

УДК 523.98

## Юстировка солнечного башенного телескопа и спектрографа *Методическое пособие*

*Н.Н. Степанян, Г.А. Сунница, В.М. Малащук*

НИИ “Крымская астрофизическая обсерватория” КНУ им. Т. Шевченко, Научный,  
АР Крым, Украина, 98409  
*nataly@crao.crimea.ua*

Поступила в редакцию 24 февраля 2014 г.

**Аннотация.** Вопросы установки и юстировки башенного телескопа рассмотрены на примере телескопа БСТ-2 НИИ “КрАО”. Авторы приводят оптические схемы телескопа и спектрографа, а также перечисляют основные требования к взаимному расположению отдельных узлов телескопа. Кроме того, описаны простые методы юстировки элементов телескопа и спектрографа.

ADJUSTING OF THE TOWER SOLAR TELESCOPE AND SPECTROGRAPH (METHODICAL MANUAL), by *N.N. Stepanian, G.A. Sunitsa, V.M. Malashchuk*. Questions of installation and adjustment of the tower solar telescope are considered through the example of the telescope TST-2 of the Research Institute “Crimean Astrophysical Observatory”. The authors provide optical circuits of the telescope and spectrograph, and also they list the basic requirements for the mutual arrangement of individual components of the telescope. They also describe simple methods of adjusting elements of the telescope and spectrograph.

**Ключевые слова:** солнечный телескоп; юстировка

---

## 1 Введение

Башенные солнечные телескопы предназначены для получения изображений Солнца больших размеров. Их конструктивная особенность – расположение оптических элементов телескопа на разных этажах и в подвале башни. Это позволяет использовать главное вогнутое зеркало телескопа с большим фокусным расстоянием. Установка одного или нескольких кассегреновских выпуклых зеркал дает возможность увеличить фокусное расстояние всей системы и получить несколько вариантов размеров изображений Солнца. Приемные устройства – спектрографы, магнитографы, фотометры, как правило, располагаются в горизонтальной плоскости.

Рассмотрим вопросы установки и юстировки башенного телескопа на примере телескопа БСТ-2 НИИ “КрАО” (Букач и др., 1990).

Здание, в котором расположен телескоп, представлено на рис. 1, вид целостной установки показан на рис. 2.



Рис. 1. Здание телескопа БСТ-2



Рис. 2. Целостатная установка телескопа БСТ-2

## 2 Оптические системы телескопа

### 2.1 Оптическая схема телескопа

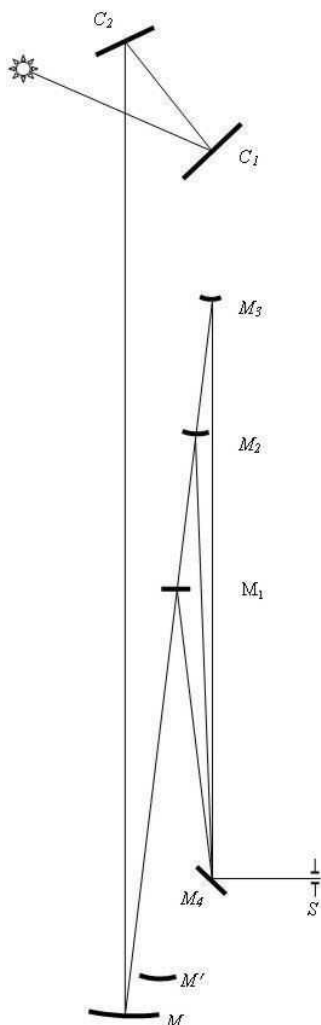


Рис. 3. Оптическая схема телескопа

Общая оптическая схема представлена на рис. 3.

$C_1$  – целостатное зеркало диаметром 600 мм,  $C_2$  – дополнительное зеркало диаметром 550 мм. Луч от  $C_2$  падает нормально на главное, сферическое зеркало  $M$  диаметром 450 мм с фокусным расстоянием 12 м. Отражаясь от главного зеркала  $M$ , луч направляется вверх, где его могут перехватить поочередно (путем наклона и отката) плоское зеркало  $M_1$  диаметром 220 мм или кассегреновские зеркала  $M_2$  диаметром 180 мм и  $M_3$  диаметром 140 мм – неподвижное. Комбинация главного зеркала и  $M_1$  имеет фокусное расстояние 12 м, зеркал  $M$  и  $M_2$  – 21 м,  $M$  и  $M_3$  – 35 м. При работе одной из комбинаций зеркал луч падает на диагональное зеркало  $M_4$ , отражаясь идет горизонтально и падает на щель  $S$  спектрографа, образуя здесь изображения Солнца диаметром  $\sim 110$ , 200 или 320 мм соответственно тому, работает ли зеркало  $M_1$ ,  $M_2$  или  $M_3$ . Угол поворота зеркала  $M_4$  для каждого кассегрена свой.

Если над главным зеркалом ввести сферическое зеркало <sup>1</sup> (малое главное зеркало) с диаметром 200 мм и фокусным расстоянием 8 м, то при помощи плоского зеркала  $M_1$  на щели спектрографа можно получить изображение Солнца диаметром  $\sim 80$  мм, при помощи  $M_2$  – 140 мм, при помощи  $M_3$  – 230 мм. Комбинация  $M^1$  и  $M_2$  используется при сканировании солнечного диска в линии He I 1083 нм.

### 2.2 Оптическая схема спектрографа

На рис. 4 представлена оптическая схема спектрографа. Цифрами 1–3 обозначены схемы для получения спектров с разными камерными зеркалами и приемниками излучения

В системе 1 при помощи камерного зеркала с фокусным расстоянием  $F = 7.5$  м спектр строится в кассетной части спектрографа. Эта система используется при измерении напряженности магнитных полей солнечных пятен и фотографических наблюдениях.

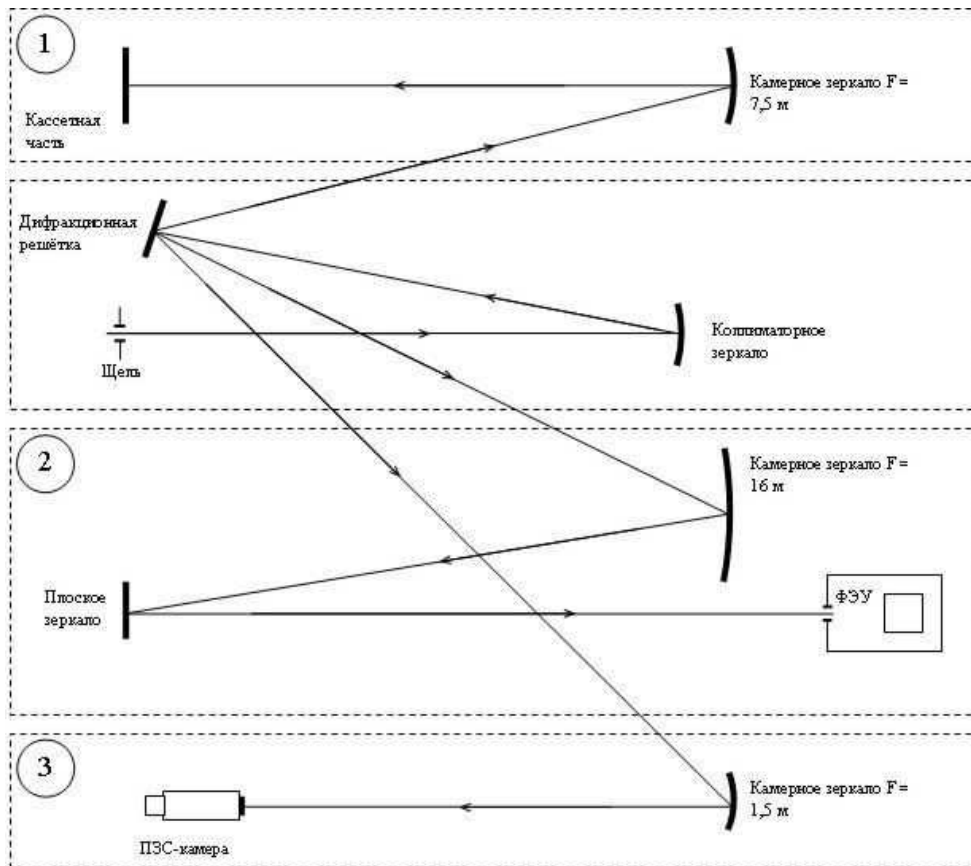


Рис. 4. Оптическая схема спектрографа

Система 2 состоит из камерного зеркала  $F = 16$  м и плоского зеркала, поворачивающего пучок. Изображение спектра строится на входной щели Универсального спектрофотометра (Степанян и др., 2001). Приемником излучения служит ФЭУ, чувствительный в близкой инфракрасной области спектра. Система используется при наблюдении Солнца в линии HeI 1083 нм.

В системе 3 камерное зеркало  $F = 1,5$  м строит изображение спектра на ПЗС-камере. Система используется для получения спектров отдельных деталей на Солнце и получения монохроматических изображений всего Солнца или отдельных участков на нем.

Все зеркала телескопа и спектрографа выполнены из ситалла, покрыты слоем алюминия, нанесенным вакуумным напылением. Коэффициент теплового расширения ситалла очень мал. Поэтому при наблюдениях, проводимых при положительных температурах воздуха, фокусировка кассегреновских зеркал практически не меняется. Только при температурах ниже  $-5^\circ$  требуется значительная перефокусировка кассегренов.

### 2.3 Относительное расположение оптических элементов телескопа и спектрографа

На верхней площадке башни с крышей, откатывающейся на север, установлены целостат (рис. 5) и дополнительное зеркало (рис. 6) к югу от него.

Целостат может перемещаться по рельсам в направлении восток – запад и вращаться вокруг оси, направленной на полюс мира. Основные требования к установке целостата: ось вращения должна быть точно направлена на полюс; при смещении целостата с запада на восток это направление не должно меняться; ось вращения целостата должна лежать на поверхности зеркала. Скорость

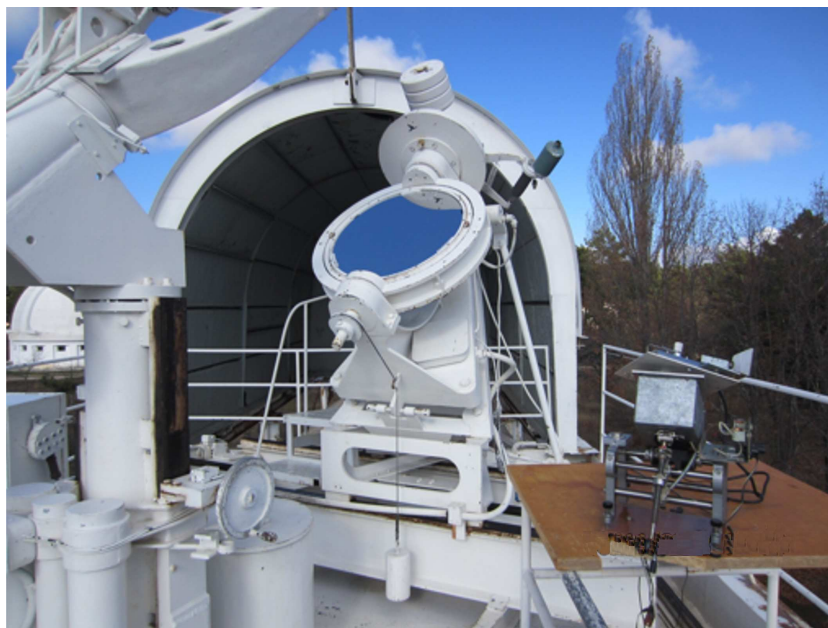


Рис. 5. Целостат телескопа



Рис. 6. Дополнительное зеркало телескопа

вращения целостата должна быть один оборот за 48 часов. Погрешности установки рельсов, оси, плоскости зеркала, скорости вращения оси исправляются по измерениям скорости и направлению смещения изображения Солнца в фокальной плоскости телескопа в разное время дня и при разном положении целостата на рельсах.



**Рис. 7.** Диагональное зеркало



**Рис. 8.** Щель спектрографа

Дополнительное зеркало укреплено на колонне. Зеркало может смещаться в вертикальном направлении. Наибольшее смещение вверх при наблюдениях зимой при низком Солнце, самое низкое положение зеркала летом. Первоначально колонна дополнительного зеркала должна быть выставлена так, чтобы вертикальная линия, проходящая через центр дополнительного зеркала, при любом положении колонны попадала в центр главного зеркала, расположенного в подвале. Для проверки правильности установки колонны используется отвес, укрепленный под центром зеркала. Если это условие не выполнено, то от зимы к лету направление пучка, отраженного от главного зеркала, и освещение кассегренгов будут меняться.

Вращение дополнительного зеркала осуществляется вокруг двух осей: полярной и перпендикулярной к ней оси. Его назначение – посылать свет Солнца от целостата на главное зеркало телескопа, расположенное в подвале. Напоминаем, что целостатное и дополнительное зеркала – плоские. Система параллельных пучков от Солнца дополнительным зеркалом направляется вниз на главное зеркало (М на рис. 3) – вогнутое сферическое зеркало.

На БСТ-2 система кассегренгов состоит из трех зеркал – двух выпуклых и одного плоского. Зеркало с наименьшим радиусом кривизны (М<sub>3</sub> на рис. 3) расположено в верхней части башни и укреплено неподвижно. Этот кассегрэн устанавливается и закрепляется так, чтобы угол между падающим на главное зеркало и отраженным от него пучками был наименьшим. При этом кассегрэн не должен экранировать пучок, падающий на главное зеркало. Для БСТ-2 этот угол порядка 3°.



Рис. 9. Коллиматорное и два камерных зеркала

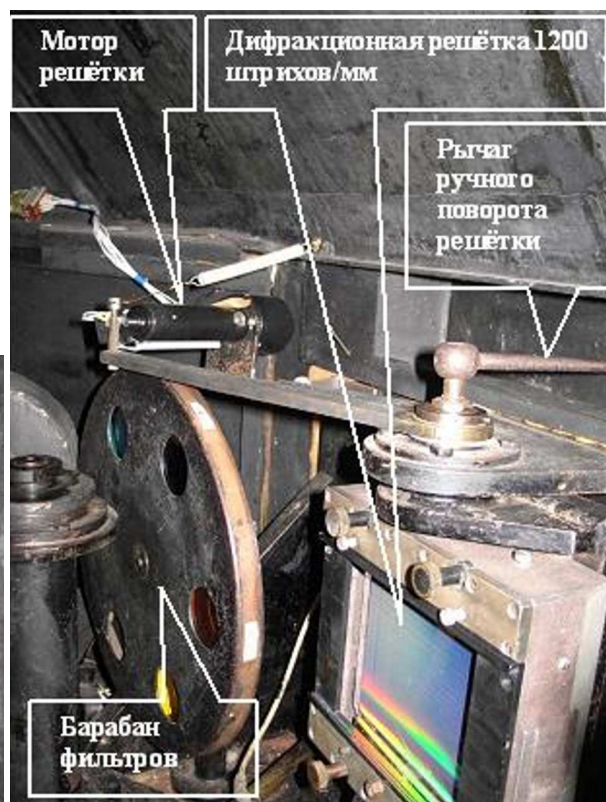


Рис. 10. Узел дифракционной решетки



Рис. 11. Решетка-эшелле и призма с вертикальным направлением дисперсии

Второе кассегреновское зеркало  $M_2$  с большим радиусом кривизны и плоское  $M_1$  зеркало расположены в средней части башни. В нерабочем положении они находятся в северной части башни. Для работы каждое из них вводится в пучок света от главного зеркала по рельсам с помощью мотора. Наблюдения проводятся с одним из этих трех зеркал. На уровне первого этажа башни находится плоское диагональное зеркало  $M_4$  (рис. 7).

Отраженные от трех зеркал в их рабочем состоянии пучки направляются в центр диагонального зеркала. Свет от диагонального зеркала направляется на щель S спектрографа (рис. 8).

Центры дополнительного, главного, кассегренов, диагонального зеркал и щель спектрографа должны лежать в одной вертикальной плоскости. Это главная вертикальная плоскость телескопа. В ней должна лежать и главная ось системы телескоп – спектрограф.

Поскольку углы падения пучков на диагональное зеркало от кассегренов разные, наблюдения с каждым из кассегренов требуют своего наклона диагонального зеркала относительно горизонтальной оси, проходящей по поверхности зеркала через его центр в направлении восток – запад.

На БСТ-2 это правило нарушено. Горизонтальная ось вращения диагонального зеркала проходит не через центр зеркала, а через его верхний край. Это приводит к тому, что главная ось системы телескоп – спектрограф может быть выставлена правильно только для наблюдения с каким-то одним кассегреном. Оптимальный вариант – правильная установка для кассегрена, дающего изображение Солнца 21 см.

Каждая из кассегреновских систем строит изображение Солнца на щели спектрографа. Свет, прошедший через щель, анализируется системами спектрографа. Их расположение не произвольно. Оно связано с направлением входящего пучка. Три точки: центр диагонального зеркала, центр щели и центр коллиматорного зеркала (рис. 9) должны лежать на одной линии – главной оси спектрографа.

Проходя через щель, расширяющийся световой пучок падает на коллиматорное зеркало и отражается от него в виде параллельного пучка. Далее параллельный пучок падает на дифракционную решетку (рис. 10). От решетки расходятся системы монохроматических параллельных лучей и, при помощи одного из трех камерных зеркал, изображение спектра строится либо в кассетной части, либо на входной щели ФЭУ, либо на элементах ПЗС-камеры.

В случае работы с решеткой-эшелле (рис. 11) она, вместе с установленной перед ней призмой с вертикальным направлением дисперсии, вводится в пучок, падающий от коллиматора на решетку. Отраженный от эшелле пучок направляется на камерное зеркало  $F = 7.5$  м.

### 3 Юстировка телескопа

#### 3.1 Установка основной системы телескопа с большим главным зеркалом

При установке зеркал телескопа в их оправы необходимо следить за выполнением следующих условий:

- Все зеркала не должны касаться металлических поверхностей оправ. Они должны лежать на трех опорных точках. В этих местах между зеркалом и оправой должны быть прокладки из пробки или толстого картона. То же относится к прижимному кольцу оправы. Прокладки на нем должны быть расположены над соответствующими прокладками на дне оправы. Три прокладки между боковыми стенками оправы и зеркалом должны располагаться на продолжении радиусов, на которых расположены прокладки на дне оправы и под прижимным кольцом.
- Целостатное зеркало должно лежать на трех подпятниках. Надо проследить, чтобы давление зеркала на них было равномерным (подпятники не прокручиваются рукой).
- Основная опасность при неправильной установке зеркал в оправы – это пережим зеркала в оправе в случае слишком толстых и слишком твердых прокладок. Это приводит к ухудшению качества изображения. Изображение точки превращается в вытянутую фигуру типа интеграла.
- Зеркала в оправках крепятся на свои рабочие места.

### 3.2 Установка светового пучка основной системы телескопа

- Целостатное зеркало устанавливается на рельсах восток – запад так, чтобы на него не падала тень от колонны дополнительного зеркала и угол падения солнечного света на целостат был минимален.
- Целостатное зеркало поворачиваем до максимального заполнения дополнительного зеркала пучком солнечного света. При необходимости поднимаем или опускаем колонну дополнительного зеркала.
- Луч от дополнительного зеркала направляем на главное зеркало телескопа при помощи двух ключей, позволяющих вращать дополнительное зеркало относительно двух осей. Одна ось грубо параллельна полярной оси, другая перпендикулярна к ней.
- От главного зеркала направляем пучок на неподвижный кассегрэн  $F = 30$  м ( $M_3$ , рис. 3). Поворот главного зеркала производится винтами, расположенными под оправой зеркала.
- Добившись хорошего заполнения светом кассегрена  $F = 30$  м, поворачиваем его так, чтобы пучок полностью заполнил диагональное зеркало. Эта операция проводится тремя винтами над верхней частью оправы кассегрена.
- При хорошо установленном пучке от главного зеркала к кассегрэну  $F = 30$  м накатываем кассегрэн  $F = 20$  м ( $M_2$ , рис. 3) до упора. Если при этом зеркало  $F = 20$  м не полностью заполнено светом в направлении север – юг, меняем положение конечного выключателя отката этого зеркала. Если же пучок смещен в направлении восток – запад, то это означает, что главное зеркало плохо установлено в этом направлении. Все операции, начиная с направления пучка на главное зеркало, надо повторить, сместив предварительно главное зеркало в нужном направлении (в сторону незаполненной части кассегрена  $F = 20$  м). Получив хорошее заполнение кассегрена  $F = 20$  м, направляем свет от него на диагональное зеркало при помощи трех винтов, аналогичных винтам кассегрена  $F = 30$  м.
- Вводим в пучок нижнее плоское зеркало  $F = 12$  м ( $M_1$ , рис. 3) и направляем свет от него на диагональное зеркало аналогично предыдущим операциям. При этом надо проследить, чтобы тень от зеркала  $F = 12$  м не падала на главное зеркало. Если это произошло, меняем положение конечного выключателя отката этого зеркала. После этого надо повторить юстировку, начиная с хорошего заполнения главного зеркала.

На этом юстировка основных систем телескопа закончена.

### 3.3 Установка системы телескопа с малым главным зеркалом

- Устанавливаем малое главное зеркало на его рельсах так, чтобы при направлении на него света от дополнительного зеркала тень от зеркала  $F = 12$  м не падала на малое главное зеркало.
- Направляем свет от малого главного зеркала последовательно на все кассегрены, как и в случае юстировки основной системы.

## 4 Юстировка спектрографа

### 4.1 Установка коллиматора

Юстировка спектрографа начинается с выставления оси спектрографа. Центр диагонального зеркала, входная щель спектрографа и центр коллиматорного зеркала должны лежать на одной прямой. Поскольку диагональное зеркало выставлено, щель не имеет свободы перемещения, остается выставить коллиматор (см. замечание о диагональном зеркале выше). Для этого вводим систему с кассегреном  $F = 21$  м, устанавливаем пучок по центру диагонального зеркала. После этого движением диагонального зеркала относительно двух осей (рукоятка с одной кнопкой) устанавливаем изображение Солнца симметрично относительно центра щели спектрографа.

В спектрографе выставляем коллиматор так, чтобы пучок, прошедший через щель спектрографа, попал на центр коллиматора. Для большей точности на коллиматор надеваем диафрагму с





Рис. 12. Фольга с круглым отверстием

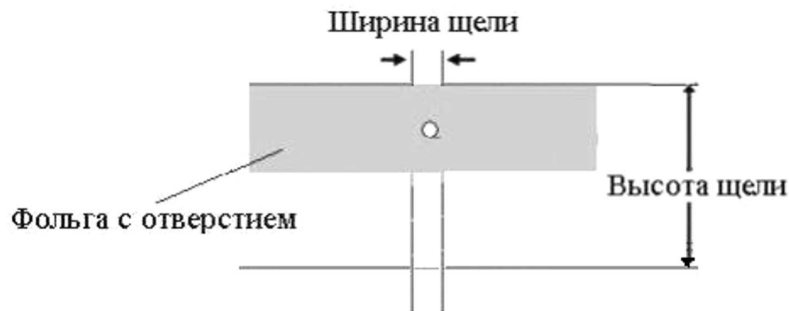


Рис. 13. Расположение Фольги с отверстием на щели спектрографа

центральной отверстием. Изменение высоты коллиматора проводится винтами на подставке его крепления. Расстояние от щели до коллиматора должно быть примерно 7.5 м. В дальнейшем это расстояние уточняется. Поворотом коллиматора вокруг вертикальной оси свет от него направляется на центр дифракционной решетки.

Решетка поворачивается вокруг вертикальной оси так, чтобы нулевой порядок попал на центр коллиматора и отразился в щель спектрографа. Для установки в нулевом приближении, когда неизвестно точное расстояние коллиматора от щели, можно сделать следующее.

Открыть входную щель спектрографа на полную высоту. Закрыть нижнюю половину щели экраном перед щелью. Внутри спектрографа на некотором расстоянии от щели установить плоское зеркало так, чтобы его верхняя граница была чуть ниже входящего пучка и отражала пучок, отраженный от решетки и коллиматора в направлении, перпендикулярном к оси спектрографа. Измерить расстояния щель – коллиматор (а), коллиматор – зеркало (b), зеркало – фокальная плоскость коллиматора (с). Сдвигая коллиматор вдоль оси спектрографа, добиться выполнения равенства  $a = b + c$ . После этого поворотом решетки добиться попадания отраженного от решетки и коллиматора пучка в нижнюю часть щели спектрографа. Поставить плоское зеркало перед щелью со стороны диагонального зеркала так, чтобы оно не закрывало верхнюю часть щели и направляло пучок, вышедший из спектрографа через нижнюю часть щели, перпендикулярно к оси спектрографа. Наблюдатель должен с помощью лупы увидеть входную щель и выходящий через нижнюю часть щели пучок.

Затем на верхнюю часть щели укрепляем фольгу с круглым отверстием (рис. 12 и рис. 13), сделанной иголкой.

В нижней части щели наблюдатель должен увидеть яркую точку такой же формы, как и отверстие в фольге. Перемещая лупу вдоль выходящего пучка надо найти положение лупы при наилучшем изображении точки, заметить положение лупы при этом. Затем найти положение лупы при наилучшем изображении щечек щели. Разность полученных положений лупы дает удвоенную разность  $L - f$ , где  $f$  – фокусное расстояние коллиматорного зеркала, а  $L$  – реальное расстояние коллиматора от щели. Сдвинув коллиматор на  $(L - f)/2$ , повторяем юстировку коллиматора до тех

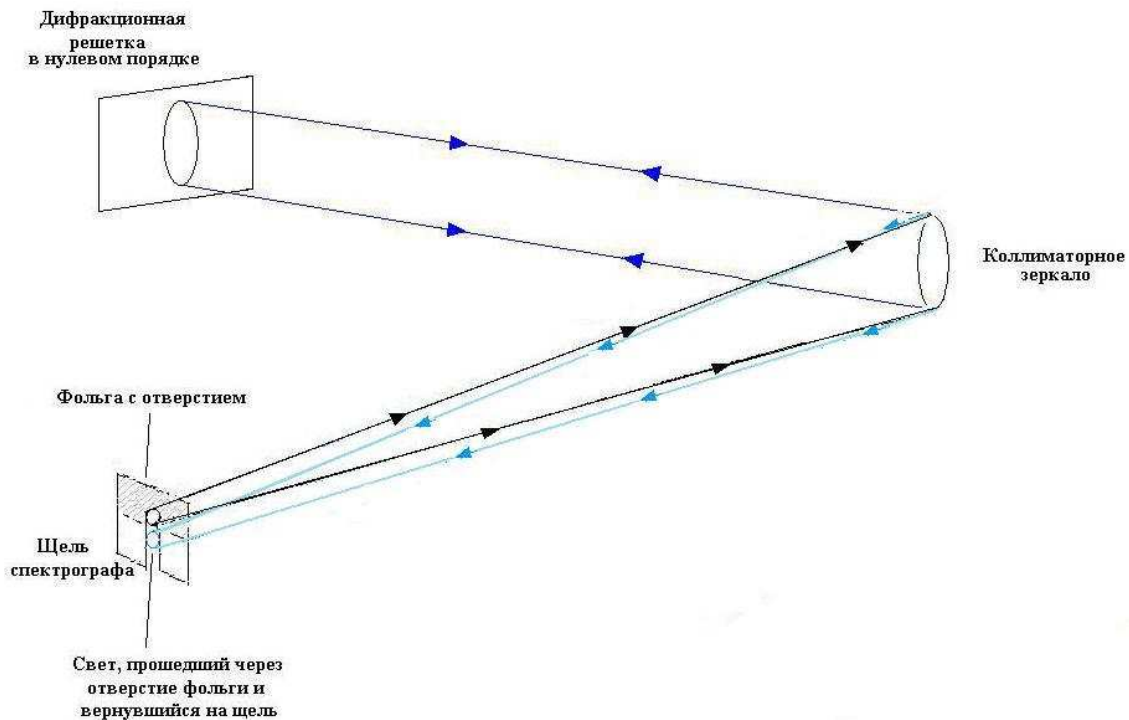


Рис. 14. Ход лучей при юстировке коллиматора

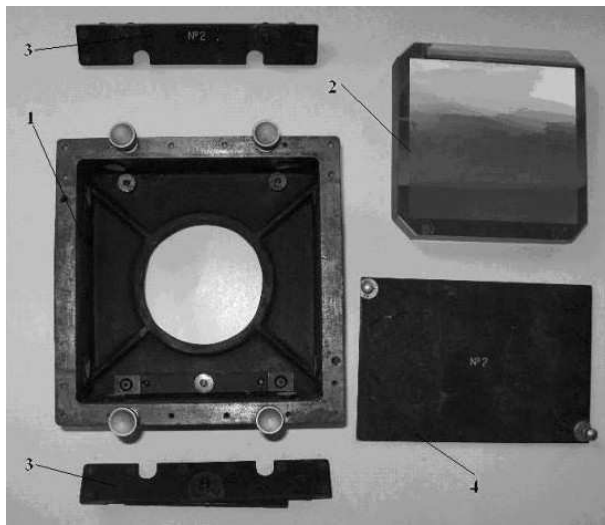
пор, пока одинаково четко (резко) не будут видны при одном и том же положении лупы и яркая точка, и щечки щели. Схематически ход лучей при этой операции изображен на рис. 14.

Если поверхность щели не является зеркальной, для фокусировки можно использовать пластинку с резким прямолинейным краем (например, лезвие безопасной бритвы). Приложив лезвие к поверхности щели так, чтобы край лезвия был перпендикулярен щели, невооруженным глазом смотреть на коллиматорное зеркало, освещенное пучком света, прошедшим через точечное отверстие на щели. Если при движении лезвия перпендикулярно щели (например, снизу вверх) освещенность коллиматора гаснет сначала с нижней стороны коллиматора, то фокус находится вне спектрографа, между щелью и глазом наблюдателя. При встречном движении лезвия и угасания пучка фокус внутри спектрографа. Смещением коллиматора надо добиться того, чтобы при движении лезвия пучок гас мгновенно.

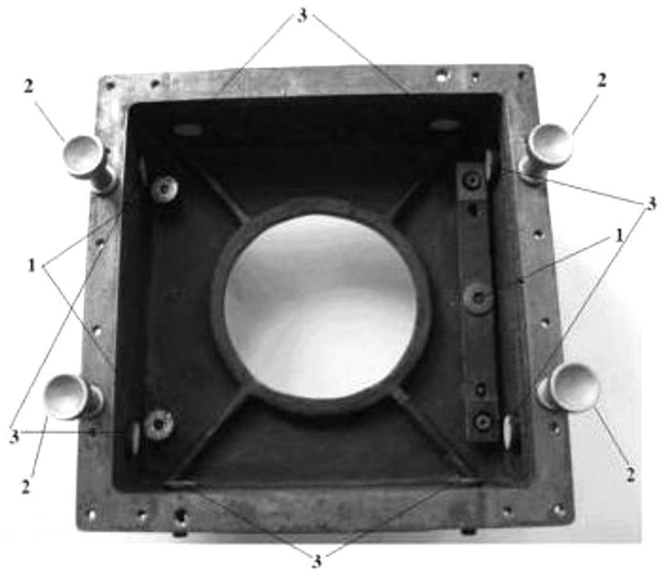
## 4.2 Установка решетки

### 4.2.1 Основные требования к установке решетки

- Ось вращения решетки должна быть вертикальна.
- Рабочая поверхность решетки должна лежать на оси вращения решетки.
- Штрихи решетки должны быть параллельны оси вращения решетки и направлению вертикальной оси щели спектрографа.
- Решетка не должна касаться металла оправы. На всех винтах, касающихся решетки, должны быть пробковые или картонные прокладки.
- Решетка не должна быть пережата креплениями, регулировочными винтами оправы.
- Работа с решеткой требует повышенной осторожности. Ее поверхности нельзя касаться, на нее нельзя дышать, над ней нельзя разговаривать. Пыль с решетки можно сдувать с помощью



**Рис. 15.** Оправа дифракционной решетки в комплекте: 1 – оправа; 2 – дифракционная решетка; 3 – пластины с вырезами для винтов крепления оправы к посадочному месту. На них закреплены регулировочные винты. Подробнее в тексте. 4 – крышка



**Рис. 16.** Оправа дифракционной решетки с регулировочными винтами. См. текст

резиновой груши, не касаясь поверхности и убедившись, что из груши не вылетает пыль или капли жидкости.

#### 4.2.2 Установка решетки в оправу

Детали оправы дифракционной решетки представлены на рис. 15 и рис. 16.

Дифракционная решетка в оправе должна быть установлена так, чтобы рабочая поверхность решетки находилась на оси вращения оправы.

На наружной и внутренней поверхности стенок оправы решетки нанесена черта, на уровне которой должна находиться рабочая поверхность решетки. На боковых частях оправы находятся регулировочные винты с подвижными головками для крепления решетки в оправе, по два винта на каждой стороне (3 на рис. 16). Три винта на дне оправы: слева два подпятника, а справа подпятник-коромысло (1 на рис. 16) регулируют высоту посадки дифракционной решетки в оправе и выставляют ее плоскость на уровне нанесенной черты, т. е. на оси вращения оправы дифракционной решетки. Четырьмя винтами (2 на рис. 16) оправа крепится на посадочном месте.

Надо убедиться, что на всех поверхностях винтов, соприкасающихся с решеткой, есть пробковые или картонные прокладки.

Для установки решетки в оправу используется приспособление, подобное показанному на рис. 17. Последовательность операций при установке решетки в оправу следующая.

- Сквозь отверстие в дне оправы вставляем стержень (рис. 17), на который кладем решетку. Осторожно поднимаем оправу до момента соприкосновения решетки с нижними опорными винтами. После этого вынимаем снизу стержень и устанавливаем оправу с решеткой на стол (рис. 18).
- При демонтаже оправа с дифракционной решеткой осторожно опускается на стержень таким образом, чтобы центр трубы-приспособления попал в отверстие оправы.



**Рис. 17.** Стержень – приспособление для монтажа/демонтажа дифракционной решетки



**Рис. 18.** Процесс монтажа/демонтажа дифракционной решетки

### 4.2.3 Юстировка решетки в спектрографе

- С помощью отвеса и винтов, крепящих блок щели спектрографа, выставляем щель по вертикали.
- Послав пучок света от коллиматора на решетку, вращаем решетку относительно вертикальной оси, отмечая на стенах спектрографа положение нулевого порядка. При этом удобно воспользоваться белыми пластинами, размещенными в нескольких местах на стенах спектрографа. Смещением оси вращения с помощью винтов в ее нижней части добиваемся одинаковой высоты положения нулевого порядка на всех пластинах. Ось вращения выставлена.
- На белых пластинах отмечены высоты, определяющие основную плоскость спектрографа. Нулевой порядок должен проходить в этой плоскости при вращении вертикальной оси. Добиться этого можно, изменяя наклон решетки к оси вращения плоскости решетки винтами, крепящимися на передней и задней стенках решетки, на пластинах (1 на рис. 16).
- Следующий шаг – установка вертикальности штрихов решетки. Для этого надо проследить, как смещаются порядки решетки относительно главной плоскости спектрографа при вращении решетки. С помощью винтов, крепящих торцы решетки (3 на рис. 16), добиваемся движения спектра в главной плоскости и вертикальности линий.
- Последний шаг – определение наиболее ярких порядков. В нулевом приближении на глаз определяем последовательно для всех видимых порядков, какой порядок ярче: правый или левый. Левыми порядками называются порядки, идущие от решетки влево для наблюдателя, стоящего рядом с решеткой и лицом к камерному и коллиматорному зеркалам.

### 4.2.4 Юстировка камерного зеркала $F = 7.5$ м

- Нулевой порядок от решетки направляем на центр камерного зеркала. Если по высоте пучок не попадает в центр камеры, то надо изменить высоту камерного зеркала.
- Находим положение фокуса камерного зеркала сначала грубо по визуально лучшему изображению. Смещаем камеру так, чтобы фокус находился в центре приемной части спектрографа – фокальной плоскости спектрографа.
- Найти фокус камерного зеркала по 0-порядку. Для этого помещаем на щель фольгу с точечным отверстием (рис. 12). Фольгу с отверстием прикрепляют на щель спектрографа так, чтобы фольга закрывала щель, а отверстие лежало на самой щели. Ширина щели произвольная, но не меньше диаметра отверстия в фольге.
- Увидим в кассете невооруженным глазом (без лупы) камерное зеркало, освещенное светом от дырки. Двигаем лезвие бритвы по пластине в кассете – фокальной плоскости камеры – в горизонтальном направлении. Если пучок света в камерном зеркале начинает исчезать с той же стороны, с которой мы двигаем лезвие, фокус находится между лезвием и нашим глазом. Зеркало надо сдвинуть от наблюдателя. Если свет в камерном зеркале исчезает с противоположной стороны, фокус находится между лезвием и камерным зеркалом, и зеркало надо приблизить к наблюдателю. При расположении фокуса в плоскости движения лезвия свет в камерном зеркале будет исчезать мгновенно по всей поверхности зеркала. Таким образом, определен сагитальный фокус.
- Повторив измерения при вертикальном движении лезвия, можно определить меридиональный фокус. Разность отсчетов обоих фокусов дает средний фокус. Выбор того или иного фокуса, или среднего значения, зависит от специфики решаемых задач.

### 4.2.5 Юстировка камерного зеркала $F = 16$ м

Камерное зеркало  $F = 16$  м по размеру не согласовано с остальными оптическими элементами спектрографа, участвующими в схеме 2 на рис. 4. Наименьшим элементом схемы является плоское зеркало, поворачивающее пучок от камерного зеркала на щель фотометра. Именно оно определяет размер невиньетированного пучка на поверхности камерного зеркала и в фокальной плоскости – на щели фотометра. На поверхности камерного зеркала размер невиньетированного пучка составляет

25 см, а в фокальной плоскости — 47 см. Ввиду большого диаметра камерного зеркала и его чисто сферической формы для уменьшения угла падения пучка на камерное зеркало можно выставлять пучок не по центру камерного зеркала.

Последовательность действий при юстировке.

- Поворотом решетки вокруг вертикальной оси поместить центр пучка нулевого порядка на камерном зеркале на расстоянии около 20 см от края зеркала, ближайшего к оси спектрографа.
- Винтами на оправе камерного зеркала направить пучок на центр плоского зеркала, ближайшего к кассетной части камеры  $F = 7.5$  м.
- Винтами на оправе плоского зеркала направить пучок на входную щель фотометра, предварительно установленную в центре линейки отсчета положения щели.
- Предварительную фокусировку камерного зеркала провести визуально, по нулевому порядку. А затем по используемому участку спектра с помощью экрана, перемещаемого вдоль оси пучка рядом со щелью фотометра. Более точная фокусировка проводится по записям спектра на фотометре при последовательных установках положения камерного зеркала по шкале на подставке зеркала.

#### 4.2.6 Юстировка камерного зеркала $F = 1.5$ м

Камерное зеркало 1.5 м строит изображение спектра на ПЗС-камере.

- При установке этого зеркала следует выполнить два условия: угол между пучками падающим на зеркало от решетки и отраженным от него должен быть минимальным, механические элементы схемы не должны экранировать пучок щель – коллиматор.
- Выбрав оптимальный вариант расположения зеркала и ПЗС-камеры, вращением решетки направляем нулевой порядок спектра на камерное зеркало.
- Поворотом камерного зеркала направляем нулевой порядок на центр ПЗС-камеры.
- После визуальной фокусировки записываем спектры при последовательных положениях ПЗС-камеры на рельсе с отсчетом положения камеры.

#### 4.2.7 Общие предосторожности при работе со спектрографом

- Необходимо обратить внимание на источники рассеянного света в спектрографе при работе с каждой из систем.
  - Проверять выключен ли верхний свет в спектрографе и освещение отсчета решетки, закрыты ли кассетная часть, дверца доступа к повороту решетки.
  - Закрыты ли крышки всех неработающих зеркал.
  - Установлены ли экраны и диафрагмы, предназначенные для уменьшения рассеянного света.
  - Время от времени проверять, не появились ли новые источники света, например, каналы проводов и какие-либо щели.
- Не снимать крышку со щели фотометра при включенном свете и при наведении нулевого порядка на эту щель.
- Выключать мотор тонкого движения решетки после каждого случая работы с ним.
- После конца наблюдений проверить, выключена ли вся аппаратура, закрыты ли крышки зеркал, фотометра и решетки. Оставить открытой дверь спектрографа и кассетную часть спектрографа.

## 5 Мытье зеркал

Раз в год в начале лета после цветения сосны и липы проводить генеральную влажную уборку телескопа и спектрографа, а также мытье всех зеркал.

Для мытья зеркал необходимы следующие материалы:

дистиллированная вода (10 л),  
вата 500 г,  
спирт 100 г,  
промокательная или чистая (без напечатанного текста) газетная бумага 1 пачка.

Необходимо знать, как проводилось последнее алюминирование зеркал — с закреплением слоя или без закрепления. В случае отсутствия закрепления надо быть особо осторожным при касании поверхности зеркала. В случае закрепления слоя некоторыми химикатами попадание воды на зеркало приводит к покраснению поверхностного слоя, требующего дополнительных усилий для его смывания.

Зеркала, обращенные слоем алюминия вниз, как правило, не нуждаются в ежегодном мытье. Они могут остаться чистыми между моментами алюминирования зеркал, т. е. в течение 3–5 лет.

Рассмотрим мытье запыленного зеркала, работавшего слоем алюминия вверх.

- Облить зеркало дистиллированной водой.
- Большим куском ваты, намоченным в большом количестве воды, проводить без давления по зеркалу в одном направлении (сверху вниз в случае целостного зеркала). Вату поворачивать и менять так часто, чтобы осевшая на вате пыль не терла зеркало.
- Облить зеркало водой и повторить предыдущую операцию.
- Если зеркало чистое, на нем остается небольшое количество капель воды. Их надо согнать с зеркала тонким концом мокрого ватного тампона в случае незакрепленного зеркала. Закрепленное зеркало можно промокать газетной бумагой, накладывая последовательно листы на места зеркала с каплями воды.
- В случае наличия на зеркале мест с сильным загрязнением после первого обливания зеркала водой, загрязненные места несколько раз без нажима протереть ватными тампонами, сильно смоченными спиртом. Дальше мытье проходит также, как описано выше.
- Особый случай – попадание птичьего помета на зеркало. Его надо убирать с зеркала как только он появился. Иначе на том месте слой алюминия растворится.
- Еще один метод мытья зеркал применялся в первые годы после строительства башенного телескопа. Мытье осуществлялось пеной детского мыла. Крутая пена, приготовленная из детского мыла, накладывалась на зеркало, а затем смывалась струей воды.

## 6 Регулировка и чистка щели спектрографа

К щели спектрографа предъявляются следующие требования.

1. Щечки щели должны быть параллельны и лежать в одной вертикальной плоскости.
2. Направление лезвий щечек должно быть вертикально.
3. Открытие и закрытие щечек должно быть плавным, с минимальным люфтом.
4. При закрытой щели свет не должен проходить через щель.

Для выполнения таких требований два раза в год (весной и осенью) щель передается инженеру-механику для смены масла (зимнего на летнее весной и летнего на зимнее осенью), регулировки плавности работы винта открытия и закрытия щели, установки нуля-пункта открытия щели, проверки положения щечек щели в одной плоскости и параллельности лезвий, чистки щели.

Проверка качества установки проверяется следующим образом.

После установки щели на ее рабочее место с помощью отвеса проверяется вертикальность лезвий щели. Расположение щечек щели в одной плоскости проверяется по отражению какого-нибудь источника света от щечек щели. Обе щечки должны работать как единая плоскость.

Поскольку у винта открытия щели всегда есть люфт, установку ширины щели необходимо всегда проводить движением винта в одну сторону, лучше в сторону открытия щели.

Медленно открывая щель и наблюдая при этом спектр через лупу, надо обратить внимание на характер появления освещения спектра. Если сначала становится ярким верх или низ спектра,

это значит, что лезвия не параллельны – имеется “клин”. При отсутствии клина спектр становится ярким одновременно по всей высоте. Если первой появляется яркая полоса на какой-то высоте спектра, это означает, что на лезвии щели есть дефект – “дырка”. Проведя операцию открытия щели несколько раз и каждый раз определяя отсчет винта щели при первом появлении всего спектра, найдем нуль-пункт открытия щели.

Если при малом открытии щели видны горизонтальные темные полосы в спектре, то это означает, что на лезвиях имеется грязь. Чтобы удалить грязь с лезвий, надо широко раскрыть щель и аккуратно, без нажима, провести по рабочим поверхностям лезвий ватным жгутом, намоченным в спирте. Проверить результат чистки при новом открытии щели. При необходимости повторить чистку.

## 7 Заключение

Наличие большого количества элементов, составляющих башенный телескоп, создает проблему удержания в памяти их взаимодействия. Это необходимое условие успешных наблюдений. Неожиданные осложнения – плохое заполнение камерного зеркала, “ушедший” фокус на щели, спектр с горизонтальными темными полосами, могут быть быстро удалены при хорошем знании телескопа. Надеемся, что предлагаемое методическое пособие поможет наблюдателям и инженерам при работе с башенным солнечным телескопом.

## Литература

- Букач А.Б., Дидковский Л.В., Степанян Н.Н., Суница Г.А., Щербакова З.А. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 1990. Т. 82. С. 172.
- Степанян Н.Н., Долгополова Е.В., Елизаров А.И., Маланушенко Е.В., Парчевский К.В., Суница Г.А. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 2001. Т. 96. С. 194.