого достигается полное гашение звездообразного изображения Луны. Отсчет положения клина в момент исчезновения изображения отмечается в журнале наблюдений.

Наблюдения за изменением интегрального блеска Луны должны продолжаться в течение всего затмения с интервалом в 10—15 мин.

**5. Оценка яркости лунных деталей, погруженных в земную тень.** Наблюдения могут проводиться либо с интегральным фотометром, либо по методу глазомерных оценок в некоторой условной шкале (см. § 12).

Следует иметь в виду, что многие наблюдатели (В. М. Чернов, Э. Лорета, В. Камерон и др.) во время лунных затмений неодно-

кратно отмечали усиление яркости кратеров Аристарх, Менелай и Манилий, краев Моря Спокойствия и лучей кратера Тихо, вспышки звездообразных точек вблизи них и т. д. Поэтому наблюдения над изменением яркости этих и других лунных деталей и их видимость во время затмения имеют важное значение для уточнения вопроса о существовании на Луне определенных нестационарных явлений.

**6. Покрытия звезд Луной.** Во время затмения блеск Луны очень сильно ослаблен, и потому вполне возможно наблюдение покрытий Луной весьма слабых звезд. Наблюдения проводятся в телескоп с небольшим увеличением; время отмечается с точностью до 0,1 с.

**7. Фотографирование лунных затмений для фотометрии тени и полутени.** Для таких наблюдений очень удобно использовать узкоплёночную камеру зеркального фотоаппарата (например, типа «Зенит»), присоединенную к телескопу. Снимки можно делать в главном фокусе телескопа или с самым небольшим окулярным увеличением так, чтобы в кадр попал весь диск Луны. Все снимки получают в одной и той же фотометрической системе (нормальной фотографической, фотовизуальной или фотокрасной) с интервалом между отдельными съемками в 10—15 мин. Можно производить и параллельные съемки в разных фотометрических системах, тогда собранный наблюдательный материал будет особенно ценным и содержательным.

Перед проявлением отснятые негативы калибруются, как обычно, с помощью трубчатого фотометра или ступенчатого ослабителя. Обработка отснятого материала производится на микрофотометре.

## § 17. Визуальные наблюдения переменных звезд

Визуальные наблюдения переменных звезд можно производить с помощью самых разнообразных оптических средств, начиная от призматического бинокля и кончая самыми крупными телескопами, которыми располагает астрономическая обсерватория.

В методическом отношении эти наблюдения можно подразделить на: 1) наблюдения методом глазомерных оценок их видимого блеска из сопоставления с видимым блеском звезд сравнения; 2) наблюдения с помощью звездных фотометров.

На школьной астрономической обсерватории, располагающей, как правило, только призматическими биноклями и небольшими телескопами (чаще всего школьного типа), наблюдения переменных звезд могут производиться методом глазомерных оценок их видимого блеска. Этот метод может осуществляться по способам Аргеландера, Пикеринга или Нэйланда — Блажко.

Наиболее совершенным из них является способ Нэйланда — Блажко. При наблюдениях переменной звезды по этому способу используют две звезды сравнения: более яркую и более слабую. Интервал блеска между ними делят на то количество степеней, в которое оценивается сам этот интервал. Так, например, если звезда сравнения  $\alpha$  на 2 степени ярче переменной звезды  $V$ , а последняя на 3 степени ярче другой звезды сравнения  $\beta$ , то за-

писывают:  $\alpha 2V 3\beta$ . В общем случае, очевидно, будет запись:  $\alpha n V m \beta$ , что соответствует интервалу между блеском звезд сравнения  $\alpha$  и  $\beta$ , равному  $n + m$  степеней.

Долгопериодические переменные звезды можно наблюдать с интервалом в 10—15 сут. Вблизи дня максимума наблюдения нужно производить чаще (лучше всего каждые сутки, если только позволяет погода). Короткопериодические переменные звезды желательно наблюдать каждый ясный вечер, производя за один вечер не менее 3—4 оценок, в особенности вблизи минимума затменных переменных звезд и максимума у цефеид.

Приступая к наблюдениям какой-нибудь переменной звезды, нужно в журнале наблюдений начертить карту ее окрестностей с рекомендуемыми звездами сравнения и записать их звездную величину.

Записи наблюдений можно делать по следующей схеме:

№ п/п	Дата	Декретное время	Оценки блеска звезды	Инструмент	Примечания

В таких наблюдениях очень мешает посторонний свет, поэтому записи надо делать со слабым фонарем или даже в полной темноте. В последнем случае будет полезен картонный трафарет с прямоугольными вырезами в нужных местах (по строкам), накладываемый при записях на бумагу.

Простейший прием обработки наблюдений переменной звезды сводится: 1) к определению звездной величины переменной звезды через звездные величины звезд сравнения в момент каждого отдельного наблюдения; 2) к построению кривой ее блеска.

То и другое делается весьма просто. Пусть, например, в некоторый момент времени блеск переменной звезды  $V$  сравнивался с блеском звезд сравнения  $\alpha$  и  $\beta$ , звездные величины которых соответственно равны  $m_\alpha$  и  $m_\beta$ , и по способу Нэйланда — Блажко была получена оценка  $\alpha 3V 5\beta$ . Чтобы найти звездную величину  $m_V$  звезды  $V$ , нужно сначала вычислить в звездных величинах значение  $x$  одной степени блеска. Так как интервал  $m_\beta - m_\alpha$  соответствует 8 степеням блеска, то

$$x = \frac{m_\beta - m_\alpha}{8}.$$

Поскольку звезда  $V$  на 3 степени слабее звезды  $\alpha$  и на 5 степеней ярче звезды  $\beta$ , то окончательно получаем:

$$m_V = m_\alpha + 3x = m_\beta - 5x.$$

В общем случае из оценки  $\alpha p V q \beta$ , очевидно, получим:

$$m_V = m_\alpha + \frac{p(m_\beta - m_\alpha)}{p + q},$$

или же

$$m_V = m_B - \frac{q(m_B - m_A)}{p + q}.$$

Применяя любую из этих формул, нетрудно определить звездную величину переменной звезды для момента каждого отдельного наблюдения, выраженного в сутках и их долях. Результаты всех вычислений сводят в таблицу:

№ п/п	Момент наблюдения	Звездная величина переменной звезды (обозначение)

На основании полученных данных строят график изменения блеска наблюдавшейся переменной звезды с течением времени. Построение этого графика, называемого кривой блеска переменной звезды, можно делать в произвольном масштабе и лучше всего на миллиметровой бумаге.

Размеры настоящей книги не позволяют подробно остановиться на данном вопросе. обстоятельное изложение методики проведения визуальных наблюдений переменных звезд способами Аргеландера, Пикеринга и Нэйланда — Блажко можно найти, например, в книге В. П. Цесевича «Переменные звезды и способы их исследования», а также и во многих других практических руководствах [1, 2, 9], где, кроме того, подробно излагаются методы обработки таких наблюдений, а также приводятся рекомендательные списки переменных звезд, наблюдения которых весьма желательны, вместе с картами их окрестностей и звездами сравнения.

На астрономической обсерватории, располагающей 130—200 мм телескопом на совершенной параллактической установке и фотометрами, наблюдения переменных звезд можно поставить по более широкой программе с использованием звездного фотометра или даже электрофотометра [1, 3].

При правильной методике проведения наблюдений фотометрические оценки блеска переменных звезд с помощью звездного фотометра более точны и надежны, чем глазомерные оценки без фотометра. Однако различие в цвете фотометрируемых звезд и искусственной звезды сравнения может привести к значительным ошибкам. Поэтому перед началом наблюдений необходимо с помощью светофильтров тщательно выровнять с цветом фотометрируемой звезды цвет искусственной звезды сравнения. Обычно такое выравнивание цветов достигается все же не в полной мере и основной источник ошибок фотометрирования полностью не устраняется.

Другая причина появления ошибок фотометрирования обусловлена изменением условий видимости наблюдаемых звезд с течением времени (изменение прозрачности воздуха, дополнительная подсветка неба, изменение высоты фотометрируемых звезд над

горизонтом). Вследствие этого положение нуля-пункта шкалы фотометра становится несколько расплывчатым. Выход из указанного затруднения заключается в попеременном фотометрировании наблюдаемой переменной звезды и рядом с ней расположенной естественной звезды сравнения, звездная величина которой известна.

На точность показаний звездного фотометра очень сильно влияет постоянство блеска искусственной звезды сравнения. Для обеспечения стабильной яркости лампы накаливания, с помощью которой создается искусственная звезда сравнения, лучше всего пользоваться током от аккумуляторной батареи, напряжение на клеммах которой должно контролироваться с помощью чувствительного вольтметра. Использование тока от городской сети, даже при наличии стабилизатора напряжения, для питания лампы фотометра нежелательно. В лучших современных звездных фотометрах для создания искусственной звезды сравнения очень часто вместо лампы накаливания употребляют светящийся люминофор, обладающий большим постоянством блеска.

В любом случае наблюдениям переменных звезд с помощью звездного фотометра должно предшествовать всестороннее исследование этого прибора с целью выявления точности и надежности его показаний. Крайне желательны, в частности, пробные наблюдения с фотометром нескольких хорошо изученных переменных звезд.

Такую же предварительную проверку должен пройти и электрофотометр, наблюдения с которым отличаются высокой точностью и объективностью. Для наблюдений переменных звезд желателен электрофотометр с многокаскадным фотоумножителем. В соединении с телескопом ( $D=200$  мм) такой электрофотометр позволяет уверенно фотометрировать звезды до 7-й звездной величины (чувствительность электрофотометра с фотоэлементом и усилителем значительно ниже).

Наблюдения переменных звезд с электрофотометром можно проводить по схеме «фон — звезда — фон», т. е. сначала телескоп с присоединенным к нему фотометром наводится на участок неба вблизи фотометрируемой звезды и с гальванометра снимается соответствующее показание; затем фотометрируется сама звезда, изображение которой должно совпадать с отверстием диафрагмы («провалиться» в нем); и, наконец, опять фотометрируется свободный от звезд участок неба (фон). Приняв затем усредненное показание гальванометра при фотометрировании фона за нуль-пункт его шкалы, мы легко выразим (в условных единицах) и блеск фотометрируемой звезды. Для выражения полученного результата в звездных величинах необходимо дополнительно профотометрировать несколько рядом расположенных звезд сравнения, блеск которых известен. Это позволит связать условную шкалу гальванометра со шкалой звездных величин и, следовательно, выразить блеск переменной звезды непосредственно в звездных величинах.

## § 18. Фотографические наблюдения переменных звезд

Для проведения фотографических наблюдений переменных звезд можно использовать почти любую фотокамеру с достаточно сильным объективом. Вполне подойдет и самодельный астрограф, изготовление которого описано во многих книгах [1, 2, 9, 11]. Данные о наиболее распространенных и доступных фотообъективах были приведены в § 9.

Фотокамеру (астрограф) можно укрепить на трубе телескопа с параллактической установкой или же непосредственно монтировать на ней и снабдить достаточно сильным гидом (в качестве гида можно использовать школьный рефрактор).

Наблюдательная часть работы заключается в систематическом фотографировании области неба, содержащей исследуемую переменную звезду, на высокочувствительные фотопластинки или пленку. Разумеется, обстоятельства каждого снимка (сорт фотоэмульсии, время съемки, выдержка, указания на использованные светофильтры, состояние воздуха и т. д.) должны при этом в последовательном порядке регистрироваться в специальном журнале наблюдений.

В зависимости от блеска исследуемой переменной звезды и чувствительности фотоэмульсии выдержки при фотографировании могут меняться в весьма широких пределах, достигая иногда одного часа и более. Вместе с тем при фотографировании должны применяться фотопластинки (пленки) одного и того же сорта, для которых опытным путем подбирается нужная выдержка, сохраняющаяся в дальнейшем неизменной в течение всего периода наблюдений.

Каждый снятый негатив (фотопластинка или пленка) перед проявлением должен быть прокалиброван с помощью клина (ступенчатого ослабителя) или трубчатого фотометра. Впрочем, нередко калибруются только одна-две пластинки (пленки) из всей пачки, если есть уверенность в достаточной их однородности. Сама калибровка осуществляется в принципе очень просто: пластинку или пленку в полной темноте прикладывают краем к выходным отверстиям трубчатого фотометра (или, приоткрыв кассету, прикладывают к краю пластинки или пленки ступенчатый ослабитель) и производят засветку некоторым стандартным осветителем при вполне определенной выдержке, устанавливаемой опытным путем. Засветку края пластинки (пленки) через трубчатый фотометр или ступенчатый ослабитель (клин) нередко производят солнечным светом, отраженным от белого экрана, чистого снега и т. д. С этой же целью можно использовать и освещение дневного неба, закрытого белыми облаками. Если негатив содержит, кроме исследуемой переменной звезды, несколько звезд сравнения с известным блеском, то надежность в калибровке отпадает.

До некоторой степени для фотографических наблюдений переменных звезд пригодна и широкая катушечная пленка, если только она высокого качества и обладает высокой чувствительностью. Ее применение в сравнении с фотопластинками более удобно и экономично.

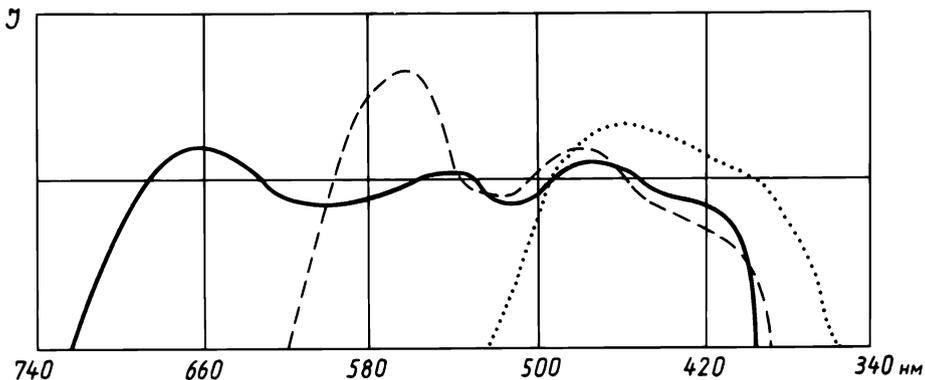


Рис. 48. Кривые спектральной чувствительности разных фотоэмульсий (объяснение в тексте).

Как уже отмечалось выше (§ 9), по своей спектральной чувствительности фотоэмульсии подразделяются на обычные, нечувствительные к красным лучам (пунктирная линия на рис. 48), ортохроматические (штриховая линия) и панхроматические (сплошная линия на рис. 48). Панхроматические фотоэмульсии чувствительны и к красным лучам. Поэтому если производить фотографирование на панхроматические пластинки или пленки, используя, кроме того, желтый светофильтр, то полученный снимок вполне заменит визуальные наблюдения: при правильном подборе желтого светофильтра кривая спектральной чувствительности использованной фотоэмульсии будет очень хорошо совпадать с кривой спектральной чувствительности глаза. Тогда по плотности негативного изображения сфотографированной звезды, пропорциональной ее блеску, мы можем определить впоследствии и ее звездную величину, которая в данном случае называется **фотовизуальной величиной** ( $m_{pv}$ ) и приравнивается к ее визуальной звездной величине:

$$m_v = m_{pv}.$$

Можно фотографировать звезду и на обычную (несенсибилизированную) фотопластинку или пленку. Определенная тем же способом звездная величина на таком негативе (при той же стандартной выдержке при съемке) носит название **фотографической звездной величины** ( $m_p$ ). Разность между фотографической и визуальной (фотовизуальной) звездными величинами, очевидно, существенно зависит от цвета сфотографированной звезды. Эта разность называется **показателем цвета** ( $C$ ):

$$C = m_p - m_v.$$

Условились считать, что показатель цвета равен нулю для звезд спектрального класса АО. Поэтому для красных звезд  $C > 0$ , а для голубых звезд  $C < 0$ .

При организации фотографических наблюдений переменных звезд нужно учитывать все вышеизложенные соображения, обращая особое внимание, в частности, на правильный выбор фотопленок или фотопластинок. В простейшем случае фотографирование переменных звезд можно производить на пластинки или пленки какого-то одного типа, либо на несенсибилизированные, либо на панхроматические, и, таким образом, иметь возможность при обработке наблюдений определять соответственно либо фотографическую, либо фотовизуальную величину исследуемых звезд. Более содержательные результаты, разумеется, будут получены при параллельных, чередующихся между собой, съемках исследуемых звезд как на несенсибилизированные, так и на панхроматические пластинки или пленки. Это позволит в дальнейшем изучать изменение и фотографической и фотовизуальной величины переменной звезды, а значит, и изменение ее показателя цвета.

Плотность негативного изображения переменных звезд и звезд сравнения лучше всего измерять на микрофотометре. Если же его нет, то оценка блеска переменных звезд на фотографиях производится с лупой теми же способами, что и при визуальных оценках, с тем, однако, отличием, что здесь сравнивается фотографическое действие звезд разного блеска на фотоэмульсию. При этом учитываются и сравниваются как интенсивность почернения, так и размеры фотографических изображений переменной звезды и звезд сравнения.

Более подробное изложение вопросов, связанных с проведением и обработкой фотографических наблюдений переменных звезд, можно найти в книге В. П. Цесевича «Что и как наблюдать на небе» [9], а также в постоянной части «Астрономического календаря» [1].

В заключение укажем, что на учебной астрономической обсерватории возможна постановка и таких наблюдений:

1. Наблюдение метеорных потоков.
2. Наблюдение и поиски комет.
3. Визуальные фотометрические наблюдения малых планет.
4. Фотографические наблюдения звездных скоплений, туманностей и других объектов звездного мира.
5. Наблюдение болидов.
6. Наблюдения падений метеоритов (и поиски упавших метеоритов).
7. Наблюдение серебристых облаков.
8. Фотографирование спектров метеоров.
9. Поиски новых переменных звезд.
10. Поиски новых звезд.
11. Наблюдение искусственных спутников Земли.
12. Изучение местного астроклимата.

Соответствующие разъяснения к постановке этих работ преподаватель астрономии может найти в постоянной части «Астрономического календаря» [1], а также и в другой литературе [2, 9].

## § 19. Использование результатов наблюдений в учебном процессе

Хорошо налаженная работа на школьной обсерватории представляет большие возможности для улучшения постановки преподавания астрономии.

Помимо традиционных учебных наблюдений, предусмотренных программой и обязательных для всех учащихся, обсерватория позволяет организовать и проводить широкий круг других наблюдательных работ по выбору учителей и в зависимости от учебного оборудования.

Перечень части таких работ с подробными указаниями и методическими описаниями их выполнения содержится в этой главе. Большинство описанных работ требует значительного телескопического времени, т. е. времени, проводимого наблюдателями у телескопов. Естественно, всем учащимся выполнять такие работы нет возможности да и нет необходимости. Эти работы обычно выполняются группами активистов астрономического кружка или отдельными наблюдателями.

Получаемые в результате наблюдений материалы в обязательном порядке должны использоваться в учебном процессе при изучении школьного курса астрономии всеми остальными учащимися. Такой подход не только делает более интересными и понятными изучаемые на уроках вопросы, но, что особенно важно, приучает наблюдателей работать для пользы остального коллектива. Последнее обстоятельство является хорошим средством для воспитания коммунистического отношения к общественно полезному труду.

Чтобы рассматриваемые формы работы были достаточно эффективными в педагогическом отношении, надо умело сочетать естественную любознательность наблюдателей в познании таинственных небесных явлений с желанием объяснить остальным учащимся значение получаемых ими данных для познания материальной природы исследуемых объектов. Необходимо также разъяснить им, как будут «вписаны» в урок их выступления, и предложить простую и выразительную методику представления своих результатов.

Рассмотрим отдельные формы такой работы и покажем, на что следует при этом обращать внимание.

1. Учитывая мировоззренческую направленность школьного курса астрономии и разъясняя вопрос о познаваемости окружающего мира, важно показать, что каждое тщательно проведенное наблюдение с точной фиксацией всех видимых деталей уникально и неповторимо по своей сущности. В этом, прежде всего, ценность каждого зафиксированного наблюдения, независимо от того, сделал ли его известный астроном или опытный наблюдатель на школьной обсерватории (можно при этом назвать фамилии лучших наблюдателей).

В отличие от физики и химии, где законы природы изучаются опытным путем и где каждый эксперимент можно повторить сотни раз с одним и тем же результатом (разумеется, при одина-

ковых начальных условиях), в астрономии идет непрерывное накопление неповторимых наблюдательных данных.

Демонстрируя учащимся, например, сделанную зарисовку Солнца с четко отмеченными пятнами, порами и факельными полями, говорят, что данная картина уникальна и больше никогда не повторится. Могут, конечно, когда-нибудь появиться сходные картины, но если присмотреться и учесть формы теней и полутеней в пятнах, формы и интенсивности яркости факельных полей, взаимные расположения всех подмеченных деталей, то окажется, что двух совершенно одинаковых изображений нет. Если к тому же учесть момент наблюдений (дата, часы), то происходящие на Солнце явления оказываются зафиксированными в процессе развития их во времени. В этом уникальность и неповторимость демонстрируемой зарисовки.

Оригинальные и документально неповторимы приведенные в этой книге рисунки Венеры, Юпитера, Марса, Сатурна (рис. 30, 31, 32, 33).

Оригинальны также карты Юпитера, Марса, Сатурна (рис. 36, 37, 38), в которых суммированы результаты наблюдений планет.

Оригинальны графики подмеченных изменений на поверхностях планет (рис. 35, 39, 41), фотографии Солнца, солнечной короны, кометы и другие наблюдательные материалы данной главы.

Подобный подход к представлению материалов наблюдений с самого начала должен показать, что это фундамент, на котором возводится величественное здание науки астрономии. В результате в глазах учащихся растут понимание значимости проводимой на школьной обсерватории работы и авторитет наблюдателей.

Вслед за этим необходимо рассказать о стеклянных библиотеках больших обсерваторий — невоспроизводимых летописях небесных явлений. Каждая пластинка должна храниться века. Вот почему астрономы в основном работают с отпечатками — копиями этих пластинок, а сами оригиналы хранятся в стальных сейфах глубоко под землей при определенных температурных режимах. Этот пример способствует воспитанию бережного отношения к результатам своих наблюдений.

2. Помимо принципиальной оценки уникальности и документальности хорошо выполненных наблюдений, учащимся необходимо показать еще и действительно научную ценность конкретных наблюдательных материалов, в том числе полученных с помощью небольших и средних телескопов. Здесь уместно дать наглядный анализ наблюдений одних и тех же объектов, но выполненных с помощью разных инструментов. Сравнивая, например, фотографии Юпитера (рис. 42 и 43), легко видеть, что малые телескопы значительно уступают в разрешении и передаче деталей атмосферы. Но если одновременно взглянуть на зарисовки Юпитера, сделанные с тем же малым телескопом (рис. 31), то можно установить, что по количеству переданных деталей они мало уступают фотографии, полученной с помощью большого телескопа. Конечно, контрасты на рисунках не столь точно соблюдены, а резкость очертаний

деталей несколько превышает те, которые наблюдаются в телескоп.

Следовательно, средние и отчасти малые телескопы позволяют наблюдателям визуально следить за появлением деталей и уверенно определять их смещения, немного уступая при этом фотографическим наблюдениям с большими телескопами.

Для учебных целей полезно оформить небольшой стенд, на котором поместить перефотографированные из журналов и книг снимки Юпитера, сделанные с помощью разных инструментов, а рядом наклеить свои фотографии и зарисовки планеты. Такой стенд дает богатую пищу наблюдателям для размышления и определения своего места в постановке научных исследований Юпитера.

Для контраста следует сделать подобный стенд с фотографиями туманности Андромеды, из которого сразу будет видно, что малые телескопы непригодны для таких исследований. Нужны светосильные объективы с большими диаметрами.

Что касается наблюдений переменных звезд до 10—11-й звездной величины, то малые телескопы позволяют при визуальных наблюдениях получать кривые изменения блеска, мало уступающие кривым, полученным при наблюдениях с большими телескопами. Это понятно, ибо во всех телескопах звезды видны в виде светлых точек (точнее, дифракционных кружков), только с увеличением диаметра объектива растет их видимое количество и сами они становятся ярче для глаза.

Учитывая, что переменных звезд много, а научные обсерватории могут систематически наблюдать лишь ограниченное их число, школьные обсерватории могут внести свой вклад в изучение этих объектов, в особенности если они располагают телескопами с проникающей силой до 13—14-й звездной величины. В последнем случае возможны не только уточнения различных данных известных переменных звезд, но и открытие новых.

Особую ценность в научном отношении имеют наблюдения непредвиденных эпизодических явлений. К таким наблюдениям относятся поиски новых комет, открытия новых и сверхновых звезд, фотографирование спектров метеоров и болидов, а также другие наблюдения, выполняемые с малыми телескопами и камерами.

Одним из высших критериев признания заслуг юного наблюдателя следует считать различные публикации о проделанной работе в научных и научно-популярных журналах, а также в изданиях ВАГО. Чтобы достичь такого уровня работ, необходимо выработать привычку все проводимые наблюдения четко и тщательно оформлять и доводить до подробного словесного описания.

Демонстрации на уроках подобных публикаций, в том числе выполненных школьниками других обсерваторий, — хороший пример для подражания и важное средство для подбадривания и воспитания настойчивости у своих наблюдателей.

3. Рассмотрим теперь, каким образом следует готовить материалы наблюдений для представления на уроке и как их «вписывать» в изучаемые вопросы.

Все получаемые на школьной обсерватории материалы наблю-

дений имеют обычно вид зарисовок, фотографий или словесных записей с цифровыми данными. После обработки материалы дополняются графиками, схемами, цифровыми таблицами. Все это перифотografiруется зеркальным аппаратом «Зенит» на пленку, из которой затем легко сделать слайды. Наряду со слайдами готовятся отпечатки размерами от 9×12 до 24×30 см. Из полученных фотографий, дополняя их вырезками из журналов и газет, можно изготовлять таблицы и стенды с самой разнообразной тематикой.

Для уроков астрономии нужны таблицы, на которых четко прослеживаются изучаемые программные вопросы. Если с этой точки зрения проанализировать все получаемые на школьной обсерватории материалы наблюдений, то можно видеть, что среди них нет не причастных к вопросам, рассматриваемым в программе по астрономии. И это не удивительно, так как все доступные школьным телескопам небесные тела изучаются в школе. Более того, все наблюдаемые на них явления также входят в круг описанных в учебнике. Выходит за рамки школьного курса лишь глубокое теоретическое интерпретирование явлений, поскольку оно требует понимания астрофизики и теоретической физики.

Но это уже другой вопрос. Сами же материалы наблюдений с изображениями светил и происходящих на них явлений — это первооснова для школьного курса астрономии, и поэтому их демонстрации обязательны. Надо лишь выбрать из них наиболее выразительные экземпляры и соответствующим образом оформить.

Рассмотрим на отдельных примерах характерные приемы оформления материалов и дадим ряд методических советов по их представлению на урок.

Большой интерес вызывают таблицы, оформленные в историко-познавательном аспекте. Так, рекомендуется сделать таблицу: «Материалы наблюдений Галилея и соответствующие им результаты, полученные на школьной обсерватории».

В левой стороне таблицы располагают один под другим перифотografiрованные из книг рисунки Галилея с изображениями Луны, Солнца с пятнами, Венеры, Юпитера, Сатурна. Справа рядами помещают зарисовки и фотографии тех же объектов, сделанные в школе.

Такая таблица выносит на суд учащихся документально-доказательную сторону научных аргументов Галилея при установлении истинности системы мира Коперника. При этом верность доказательств подтверждается результатами, полученными на школьной обсерватории, и тем самым еще ярче предстает перед ними абсурдность обвинений, выдвинутых духовенством против великого ученого. Таким образом, наглядно доказывается неправомерность использования религиозных догм при решении научных вопросов. Только реальные наблюдения, опирающиеся на опыт естественных наук и математику, открывают путь к познанию окружающей Вселенной. Необходимо лишь хорошо представлять возможности метода наблюдений и его границы в каждом отдельном случае.

Нередко учащиеся, впервые взглянув в телескоп на планету,

разочарованно восклицают: «И это все?!» Им следует объяснить, что Галилей с меньшими телескопами и менее совершенными, чем те, которыми располагают учащиеся, смог сделать выдающиеся открытия. Поэтому, всматриваясь в планету, надо еще научиться видеть и правильно оценивать наблюдаемую картину.

То, что планета при многократных увеличениях представляется наибольшим пятнышком, — это свидетельство колоссального ее удаления. В действительности она — большое небесное тело (сравнить с Землей). Узнать это можно, лишь научившись осмысленно смотреть, оценивать, измерять, прикидывать, вычислять и делать правильные выводы.

Рассматриваемая таблица в этом отношении представляет хороший полигон для первоначальных тренировок наблюдателей и привития им соответствующих навыков.

Сравнивая рисунки Галилея со своими, учащиеся могут выступать в качестве оппонентов великого ученого. Тщательно анализируя рисунки Галилея, они могут расшифровывать и комментировать их детали, высказывая при этом свои суждения и уточняя отдельные штрихи; ведь школьные телескопы превосходят трубы Галилея, и, кроме того, имеется возможность использовать современные данные о планетах.

Если подобную работу выполнить аккуратно, с тщательным историческим анализом, хорошо описать и оформить ее, то она может быть напечатана в ряде журналов или газет.

Как видно из названия и приведенного описания таблицы, ее можно использовать при изучении темы: «Борьба за научное мировоззрение. Открытия Галилея и борьба церкви против науки».

Вначале учитель обосновывает необходимость представления доказательств истинности предложенной Н. Коперником гипотезы о гелиоцентрической системе мира. Далее слово предоставляется учащимся-наблюдателям, и они один за другим демонстрируют рисунки Галилея и соответствующие свои рисунки, комментируя их содержание и значимость для установления научной истины. Так перед остальными учащимися последовательно раскрывается доказательная сторона и роль наблюдений в познании строения окружающего мира небесных светил и нахождения места Земли среди них.

Опираясь на приведенные в сообщениях учащихся данные, учитель раскрывает мировоззренческое значение работ Галилея, абсурдность религиозных догм о строении мира, невежество и лицемерие судей инквизиции.

В историко-познавательном плане можно оформить и ряд других таблиц с материалами наблюдений Солнца, Луны и каждой планеты в отдельности.

Подход к оформлению таблиц может быть тематическим, когда упор делается на материалы наблюдений с фиксацией определенных явлений. Так, полезно оформить таблицу «Солнечная активность», поместив на нее материалы школьной службы Солнца и состыковав их с данными Международной Службы Солнца. В верхней части таблицы можно поместить график солнечной активности за

последние 50—60 лет. В конце этого графика следует проставить точки с числами Вольфа, полученными на основе своих наблюдений (если, конечно, они имеются). В средней части таблицы помещают график солнечной активности на текущий год с осредненными числами Вольфа по месяцам. Внизу размещают сменный график солнечной активности за последний месяц с простановкой чисел Вольфа на отдельные даты, когда проводились наблюдения. В пазы правого нижнего угла таблицы вставляют последнюю зарисовку Солнца с указанием числа Вольфа. В соответствии с его значением на нижнем графике должна быть проставлена точка, соединенная с предыдущей точкой.

Описанная выше таблица обладает «эффектом присутствия», так как представляет учащимся течение рассматриваемого явления на момент наблюдений, что способствует более сознательному и глубокому уяснению материала программы и его запоминанию.

Полезно оформить тематическую таблицу «Атмосфера Юпитера и наблюдаемые в ней процессы». Рисунки, фотографии, диаграммы и графики этой главы могут служить основой для такой таблицы. Вверху таблицы помещают две-три зарисовки, подобные тем, что изображены на рисунке 31, и сделанные через промежутки в несколько часов. Рядом помещают фотографию планеты, сделанную в то же время, что и одна из зарисовок, — в результате появляется возможность проводить взаимные сравнения и уточнения изображенных деталей. Несколько ниже помещают карту Юпитера, подобную той, что изображена на рисунке 36. Желательно, чтобы дата, на которую составлена карта, соответствовала дате зарисовок Юпитера, помещенных вверху таблицы. В этом случае учащиеся могут видеть положение одних и тех же деталей на диске планеты и на карте. Еще ниже располагают диаграмму движений полос в атмосфере Юпитера (рис. 35), позволяющую проследить, как изменяется их расположение через промежуток времени в 1—2—3—4 месяца. При этом разрез по центральному меридиану одного из верхних рисунков Юпитера должен соответствовать одному из разрезов этой диаграммы.

В самом низу помещают график собственного движения Красного Пятна за период, например, в половину года (рис. 39). Здесь же можно поместить результаты и других наблюдений, например по изучению изменения интенсивности Красного Пятна (рис. 40) и других деталей.

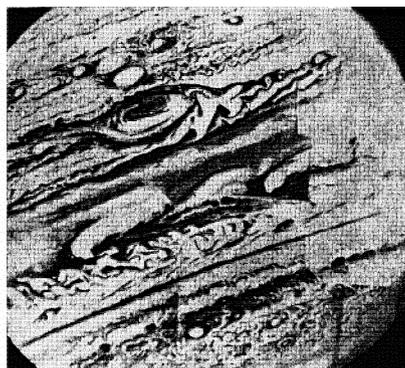
Описанная выше таблица используется на уроке при ознакомлении учащихся с внешним видом Юпитера, его формой, наблюдаемыми на его поверхности деталями и их изменениями с течением времени. Нижние графики используются для того, чтобы познакомить учащихся с проблематикой научных исследований. В связи с этим перед ними следует поставить вопросы: что представляет собой Красное Пятно? Когда и как оно возникло? С какими внутрипланетными процессами оно связано? Долго ли еще оно будет существовать? Какова природа его цвета?

Хотя к настоящему времени предложено несколько моделей

строения Юпитера, однако на их основе еще нельзя однозначно объяснить все наблюдаемые особенности циркуляции облачного покрова планеты, в том числе движение и природу Большого Красного Пятна. Для построения фундаментальной теории строения Юпитера и происходящих на нем процессов необходим дальнейший тщательный сбор наблюдательных материалов, их классификация и всесторонний глубокий анализ.

Хотя большая роль в дальнейших исследованиях Юпитера и других планет несомненно принадлежит межпланетным космическим аппаратам, однако земные телескопические наблюдения не потеряли своего значения. Надо лишь хорошо разобраться в возможностях земных наблюдений на фоне впечатляющих космических фототелевизионных изображений планет и их спутников. Это особенно важно знать наблюдателям, которые многие годы терпеливо просиживали у своих телескопов, ожидая успокоения атмосферы, и на пределе своих возможностей всматривались в изображения далеких планет. Это важно и для начинающих наблюдателей школьных обсерваторий, которые пытаются определить свои потенциальные возможности в телескопических наблюдениях планет.

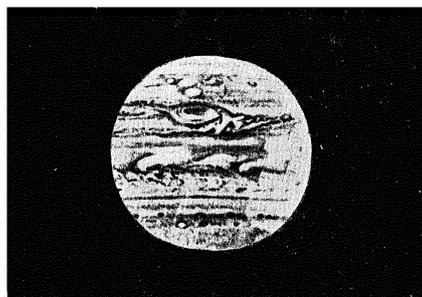
На рисунке 49 представлена мозаичная фотография Юпитера, составленная из ряда крупномасштабных снимков участков планеты, сделанных с борта АМС «Вояджер-1».



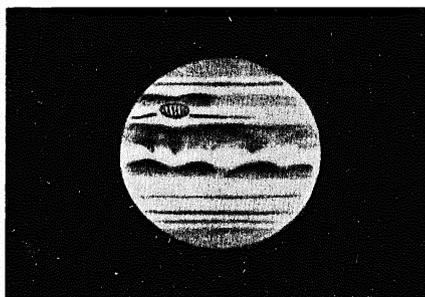
а)

Ниже и слева помещена еще раз эта же фотография в уменьшенном масштабе и с искусственно пониженной резкостью, чтобы ослабить разрешение деталей и тем самым приблизить наблюдаемую картину к той, которая видна в земные телескопы.

**Рис. 49. Мозаичная фотография Юпитера:**  
*а* — составленная из снимков, сделанных с борта «Вояджера-1» 26.II.1979; *б* — та же фотография, но с искусственно пониженной резкостью изображения; *в* — рисунок Юпитера по наблюдениям с 165 мм рефлектором, сделанный 23.XI.1964 в  $21^{\circ}10'$  м. вр.



б)



в)

Одна из земных зарисовок Юпитера помещена здесь же рядом — это повторение рисунка 31.

Даже при беглом взгляде на этот рисунок и на помещенную рядом космическую фотографию легко заметить как их сходство, так и их различие. При этом, разумеется, следует учитывать, что они были сделаны в разные моменты времени (фотография через 14,3 года после рисунка) и, следовательно, на них запечатлены разные состояния юпитерианской атмосферы. Следует также учитывать то, что рисунок и фотография сделаны с разных направлений по отношению к экватору планеты. С такими оговорками можно утверждать, что характерные большие детали облачного покрова Юпитера одинаково хорошо просматриваются и на рисунке и на фотографии: видны основные зоны и полосы юпитерианской атмосферы, большие завихрения, идущие одно за другим в экваториальной зоне, и Большое Красное Пятно. Все эти крупные образования в атмосфере планеты регулярно наблюдаются с середины прошлого века.

Что касается средних деталей и завихрений вдоль других зон и полос, то они менее уверенно фиксируются земными наблюдателями и хорошо просматриваются на космическом снимке.

Подробная же структура завихрений во всех зонах и полюсах Юпитера видна только на космическом снимке — земные телескопы не разрешают такие детали.

При хорошей постановке телескопических наблюдений можно всегда рассчитывать на фиксацию относительно больших и контрастных деталей в атмосфере Юпитера и лишь отчасти отмечать средние по размеру и малоконтрастные детали. Это предел для земных телескопов. Наблюдателям школьных обсерваторий следует ориентироваться на регистрацию в основном крупных и контрастных деталей.

Если начинающим наблюдателям это не удастся, то надо вначале тщательно изучить оптические возможности своего телескопа и определить его разрешающую способность и проникающую силу (глава I). Затем, если оптика телескопа позволяет, надо научиться выбирать моменты успокоения атмосферы и наступления хорошей видимости. Так всегда поступают опытные наблюдатели, а их результаты, как показали космические фотографии, отражают реальные процессы, происходящие в атмосфере Юпитера. Подтверждение объективности данных, получаемых с помощью небольших и средних телескопов, заставляет более серьезно относиться к организации систематических наблюдений Юпитера. При этом наблюдатели могут быть

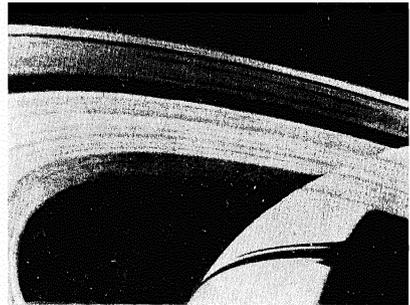


Рис. 50. Фотография Сатурна с кольцами, сделанная с борта «Вояджера-1» 13.XI.1980.



Рис. 51. Две последовательные фотографии Сатурна, сделанные с космического корабля «Вояджер-1», на которых видны темные радиальные лучи, смещающиеся со временем как спицы во вращающемся колесе.

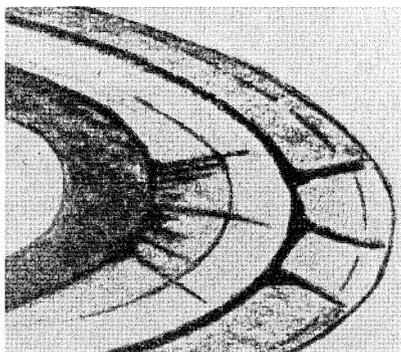


Рис. 52. Рисунок Сатурна, сделанный Стефаном О'Мира 16.11.1977, в кольцах которого зарегистрированы темные радиальные лучи.

уверены, что, если в его атмосфере вдруг появятся какие-то новые заметные образования, их можно регистрировать с помощью земных телескопов. Об этом следует напомнить, ибо космические снимки с пролетной траектории — это пока лишь эпизод в изучении планеты (до запуска искусственных спутников).

Научная значимость визуальных наблюдений планет хорошо иллюстрируется рядом фотографий и зарисовок колец Сатурна.

Так, на рисунке 50 представлена фотография, сделанная с космического корабля «Вояджера-1», которая подтвердила еще большую структурную сложность колец. Оказалось, что все эти полосы, в свою очередь, состоят из сотен колец различной ширины и интенсивности.

Особенно поразило астрономов наличие в кольцах Сатурна темных радиальных лучей, которые вращаются вокруг планеты как спицы в колесе. На рисунке 51 представлены два последовательных снимка Сатурна с кольцами и смещающимися радиальными лучами. Невольно может возникнуть предположение о сплошном кольце! Но ведь еще в прошлом веке было доказано (в том числе в трудах Софьи Ковалевской), что кольца Сатурна не могут быть сплошными, а состоят из отдельных частиц, каждая из которых обращается вокруг планеты независимо от других согласно третьему закону Кеплера. Чем дальше от планеты находится частица, тем ее угловая и линейная скорости будут меньше, что и подтвердил А. А. Белопольский спектрограммами колец Сатурна в конце прошлого века.

А теперь в кольцах Сатурна обнаружены радиальные лучи, которые вращаются вокруг планеты с одинаковой угловой скоростью! Чем дальше такой луч простирается от планеты, тем большая линейная скорость его конца! Но ведь такие лучи-спицы уже регистрировались наблюдателями!

На рисунке 52 представлена зарисовка Стефана О'Мира, сделанная в 1977 г. На ней хорошо видны темные радиальные лучи в кольцах Сатурна. Естественно, подобные рисунки в то время вызывали сомнения у специалистов, так как изображенная картина противоречила законам небесной механики. Теперь, когда реальность вращающихся радиальных лучей твердо установлена, необходимо научно объяснить наблюдаемый феномен.

Высказано предположение, что радиальные лучи состоят из очень мелких частиц, которые, возможно, парят над плотностью колец и приводятся во вращение магнитным полем планеты. Насколько хороша предложенная гипотеза — покажет время и дальнейшие наблюдения.

Последний случай лишний раз подтверждает важность ведения очень тщательных наблюдений с точной фиксацией всех замеченных реальных деталей, какими необычными они бы не казались.

## Глава III

# ПРОСТЕЙШИЕ МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ НАБЛЮДЕНИЙ

### § 20. Вводные замечания

Астрономические наблюдения не являются самоцелью. На них надо смотреть как на первую фазу наблюдательной работы, поставленной с целью изучения какого-либо небесного светила или явления. Второй же фазой этой работы должна быть обработка собранного наблюдательного материала с применением различных математических методов.

Привлечение учащихся — членов астрономического кружка — к обработке выполненных ими наблюдений оправдано и с общепедагогической точки зрения, так как при этом учащиеся приобретают полезные знания и навыки, у них развивается аккуратность, настойчивость и целеустремленность в работе, и, кроме того, они получают возможность на практике увидеть плоды своей предыдущей работы.

В помещении, предназначенном для обработки наблюдений, должно находиться все то, что может потребоваться для работы. Из необходимого оборудования для выполнения математических выкладок нужны различные печатные пособия (астрономические календари, карты и атласы, математические таблицы и справочники), а также логарифмические линейки, арифмометры и микрокалькуляторы [21]. Наконец, для выполнения различных графических работ (схемы, чертежи, карты, графики и т. д.) необходимы еще чертежные линейки, угольники, лекала, транспортиры и готвальны.

С 1985/86 учебного года в школах был введен новый предмет «Основы информатики и электронно-вычислительной техники». В связи с этим в школах создаются специальные кабинеты, оснащенные малогабаритными персональными компьютерами. Поэтому при обработке астрономических наблюдений появляются возможности для использования школьных компьютеров. Это позволяет не только избавить учащихся от утомительных рутинных вычислений, но, несомненно, способствует улучшению преподавания самой астрономии — науки, которая опирается на данные наблюдений и на математические методы их обработки. При этом следует всегда помнить, что данные наблюдений, а также и многие табличные данные выражены, как правило, приближенными числами. Поэтому при оперировании с данными наблюдений учащиеся должны руководствоваться основными правилами действия над приближенными числами:

1) точность результата не должна превосходить точности наименее точной из компонент;

2) все промежуточные выкладки надо выполнять с одной запасной цифрой (а умножение — с двумя запасными цифрами), которая затем опускается при округлении результата.

Если одна и та же величина измеряется многократно, то точность ее среднеарифметического результата возрастает с ростом числа самих измерений.

При обработке наблюдений чаще всего приходится интерполировать (и экстраполировать) табличные данные, определять наиболее вероятнейшие значения величин из многих измерений и находить приближенную функциональную зависимость и связь между ними.

Краткому изложению затронутых вопросов и посвящается эта глава.

Объем книги не позволяет дать строгое и хорошо обоснованное изложение указанных вопросов — это задача специальных математических курсов. В данной же главе обращается внимание на практическую сторону обработки наблюдений с привлечением элементов теории в той степени, чтобы учащиеся осознали суть рекомендуемых приемов и методов.

### § 21. Простейшие способы интерполирования

При обработке наблюдений весьма часто приходится пользоваться различными таблицами, задающими с определенной степенью точности значения той или иной функции для соответствующих (обычно последовательно возрастающих) значений аргумента. Таковы, например, тригонометрические или логарифмические таблицы, приводимые в астрономических календарях и справочниках (таблицы физических координат Солнца, Луны, планет и т. д.). При этом нередко требуется найти значение функции для такого значения аргумента, которое не указано в таблице.

**Интерполированием** (интерполяцией) и называется нахождение приближенного значения табличной функции (т. е. функции, заданной таблицей) для значений аргумента, промежуточных между его табличными значениями.

Аналогичная операция, выполняемая для значений аргумента, предыдущих или последующих по сравнению с его табличными значениями, называется **экстраполированием** (экстраполяцией). Поясним это на следующем примере.

Необходимо определить экваториальные координаты (прямое восхождение и склонение) Марса для 21 и 30 апреля 1984 г. В нашем распоряжении имеется «Школьный астрономический календарь на 1983/84 учебный год», в котором экваториальные координаты Марса приводятся с десятисуточным интервалом.

Для 21 апреля календарь не указывает экваториальные координаты Марса, но зато там значатся его координаты для одной из предыдущих дат (18 апреля) и одной из последующих (28 апреля), которая к тому же недалеко отстоит от второй заданной даты — 30 апреля.

Выпишем эти данные в таблицу 9:

Т а б л и ц а 9

Дата	Экваториальные координаты	
	$\alpha$	$\delta$
18.IV.1984	15°41,3"	—18°46'
28.IV.1984	15 32,1	—18 37

На основании этих данных требуется определить экваториальные координаты Марса для 21 апреля (интерполированием) и для 30 апреля (экстраполированием).

Интерполирование (как и экстраполирование) можно осуществить различными способами, отличающимися друг от друга и степенью сложности, и точностью результатов. Рассмотрим некоторые из них, решая приведенный выше пример.

### 1. Графические методы линейного интерполирования и экстраполирования

Берем лист миллиметровой бумаги (или лист из школьной тетради в клеточку) и проводим оси абсцисс и ординат. На оси абсцисс откладываем время в сутках, а на оси ординат — прямые восхождения в часах и минутах. Масштабные единицы могут быть различными, однако чем они крупнее, тем точнее будут результаты. Используя данные таблицы 9, построим точки  $A$  и  $B$  (рисунок 53 для двух дат — 18. IV и 28. IV, между которыми находится интересующая нас дата 21. IV). Соединим эти точки прямолинейным отрезком. Этот отрезок будет приближенно характеризовать ход изменения прямого восхождения Марса с течением времени (между 18. IV и 28. IV). Поэтому для определения прямого восхождения Марса для 21. IV надо из соответствующей точки на оси абсцисс восстановить к ней перпендикуляр и найти точку  $M$  его пересечения с отрезком  $AB$ . Тогда основание перпендикуляра, опущенного из этой точки на ось ординат, укажет нам на этой оси в выбранном масштабе искомое приближенное прямое восхождение  $\alpha = 15^{\circ} 38,5'$ . Таким образом, мы определили прямое восхождение Марса для 21. IV, применяя графический метод линейного интерполирования.

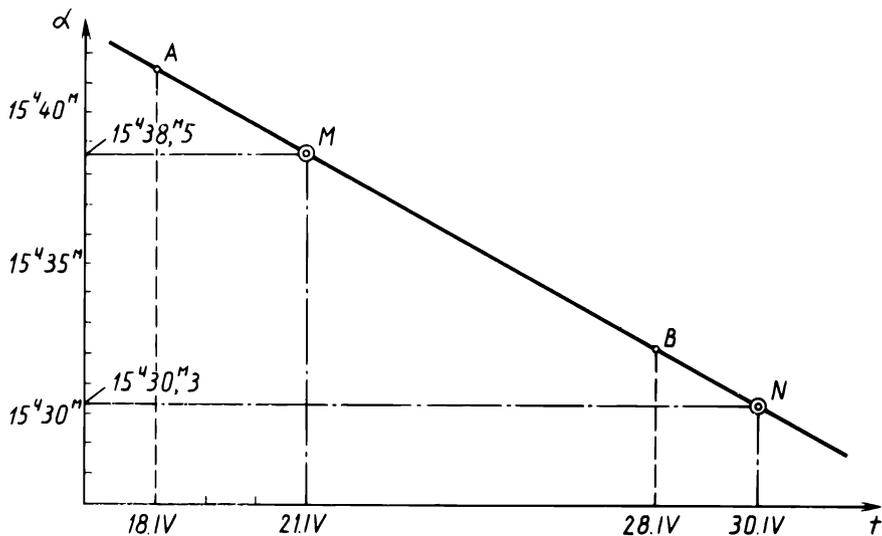


Рис. 53. Графические методы линейного интерполирования и экстраполирования.

Определим теперь прямое восхождение Марса для 30.IV. Поскольку эта дата лежит за пределами выписанной нами таблицы 9, то для нахождения прямого восхождения Марса для 30. IV следует применить экстраполирование, справедливо полагая, что ход изменения прямого восхождения с течением времени, по крайней мере на несколько суток после табличной даты 28. IV, примерно такой же, как и в промежутке от 18. IV до 28. IV.

Поэтому для определения прямого восхождения Марса на 30. IV можно воспользоваться прежним чертежом (рис. 52), продолжив отрезок  $AB$  за точку  $B$  с таким расчетом, чтобы получить на его продолжении точку  $N$  в пересечении с перпендикуляром, восстановленным к оси абсцисс из точки, соответствующей дате 30. IV. Проецируя затем точку  $N$  на ось ординат, мы и получим на последней искомое прямое восхождение  $\alpha = 15^{\circ} 30,3'$ . В этом и состоит графический метод линейного экстраполирования.

Аналогично может быть найдено и склонение Марса на те же даты (с той лишь разницей, что на оси ординат будет откладываться склонение в градусах и минутах). Прodelайте это сами и убедитесь, что склонение Марса приблизительно равно:  $\delta = -18^{\circ} 43'$  для 21. IV и  $\delta = -18^{\circ} 39'$  для 30. IV.

## 2. Аналитические методы линейного интерполирования и экстраполирования

Аналитические методы линейного интерполирования и экстраполирования мы рассмотрим на примере прежней задачи с тем, чтобы сравнить их с графическими методами, а также чтобы сопоставить результаты интерполирования и экстраполирования, полученные как графическими, так и аналитическими методами. Будем считать, что прямое восхождение Марса уменьшалось равномерно с течением времени и за 10 сут. (с 18. IV по 28. IV) уменьшилось на

$$\Delta\alpha = \alpha_2 - \alpha_1 = 15^{\circ} 32,1' - 15^{\circ} 41,3' = -0^{\circ} 9,2'.$$

Тогда в среднем за сутки оно уменьшилось на

$$\frac{\Delta\alpha}{10} = \frac{\alpha_2 - \alpha_1}{10} = -\frac{0^{\circ} 9,2'}{10} = -0^{\circ} 0,92',$$

и за 3 сут. с 18. IV по 21. IV оно уменьшилось на  $-0^{\circ} 0,92' \cdot 3 = -0^{\circ} 2,76' = -0^{\circ} 2,8'$ .

Поэтому прямое восхождение Марса на 21. IV будет равно

$$\alpha = 15^{\circ} 41,3' + (-0^{\circ} 2,8') = 15^{\circ} 38,5'.$$

(Мы получили тот же результат, что и графическим методом.)

Далее, поскольку можно принять, что и после 28. IV прямое восхождение уменьшалось с течением времени так же равномерно, как и до этой даты, и, следовательно, за 2 сут. с 28. IV по 30. IV оно уменьшилось на  $-0^{\circ} 0,92' \cdot 2 \approx -0^{\circ} 1,84'$ , то прямое восхождение Марса на 30. IV будет равно

$$\alpha = 15^{\circ} 32' + (-0^{\circ} 1,84') = 15^{\circ} 30,2'.$$

И опять мы получили почти тот же результат, какой был ранее получен графическим методом.

Таким образом, и графический и аналитический методы линейного интерполирования и экстраполирования дают одни и те же результаты, если, конечно, все построения при графическом методе выполнять весьма аккуратно и в достаточно крупном плане.

**З а д а н и е.** Рассчитайте самостоятельно склонение Марса для тех же дат (21. IV и 30. IV), используя таблицу 9. Полученные результаты сравните с прежними, найденными ранее графическими методами.

### 3. Графические методы интерполирования и экстраполирования с помощью лекал

Вернемся снова к рассмотренному выше примеру на определение экваториальных координат Марса для вполне конкретных дат 21. IV и 30. IV. До сих пор мы ради простоты предполагали, что и прямое восхождение, и склонение изменяются с течением времени равномерно и что, следовательно, графиком функциональной зависимости любой из этих координат от времени является прямая линия (именно на этом основаны сами методы линейного интерполирования и экстраполирования).

Однако прямое восхождение Марса (как, впрочем, и склонение) изменяется со временем неравномерно. Поэтому описанные выше методы линейного интерполирования и экстраполирования дают результаты только в первом приближении.

Более точные результаты дают методы, учитывающие кривизну графика функциональной зависимости между экваториальными координатами и временем.

На сколько же точек следует опираться, чтобы при последующем графическом интерполировании (или экстраполировании) с помощью лекал можно было получать возможно более точные результаты?

Конечно, чем больше будет нанесено точек, тем на большем интервале можно проследить за изменениями функциональной зависимости и тем самым точнее оценить характер изменения кривизны графика.

Однако нанесение большого количества точек не только связано с дополнительными затратами труда, но при одном и том же масштабе построения требует еще и большого листа бумаги и наличия больших по размеру лекал. При уменьшении же масштаба снижается точность отсчетов. Поэтому необходимо определить минимальное число требуемых точек для получения приемлемых результатов.

Как было показано выше, при нанесении только двух точек производят линейное интерполирование (и экстраполирование). Если нанесены три точки, не лежащие на одной прямой, то через них можно провести множество различных кривых второго порядка (окружность, парабола, эллипсы, гиперболы) и сложные кривые высших порядков. Все плавные кривые, в принципе, могут быть применены для целей интерполирования (и экстраполирования) по трем

точкам, если, разумеется, и сама табличная функция также является плавной. Так как к трем нанесенным точкам можно приложить множество различных лекал и провести с их помощью разные кривые, то результаты интерполирования будут несколько отличаться друг от друга, но все они будут точнее, чем те, что получены при линейном интерполировании.

При нанесении четвертой точки количество кривых, которые можно провести через эти точки, резко уменьшается. Если взять несколько лекал, то среди них можно найти кривую, которая хорошо ляжет на построенные 4 точки. Поэтому при графическом интерполировании и экстраполировании с помощью лекал можно ограничиваться четырьмя точками. Для встречающихся в школьной практике задач по обработке таблиц этого вполне достаточно.

Обратимся теперь к предыдущему примеру по определению экваториальных координат Марса для двух дат: 21 и 30 апреля.

Чтобы одновременно рассмотреть интерполирование и экстраполирование, мы выпишем координаты Марса для таких четырех дат: 29.III, 8.IV, 18.IV и 28.IV. Тогда точка с датой 30.IV будет лежать за пределами избранного интервала в 4 точки.

К ранее составленной таблице 9 добавим еще экваториальные координаты Марса для двух дат (29 марта и 8 апреля):

Таблица 10

Дата	Экваториальные координаты	
	$\alpha$	$\delta$
29.III.1984	15 <sup>h</sup> 44,2 <sup>m</sup>	—18°26′
8.IV.1984	15 45,3	—18 42

Опираясь на данные таблиц 9 и 10, отложим на горизонтальной оси время в сутках в интервале от 29 марта до 30 апреля, а на вертикальной — прямые восхождения в интервале от 15<sup>h</sup>28<sup>m</sup> до 15<sup>h</sup>45<sup>m</sup>.

Построим 4 точки прямых восхождений Марса для дат: 29.III, 8.IV, 18.IV и 28.IV (рис. 54).

Подберем подходящее лекало и с его помощью проведем через 4 точки кривую, чтобы она несколько выступала за крайние точки (рис. 54).

Восстановим перпендикуляры к делениям с датами 21 и 30 апреля до пересечения с лекальной кривой, затем из точек пересечения опустим перпендикуляры на ось ординат. Отсчитаем прямые восхождения Марса в эти даты: 15<sup>h</sup>39,0<sup>m</sup> и 15<sup>h</sup> 29,5<sup>m</sup>.

Возникает вопрос: насколько точны полученные результаты?

Имея под руками только «Школьный астрономический календарь», нельзя ответить на поставленный вопрос. Но если воспользоваться «Астрономическим ежегодником СССР», где экваториальные координаты Марса указываются для каждой даты с точ-

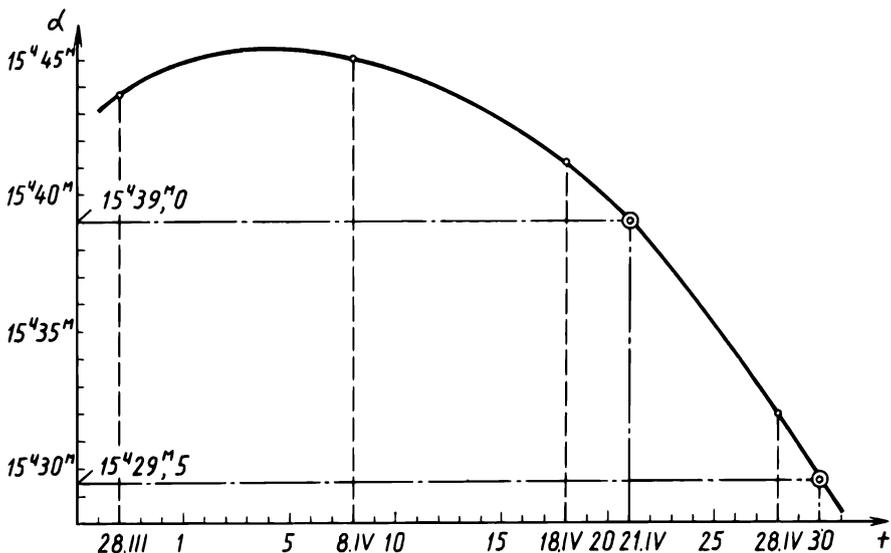


Рис. 54. Графические методы интерполирования и экстраполирования с помощью лекал.

ностью до сотых долей секунды, то легко определить расхождения в результатах.

Проведем такие сравнения. Для этого вначале выпишем результаты линейного интерполирования, далее результаты интерполирования с помощью лекал и, наконец, данные, взятые из «Астрономического ежегодника СССР», с округлением до сотых долей минуты времени:

Дата	Линейное интерполирование, $\alpha$	Интерполирование с лекалами, $\alpha$	Данные из «Ежегодника»	
			$\alpha$	$\delta$
21.IV.1984	$15^{\circ}38,5''$	$15^{\circ}39,0''$	$15^{\circ}38,92''$	$-18^{\circ}44,8'$
30.IV.1984	$15^{\circ}30,3''$	$15^{\circ}29,5''$	$15^{\circ}29,49''$	$-18^{\circ}33,6'$

Как видно из таблицы, интерполирование и экстраполирование с помощью лекал в данном случае позволило получить результаты, отклоняющиеся от приведенных в «Ежегоднике» всего на  $0,02''$  и  $0,01''$  (у других исполнителей результаты могут быть и несколько лучшими, и несколько худшими).

Методы линейного интерполирования и экстраполирования хотя и дают менее точные результаты, но в данном случае и они немного отклоняются от данных «Ежегодника» — всего на  $0,42''$  и  $0,81''$ . Поэтому, если не требуется большая точность, можно ограничиваться во многих случаях линейными методами.

В случае, если возникает потребность в более точном интерполировании (или экстраполировании), следует обращаться к аналитическим методам.

Наиболее простым и доступным из них является метод, основанный на использовании интерполяционного полинома общего вида. Об этом будет рассказано в следующем параграфе (§ 22) в связи с изложением вопроса о приближенном представлении функциональной зависимости.

Остальные аналитические методы интерполирования и экстраполирования сложны и громоздки. При желании с ними можно познакомиться по специальной литературе [18].

## § 22. Приближенное представление функциональной зависимости

При обработке наблюдений может возникнуть необходимость в установлении функциональной зависимости между отдельными величинами, приближенные числовые значения которых были найдены либо непосредственно при выполнении наблюдений, либо в результате их предварительной обработки.

Будем в общем случае эти величины обозначать через  $y$  (функция) и  $t$  (аргумент), а их значения называть эмпирическими (т. е. опытными) значениями. Поскольку они приближенные, то и отыскиваемая зависимость между ними будет, очевидно, также приближенной. Ее обычно называют эмпирической функциональной зависимостью, а величину  $y$  — эмпирической функцией от  $t$ :

$$y = f(t).$$

Пусть из наблюдений или из их предварительной обработки получен ряд эмпирических значений величин  $t$  и  $y$ , представленных следующей таблицей:

Таблица 11

$t$	$t_0$	$t_1$	$t_2$	...	$t_n$
$y$	$y_0$	$y_1$	$y_2$	...	$y_n$

Требуется найти эмпирическую функцию  $y = f(t)$ , которая приближенно представляла бы зависимость между величинами  $t$  и  $y$ .

Поставленная задача может решаться графически и аналитически.

Графическое решение наиболее просто и наглядно. Оно заключается в том, что в прямоугольной системе координат, где по оси абсцисс откладываются значения аргумента  $t$ , а по оси ординат — значения функции  $y$ , строятся эмпирические точки  $M_0(t_0, y_0)$ ,  $M_1(t_1, y_1)$  и т. д., через которые затем с помощью лекала проводят плавную кривую (рис. 55). Эта кривая, принимаемая за приближенный график функции  $y = f(x)$ , и является графическим решением поставленной задачи.

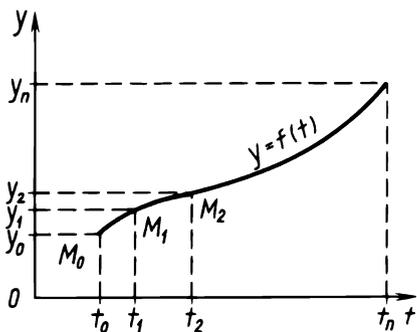


Рис. 55. График эмпирической функции.

Аналитическое решение является более трудоемким, но вместе с тем и более точным. Оно сводится в конечном счете к нахождению приближенного равенства, связывающего аргумент и функцию.

Из аналитических способов решения поставленной задачи наиболее простым и доступным для учащихся является приближенное представление функциональной зависимости с помощью полинома (многочлена) общего вида, степень которого на единицу ниже числа эмпирических точек.

Пусть, например, мы располагаем тремя эмпирическими значениями аргумента и функции, сведенными в таблицу:

$t$	$t_0$	$t_1$	$t_2$
$y$	$y_0$	$y_1$	$y_2$

Тогда функциональную зависимость между ними можно приближенно представить полиномом второй степени

$$y = at^2 + bt + c. \quad (1)$$

Для определения его коэффициентов  $a$ ,  $b$  и  $c$  надо поочередно в равенство (1) вместо аргумента  $t$  и функции  $y$  подставить их соответственные значения из таблицы и решить систему из трех уравнений.

**Пример.**

Группой учащихся — членов школьного астрономического кружка, проводивших наблюдения независимо друг от друга методом многократного счета, были получены следующие данные о часовом числе ( $N$ ) метеоров потока Орионид (т. е. об усредненном числе метеоров, наблюдавшихся в течение 1 ч):

Таблица 12

Периоды наблюдений	Средний момент времени, $t$	Часовое число метеоров, $N$
1 ч 30 мин — 2 ч 30 мин	2 ч	5,21
2 ч 30 мин — 3 ч 30 мин	3 ч	8,24
3 ч 30 мин — 4 ч 30 мин	4 ч	10,39

По этим данным представить приближенно функциональную зависимость  $N$  от  $t$  полиномом общего вида и определить значение функции  $N$  для средних моментов времени  $t = 1$  ч и  $t = 5$  ч. Найти также максимальное значение функции  $N$ .

Р е ш е н и е.

Функциональную зависимость  $N$  от  $t$  будем искать в виде полинома второй степени

$$N = at^2 + bt + c. \quad (2)$$

Из заданной таблицы выписываем соответствующие значения  $t$  и  $N$ :

$$\begin{aligned} t_0 = 2; \quad t_1 = 3; \quad t_2 = 4 \\ N_0 = 5,21; \quad N_1 = 8,24; \quad N_2 = 10,39 \end{aligned}$$

(наименования единиц временно опускаем).

Подставляя эти значения поочередно вместо  $t$  и  $N$  в полином (2), получим следующую систему уравнений:

$$\left. \begin{aligned} 5,21 &= 4a + 2b + c \\ 8,24 &= 9a + 3b + c \\ 10,39 &= 16a + 4b + c \end{aligned} \right\}$$

Решая ее относительно  $a$ ,  $b$  и  $c$ , найдем следующие значения коэффициентов (проверьте сами):

$$a = -0,44; \quad b = 5,23; \quad c = -3,49.$$

Следовательно, искомый полином будет:

$$N = -0,44t^2 + 5,23t - 3,49. \quad (3)$$

Этот полином и задает приближенно функциональную зависимость между часовым числом  $N$  метеоров и временем  $t$ .

Воспользуемся теперь формулой (3) для нахождения значений функции  $N$  для указанных в условии задачи средних моментов времени  $t = 1$  ч и  $t = 5$  ч. Имеем:

$$\begin{aligned} N(1) &= -0,44 \cdot 1^2 + 5,23 \cdot 1 - 3,49 = 1,30, \\ N(5) &= -0,44 \cdot 5^2 + 5,23 \cdot 5 - 3,49 = 11,66. \end{aligned}$$

Итак, мы нашли, что усредненное (для всех наблюдателей) часовое число метеоров в интервале времени от 0<sup>h</sup>30<sup>m</sup> до 1<sup>h</sup>30<sup>m</sup> предположительно равно 1,30, а в интервале времени от 4<sup>h</sup>30<sup>m</sup> до 5<sup>h</sup>30<sup>m</sup> — 11,66.

Определим, наконец, наибольшее значение функции  $N$ . Для этого найдем производную от этой функции по  $t$ :

$$N' = -0,88 \cdot t + 5,23.$$

Приравнивая ее к нулю, получим:

$$-0,88 \cdot t + 5,23 = 0, \text{ т. е. } t_{\max} = 5,94 \text{ ч.}$$

Внося это значение  $t$  в формулу (3), мы и найдем наибольшее значение функции  $N$ :

$$N_{\max} = -0,44 \cdot 5,94^2 + 5,23 \cdot 5,94 - 3,49, \text{ т. е. } N_{\max} = 12,06.$$

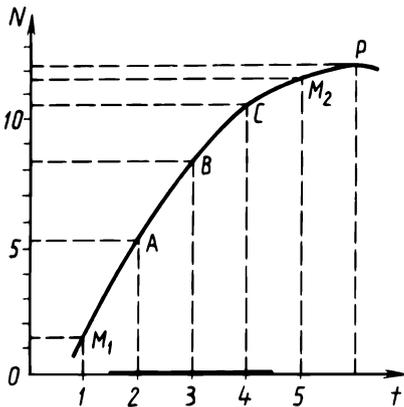


Рис. 56. График зависимости между часовым числом метеоров потока Орионид и временем.

предварительно построенные эмпирические точки  $A$ ,  $B$  и  $C$ , и есть график функциональной зависимости между  $N$  и  $t$ , выраженной полиномом (3). На этой кривой (параболе) отмечены точки  $M_1$  и  $M_2$  с абсциссами  $t = 1$  ч и  $t = 5$  ч и с ординатами  $N(1) = 1,3$  и  $N(5) = 11,7$ , а также точка  $P$ , соответствующая наибольшему значению функции  $N = 12,1$  при  $t = 5,9$  ч.

Таким образом, графическое решение задачи практически совпало с ее аналитическим решением.

### § 23. Элементы теории ошибок

При выполнении наблюдений и их обработке очень часто приходится производить различные измерения. Однако всякое измерение сопряжено с ошибками и дает не точное, а лишь приближенное значение измеряемой величины. Поэтому результаты непосредственных измерений должны быть подвергнуты специальной математической обработке, целью которой является:

- 1) нахождение наилучшего приближенного значения измеряемой величины;
- 2) определение точности произведенных измерений (или точности измерительного прибора);
- 3) определение надежности оценки истинного значения измеряемой величины.

Эти задачи являются основными в теории ошибок. На их решении мы остановимся несколько ниже, после того как познакомимся с некоторыми дополнительными фактами и, прежде всего, с ошибками измерений.

Таким образом, согласно наблюдениям, своего наибольшего значения, равного 12,06 метеоров в 1 ч, часовое число  $N$  метеоров потока Орионид достигает к моменту времени  $t = 5,94$  ч.

Эти результаты вместе с исходными наблюдательными данными (указанными в таблице) отражают хорошо известный факт: интенсивность метеорного потока в течение ночи постепенно нарастает и достигает своего наибольшего значения в преддурные часы.

Интересно отметить, что данную задачу можно решить и графически. Такое ее решение показано на рисунке 56, где кривая, проведенная с помощью лекала через

## 1. Ошибки измерений

**Ошибкой (погрешностью) измерения  $\Delta$**  называется разность между результатом измерения  $x$  и истинным значением  $a$  измеряемой величины:

$$\Delta = x - a. \quad (4)$$

Ошибки измерения бывают систематические, случайные, личные и грубые. Основными из них являются систематические и случайные ошибки.

Систематические ошибки появляются вследствие неточности измерительных инструментов или несовершенства метода измерения. Они выявляются тщательным обследованием инструментов, и либо определяется их значение, либо они исключаются надлежащей организацией наблюдений.

Случайные ошибки появляются в результате совокупного действия многих, не поддающихся строгому учету, случайных причин. Эти ошибки неизбежны при любых измерениях, и устранить их невозможно. Наличие случайных ошибок проявляется в том, что неоднократные измерения одной и той же величины, выполненные в одинаковых условиях, дают различные, хотя и довольно близкие между собой результаты. Учет влияния случайных ошибок на результаты измерений является главной задачей теории ошибок.

Личные ошибки обусловлены физиологическими особенностями наблюдателей. Опыт показывает, что результаты измерений какой-нибудь определенной величины, выполняемых в одинаковых условиях разными наблюдателями, будут несколько отличаться между собой. Этот факт и является причиной личных ошибок каждого наблюдателя. Личные ошибки меняются без видимой закономерности от наблюдения к наблюдению. Поэтому их обрабатывают как случайные ошибки.

Грубые ошибки легко выявляются при повторных измерениях. Они являются результатом «зевка» наблюдателя или же следствием резкого нарушения нормальных условий наблюдений. Измерения с грубыми ошибками резко отличаются от остальных измерений и должны быть отброшены как не внушающие доверия.

В дальнейшем мы будем чаще всего предполагать, что результаты измерений, освобожденные от влияния систематических и грубых ошибок, содержат только случайные (в том числе и личные) ошибки.

### 2. Законы распределения случайных ошибок и результатов измерений

Анализ многочисленных опытов и наблюдений показывает, что случайные ошибки, появляющиеся при многократных измерениях одной и той же величины, подчиняются вполне определенным закономерностям:

1) количество положительных и отрицательных ошибок примерно одинаково;

2) чем больше абсолютная величина ошибки, тем реже она встречается.

Поскольку, как это вытекает из соотношения (4), каждый результат отдельного измерения равен сумме истинного значения измеряемой величины и соответствующей случайной ошибки, то очевидно, что результаты измерений подчиняются тем же самым закономерностям, что и случайные ошибки: количество результатов измерений «с избытком» и «с недостатком» примерно одинаково; чем грубее (т. е. менее точен) результат измерения, тем он встречается реже.

Рассмотрим это более подробно на следующем конкретном примере.

Пример.

Группе учащихся, состоящей из 26 человек, было предложено очень тщательно измерить угловой экваториальный диаметр  $D$  Юпитера с помощью окулярного микрометра. Ранее было установлено, что данный микрометр всегда «занижает» значение измеряемого угла на  $0,3''$ , т. е. его постоянная поправка равна  $+0,3''$ .

Результаты всех измерений диаметра Юпитера после соответствующих поправок занесены во второй столбик следующей таблицы:

Таблица 13

№ п/п	$D$	$\Delta D$	$(\Delta D)^2$
1	48,3''	0,06''	0,0036''
2	48,2	-0,04	0,0016
3	48,4	0,16	0,0256
4	48,1	-0,14	0,0196
5	48,5	0,26	0,0676
6	48,2	-0,04	0,0016
7	48,3	0,06	0,0036
8	48,1	-0,14	0,0196
9	48,1	-0,14	0,0196
10	48,0	-0,24	0,0576
11	48,4	0,16	0,0256
12	48,2	-0,04	0,0016
13	52,5	—	—
14	48,3	0,06	0,0036
15	48,2	-0,04	0,0016
16	48,3	0,06	0,0036
17	48,2	-0,04	0,0016
18	48,3	0,06	0,0036
19	48,5	0,26	0,0676
20	48,0	-0,24	0,0576
21	47,9	-0,34	0,1156
22	48,6	0,36	0,1296
23	48,2	-0,04	0,0016
24	48,3	0,06	0,0036
25	48,1	-0,14	0,0196
26	48,4	0,16	0,0256
$\Sigma$	1206,1''	$\Sigma$	0,6820''

Требуется по этим данным, отбросив измерения, резко отличающиеся от остальных (т. е. являющиеся следствием грубых ошибок, если, конечно, таковые имеются), проанализировать распределение случайных ошибок и распределение результатов измерений.

**Р е ш е н и е.** Прежде всего, внимательно просматривая результаты измерений, легко обнаруживаем среди них одно, резко отличающееся от остальных (в таблице оно значится под номером 13 и заключено в рамку). Так как оно является следствием грубой ошибки, то его отбрасываем. Таким образом, всего остается 25 измерений, пригодных для дальнейшей работы.

Сначала найдем среднее арифметическое из всех измерений, которое является (в данной серии измерений) наилучшим приближенным значением ( $D_{\text{ср}}$ , или  $\bar{D}$ ) истинного углового экваториального диаметра Юпитера. Для этого предварительно найдем сумму всех измерений и запишем ее в последней строке (помеченной знаком  $\Sigma$ ) таблицы. Среднее арифметическое из всех измерений вычислим по хорошо известной формуле

$$\bar{D} = D_{\text{ср}} = \frac{\sum_{i=1}^n D_i}{n}, \quad (5)$$

где  $D_i$  — отдельные измерения,  $n$  — число всех измерений. В нашем случае получится:

$$\bar{D} = \frac{1206,1''}{25} = 48,24''.$$

Теперь по формуле

$$\Delta D_i = D_i - \bar{D} \quad (6)$$

вычислим ошибки (погрешности) отдельных измерений и занесем их в третий столбик исходной таблицы (в этой таблице имеется еще и четвертый столбик, содержащий квадраты этих ошибок, он нам потребуется немного позже). Как видно, эти ошибки различаются между собой по абсолютной величине и по знаку. Количество тех или иных ошибок также различно.

Подсчитаем теперь число повторений каждой отдельной ошибки и результаты занесем в следующую таблицу:

Т а б л и ц а 14

$\Delta^- D$	$n$	$\omega$	$\Delta^+ D$	$n$	$\omega$
-0,04''	6	24%	+0,06''	6	24%
-0,14	4	16	+0,16	3	12
-0,24	2	8	+0,26	2	8
-0,34	1	4	+0,36	1	4
$\Sigma$	13	52%	$\Sigma$	12	48%

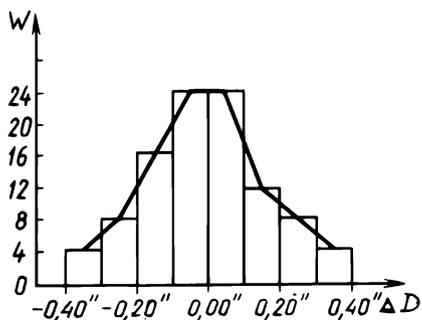


Рис. 57. Гистограмма и огибающая распределения случайных ошибок измерений углового экваториального диаметра Юпитера.

в частности, видно, что количество отрицательных ошибок (13) приблизительно равно количеству положительных ошибок (12) и что чем меньше случайная ошибка по своей абсолютной величине, тем чаще она повторяется. Эти же закономерности хорошо прослеживаются и на рисунке 57, где приведена гистограмма (ступенчатая фигура) распределения случайных ошибок, построенная по данным таблицы 14.

Для ее построения в прямоугольной координатной системе на оси абсцисс откладывались (по обе стороны от точки 0) интервалы рассеяния случайных ошибок  $\Delta D$  длиной в  $0,10''$  каждый, а по оси ординат — их относительные частоты  $w$  выраженные в процентах. На этих интервалах затем строились прямоугольные столбики с высотами, равными (в принятом масштабе) относительным частотам случайных ошибок, попавших в соответствующие интервалы. Так, например, на интервале от 0 до  $0,10''$  (для  $0,04''$ ) был построен столбик высотой в 24 единицы, потому что относительная частота случайных ошибок из этого интервала равна 24% (6 ошибок из 25 находятся в этом интервале).

Для усиления наглядности характера распределения случайных ошибок в зависимости от их величины можно еще построить огибающую, т. е. ломаную линию, звенья которой последовательно соединяют середины верхних сторон всех прямоугольников, составляющих гистограмму. На рисунке 57 огибающая показана толстой линией. Она, как и гистограмма, своей формой и крутизной подъема наглядно характеризует точность выполненных измерений: чем круче и выше поднимается огибающая в средней своей части и чем меньше ее основание (проекция на ось абсцисс), тем точнее были выполнены сами измерения, так как в этом случае очень многие случайные ошибки будут близки к нулю. И наоборот, чем ниже расположена огибающая, тем больше в измерениях было допущено значительных ошибок и, значит, сами измерения были менее точными.

Зададимся теперь следующим важным вопросом: что будет про-

В этой таблице отрицательные ошибки обозначены через  $\Delta^-D$ , а положительные через  $\Delta^+D$ ; кроме того, через  $n$  обозначено число повторений каждой ошибки, а через  $w$  — их относительная частота, т. е. отношение числа  $n$  к общему количеству всех ошибок, которое в нашем случае равно 25. Относительную частоту принято выражать либо дробью, либо в процентах. В нашей таблице она выражена в процентах.

Таблица 14 дает искомое распределение случайных ошибок измерений по их величине. Из нее,

исходить с огибающей, если количество измерений (а значит, и число случайных ошибок), постепенно увеличиваясь, достигнет сначала нескольких сотен, затем — нескольких тысяч, десятков тысяч и т. д.?

Оказывается, как показывает теория, при неограниченном увеличении числа измерений огибающая будет все более и более приближаться к так называемой **кривой Гаусса**, являющейся графиком специальной функции

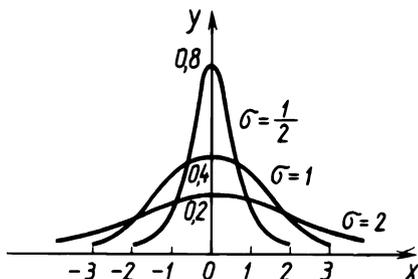


Рис. 58. Гауссова кривая распределения случайных ошибок (для разных  $\sigma$ ).

$$\bar{y} = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}}. \quad (7)$$

Она называется **функцией нормального распределения** (при  $\sigma = 1$  ее еще называют **функцией простейшего нормального распределения**). График этой функции при разных значениях параметра  $\sigma$  изображен на рисунке 58. Точный смысл этого параметра будет объяснен несколько ниже.

Рассмотрим полную обработку измерений на материале приведенного выше примера. Для этого необходимо определить:

- 1) наилучшее приближенное значение углового экваториального диаметра Юпитера;
- 2) точность произведенных измерений и их результатов;
- 3) надежность оценки истинного значения углового экваториального диаметра Юпитера.

**Решение.**

1. За наилучшее приближенное значение измеряемой величины принимают среднее арифметическое из всех ее измерений. Поскольку при решении примера среднее арифметическое  $\bar{D}$  (или  $D_{\text{ср}}$ ) из всех измерений  $D_i$  углового диаметра Юпитера было уже найдено, то нам остается только еще раз записать этот результат:  $\bar{D} = 48,24''$ . Это и будет наилучшее приближенное значение углового экваториального диаметра Юпитера, найденное из результатов измерений, занесенных в таблицу 13.

2. Точность измерений некоторой величины  $a$  оценивается величиной  $\sigma$ , которая вычисляется по эмпирической формуле

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}, \quad (8)$$

где  $n$  — число всех измерений,  $x_i$  — отдельное измерение,  $\bar{x}$  — среднее арифметическое всех измерений. Сама величина  $\sigma$  называется **средней квадратической ошибкой** одного измерения.

Заметим, кстати, что именно эта величина приближенно и является тем параметром, который фигурирует в формулах (7) и (8), задающих функцию нормального распределения (и притом тем точнее, чем больше  $n$ ).

Формула (8) служит, как мы только что отметили, для определения средней квадратической ошибки одного измерения (т. е. средней ошибки из ошибок всех измерений). И хотя это тоже важно, однако главной задачей при оценке точности измерений все же является нахождение средней квадратической ошибки самого приближенного результата, т. е. ошибки в приближенном равенстве

$$a \approx \bar{x}. \quad (9)$$

Для этой цели по предварительно вычисленной средней квадратической ошибке одного измерения  $\sigma$  находится величина

$$\bar{\sigma} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}, \quad (10)$$

которая и принимается за **среднюю квадратическую ошибку приближенного результата измерений**.

Заметим, что величину  $\sigma$  можно найти и непосредственно по формуле

$$\bar{\sigma} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}}. \quad (11)$$

Определив среднюю квадратическую ошибку  $\bar{\sigma}$  в приближенном равенстве (9), можно теперь (как это принято в теории ошибок) записать:

$$a = \bar{x} \pm \bar{\sigma}. \quad (12)$$

Следует, однако, заметить, что равенство это чисто условное: из него вовсе не следует, что  $a = \bar{x} - \bar{\sigma}$  и  $a = \bar{x} + \bar{\sigma}$ . В действительности оно просто означает, что истинное значение величины  $a$  лежит где-то в промежутке от « $\bar{x} - \bar{\sigma}$ » до « $\bar{x} + \bar{\sigma}$ », т. е.

$$\bar{x} - \bar{\sigma} \leq a \leq \bar{x} + \bar{\sigma}, \quad (13)$$

и, значит, любое число из этого промежутка может быть принято за истинное значение измерявшейся величины  $a$ .

Какими бы наисовершеннейшими измерительными приборами мы ни располагали и как бы тщательно ни производили измерения величины  $a$ , истинное (идеально точное) ее значение для нас всегда будет неизвестно. Единственное, что можно сделать, это сузить промежуток ( $\bar{x} - \bar{\sigma}$ ;  $\bar{x} + \bar{\sigma}$ ), в котором находится величина  $a$ , т. е. уменьшить среднюю квадратическую ошибку  $\bar{\sigma}$ . А для этого, как показывает формула (11), надо увеличить количество измерений, а сами измерения производить возможно более тщательно.

Вернемся теперь к нашему примеру. В его обозначениях формулы (8) и (9) теперь переписутся так:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta D_i)^2}{n-1}}, \quad (14)$$

$$\bar{\sigma} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta D_i)^2}{n(n-1)}}, \quad (15)$$

где  $\Delta D_i = D_i - \bar{D}$  — отдельные ошибки измерений, занесенные в третий столбик таблицы 14.

Подсчитаем квадраты ошибок всех измерений, а также их сумму и занесем полученные результаты в четвертый столбик этой же таблицы.

Теперь по формуле (14) находим среднюю квадратическую ошибку одного измерения (и, значит, приближенный параметр функции нормального распределения):

$$\sigma = \sqrt{\frac{0,06820}{24}} = 0,1685'' \approx 0,17''.$$

Наконец, по формуле (10) подсчитаем среднюю квадратическую ошибку самого результата измерения:

$$\bar{\sigma} = \frac{0,1685''}{\sqrt{25}} = 0,0337'' \approx 0,03''.$$

Оценив с помощью  $\sigma$  точность отдельных измерений, а с помощью  $\bar{\sigma}$  точность самого результата этих измерений, мы теперь можем окончательно записать:

$$D = 48,24'' \pm 0,03'',$$

что, как мы уже знаем, означает, что истинное значение углового экваториального диаметра Юпитера (в момент наблюдений) находилось где-то в промежутке от  $48,21''$  до  $48,27''$ , т. е.

$$48,21'' \leq D \leq 48,27''. \quad (16)$$

Однако и этот результат не может нас в полной мере удовлетворить, поскольку он не вполне достоверен (т. е. хотя бы в нескольких случаях из 100 или из 1000 угловой диаметр  $D$  может в действительности оказаться и вне этого промежутка). Поэтому необходимо еще определить вероятность того, что истинное значение величины  $D$  действительно удовлетворяет условию (16), т. е. лежит где-то в промежутке от  $48,21''$  до  $48,27''$ .

Другими словами, необходимо еще определить надежность оценки (16) истинного значения углового экваториального диаметра Юпитера. К этому мы сейчас и перейдем.

3. Надежность оценки (13) истинного значения измеряемой величины  $a$  (ее еще называют **доверительной вероятностью**) есть вероятность того, что истинное значение величины  $a$  находится где-то в промежутке  $(\bar{x} - \bar{\sigma}; \bar{x} + \bar{\sigma})$ , который обычно еще называют **доверительным интервалом**.

А эта вероятность, в свою очередь, равна вероятности того, что случайные ошибки  $\Delta_i$  измерений не выйдут за пределы интервала  $(-\bar{\sigma}; \bar{\sigma})$ , т. е., другими словами, будет выполняться условие

$$-\bar{\sigma} \leq \Delta_i \leq \bar{\sigma}.$$

Но тогда, надежность оценки (13) можно определить, используя формулу интегральной вероятности:

$$P\{-\bar{\sigma} \leq \Delta_i \leq \bar{\sigma}\} = \Phi\left(\frac{\bar{\sigma}}{\bar{\sigma}}\right) = \Phi.$$

Интегральная вероятность  $\Phi = 0,6827$ . Следовательно, такой же будет и искомая вероятность:

$$P\{-\bar{\sigma} \leq \Delta_i \leq \bar{\sigma}\} = 0,6827, \text{ или } 68\%.$$

Применительно к нашему примеру это дает:

$$P\{-\bar{\sigma} \leq \Delta D_i \leq \bar{\sigma}\} = 0,6827, \text{ или } 68\%.$$

Такой же доверительной вероятностью, очевидно, будет определяться и надежность нашего результата:

$$D = 48,24'' \pm 0,03''.$$

Конечно, вероятность  $P = 0,6827$  еще не очень велика. Чтобы увеличить ее, а значит, повысить и надежность оценки (16), на практике нередко прибегают к так называемому правилу «трех сигм», согласно которому вместо вероятности  $P\{-\bar{\sigma} \leq \Delta D_i \leq \bar{\sigma}\}$  рассматривают вероятность  $P\{-3\bar{\sigma} \leq \Delta D_i \leq 3\bar{\sigma}\}$ .

Эта вероятность равна

$$P\{-3\bar{\sigma} \leq \Delta D_i \leq 3\bar{\sigma}\} = \Phi(3) = 0,9973, \text{ или } 100\%.$$

Увеличение доверительной вероятности почти до 100% здесь, очевидно, достигнуто за счет трехкратного расширения соответствующего доверительного интервала.

Итак, используя правило «трех сигм», мы можем окончательный результат обработки измерений углового экваториального диаметра Юпитера записать еще и так:

$$D = 48,24'' \pm 0,09''.$$

Надежность этой оценки, как мы только что выяснили, равна  $P = 0,9973$ , или 100%, в то время как надежность более «жесткой» оценки  $D = 48,24'' \pm 0,03''$  составляла только  $P = 0,6827$ , или 68%.

Возможны и другие оценки надежности (с соответствующим изменением длины доверительного интервала), но мы здесь на них останавливаться не будем.

## РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

### *Общие руководства*

1. Астрономический календарь. Постоянная часть. — М.: Наука, 1981.
2. Куликовский П. Г. Справочник любителя астрономии. — М.: Наука, 1971.
3. Мартынов Д. Я. Курс практической астрофизики. — М.: Наука, 1977.
4. Бакулин П. И., Кононович Э. В., Мороз В. И. Курс общей астрономии. — М.: Наука, 1983.
5. Дагаев М. М., Демин В. Г., Климишин И. А., Чаругин В. М. Астрономия. — М.: Просвещение, 1983.

### *К главе I*

6. Михельсон Н. Н. Оптические телескопы. — М.: Наука, 1976.
7. Навашин М. С. Телескоп астронома-любителя. — М.: Наука, 1979.
8. Сикорук Л. Л. Телескопы для любителей астрономии. — М.: Наука, 1982.

### *К главе II*

9. Цесевич В. П. Что и как наблюдать на небе. — М.: Наука, 1984.
10. Бронштэн В. А. Планеты и их наблюдение. — М.: Наука, 1979.
11. Андрианов Н. К., Марленский А. Д. Школьная астрономическая обсерватория. — М.: Просвещение, 1977.
12. Дагаев М. М. Солнечные и лунные затмения. — М.: Наука, 1978.
13. Михайлов А. А. Атлас звездного неба. — М.: Наука, 1978.
14. Астрономический календарь ВАГО. Переменная часть. — М.: Наука (ежегодно).
15. Школьный астрономический календарь. — М.: Просвещение (ежегодно).
16. Марленский А. Д. Учебный звездный атлас. — М.: Просвещение, 1971.
17. Чурюмов К. И. Кометы и их наблюдения. — М.: Наука, 1980.

### *К главе III*

18. Пулѣкин С. П. Вычислительная математика. — М.: Просвещение, 1980.
19. Агекян Т. А. Основы теории ошибок для астрономов и физиков. — М.: Наука, 1972.
20. Ивашев-Мусатов О. С. Теория вероятностей и математическая статистика. — М.: Наука, 1979.
21. Даффет-Смит П. Практическая астрономия с калькулятором. — М.: Мир, 1982.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие . . . . .	3
<b>Глава I. Испытание телескопов . . . . .</b>	<b>5</b>
§ 1. Введение . . . . .	—
§ 2. Определение основных характеристик оптики телескопов . . . . .	6
§ 3. Проверка качества оптики телескопа . . . . .	15
§ 4. Окуляры и предельные увеличения телескопа . . . . .	22
§ 5. Монтировки телескопов и их характеристики . . . . .	28
§ 6. Необходимые принадлежности телескопа . . . . .	36
§ 7. Дополнительные замечания . . . . .	40
<b>Глава II. Организация, содержание и методика проведения астрономических наблюдений . . . . .</b>	<b>41</b>
§ 8. Введение . . . . .	—
§ 9. Возможности визуальных и фотографических наблюдений с телескопами . . . . .	43
§ 10. Визуальные наблюдения планет . . . . .	48
§ 11. Фотографические наблюдения планет . . . . .	59
§ 12. Визуальные наблюдения Луны . . . . .	64
§ 13. Фотографические наблюдения Луны . . . . .	66
§ 14. Визуальные наблюдения Солнца . . . . .	67
§ 15. Фотографические наблюдения Солнца . . . . .	70
§ 16. Наблюдения солнечных и лунных затмений . . . . .	72
§ 17. Визуальные наблюдения переменных звезд . . . . .	75
§ 18. Фотографические наблюдения переменных звезд . . . . .	79
§ 19. Использование результатов наблюдений в учебном процессе . . . . .	82
<b>Глава III. Простейшие математические методы обработки наблюдений . . . . .</b>	<b>92</b>
§ 20. Вводные замечания . . . . .	—
§ 21. Простейшие способы интерполирования . . . . .	93
§ 22. Приближенное представление функциональной зависимости . . . . .	99
§ 23. Элементы теории ошибок . . . . .	102
Рекомендуемая литература . . . . .	111

**Николай Константинович Андрианов**  
**Аркадий Данилович Марленский**

### АСТРОНОМИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ В ШКОЛЕ

Зав. редакцией *И. А. Иванов*. Редактор *Л. Л. Величко*. Младший редактор *О. В. Агапова*. Художники *С. Ф. Лухин, Н. А. Сайчук, В. С. Давыдов*. Художественный редактор *В. М. Прокофьев*. Технический редактор *И. Е. Хилобок*. Корректор *А. А. Семина*.

ИБ № 10089

Сдано в набор 06.04.87. Подписано к печати 06.10.87. А 11081. Формат 60×90<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага кн.-журн. отеч. Гарнитура Литературная. Печать офсетная. Усл. печ. л. 7,0. Усл.кр.-отт. 7,5. Уч.-изд л. 7,63. Тираж 60 000 экз. Заказ 289. Цена 20 коп.

Ордена Трудового Красного Знамени издательство «Просвещение» Государственного комитета РСФСР по делам издательства, полиграфии и книжной торговли. 129846, Москва, 3-й проезд Марьиной рощи, 41. Ярославский полиграфкомбинат Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательства, полиграфии и книжной торговли. 150014, Ярославль, ул. Свободы, 97.

20 коп.

