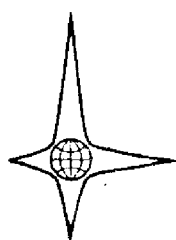


К. Л. СТОНГ

самодельный телескоп рефлектор

С МЕТАЛЛИЧЕСКИМ ЗЕРКАЛОМ





ИЗДАТЕЛЬСТВО

„МИР“

Conducted by C L. Stong

**HOW TO GRIND, POLISH AND TEST
AN ALUMINIUM TELESCOPE MIRROR**

Scientific American

N o v e m b e r 1963

К. Л. СТОНГ

**САМОДЕЛЬНЫЙ
ТЕЛЕСКОП-РЕФЛЕКТОР
С МЕТАЛЛИЧЕСКИМ ЗЕРКАЛОМ**

Перевод с английского
В. В. ТИТОВА

Под редакцией
О. А. МЕЛЬНИКОВА

ИЗДАТЕЛЬСТВО „МИР“
Москва 1965

В этой небольшой книге рассказывается, как самому, при помощи общедоступных материалов и инструментов, изготовить самодельный телескоп с металлическим зеркалом, а также монтировку для него, и наблюдать Луну, планеты, Солнце и звезды.

Книга рассчитана на любителей неба и любителей самоделок — прежде всего на школьников.

*Редакция космических исследований
астрономии и геофизики*

ОТ РЕДАКТОРА ПЕРЕВОДА

В начале XVII в. великий итальянский ученый Галилео Галилей (1564—1642), услышав об удивительной «голландской трубе», собственноручно изготовил в 1609 г. небольшой линзовый телескоп, который он в то время называл «перспектива» (лат.) или же «очёк» (итал.). Название «телескоп» было предложено позднее итальянским филологом Демизиани. Впервые в истории науки телескоп был направлен на небо в январе 1610 г. Это позволило Галилею сразу же сделать ряд замечательных астрономических открытий.

Первый и последующие телескопы Галилея были линзовыми, из легкого (кронового) стекла. Первый вариант состоял из 4-см объектива (положительной линзы) и окуляра (отрицательной линзы) при длине телескопа 50 см. Первый телескоп давал 3-кратное увеличение, последующие — больше (8-, 32-кратное и т. д.). Линзовые телескопы мы называем теперь *рефракторами*.

Рефлектор — телескоп зеркальной системы — был изобретен несколько позднее, но тоже в XVII в. В 1668 г. он был собственноручно изготовлен великим английским ученым Исааком Ньютоном (1643—1727). Его первый телескоп имел главное сферическое (теоретически параболическое) вогнутое 3,6-см зеркало и вторичное плоское диагональное маленькое зеркальце для вывода пучка в сторону во избе-

жание затенения головой наблюдателя. Длина трубы телескопа составляла 15 см, а увеличение — 40 раз. Зеркало было сделано из бронзы, т. е. сплава меди с оловом.

Таким образом, творцы первых телескопов изготавливали свои инструменты собственноручно.

Многие ученые, инженеры, мастера и любители астрономии в XVIII в. и позднее тоже собственноручно изготавливали телескопы-рефракторы и рефлекторы и зачастую очень высокого качества, больших размеров и пр. В России это были сподвижник Петра I Я. В. Брюс (1670—1735), гениальный русский ученый М. В. Ломоносов (1711—1765), нижегородский мастер-самородок И. П. Кулибин (1735—1818) и другие.

Изготовление оптики для небольшого телескопа в принципе дело простое. Но по тонкости оно требует работы мастера-художника. Изготовление штатива или монтировки телескопа — дело практически более сложное, хотя и более грубое. Для этого необходимы различные механические станки и вообще специальное оборудование. Это особенно относится к случаю, когда надо построить телескоп с автоматическим ведением за звездой или вообще за небесным объектом.

Благодаря пропаганде различных научных обществ, и в первую очередь Астрономического общества России (затем РСФСР и СССР; с 1932 г. Всесоюзное астрономо-геодезическое общество с его многочисленными отделениями в Москве, Ленинграде, Киеве, Минске, Риге, Вильнюсе и т. д.), весьма оживленно развивалось отечественное любительское телескопостроение. Последнее также успешно развивалось и за рубежом: в США, Англии, Франции, Чехословакии и других странах. Стала появляться многочисленная литература для любителей астроприборостроения вообще и телескопостроения в частности. Некоторые из этих работ читатель найдет в списке литературы.

Для любителя, желающего самостоятельно построить телескоп, вопрос решается в пользу зер-

кального телескопа-рефлектора: в этом случае необходимо изготовить одну оптически точную поверхность, а в случае линзового телескопа-рефрактора — четыре.

Первый вопрос, который возникает перед изготовителем телескопа, — какой выбрать материал для зеркала?

Строители рефлекторов во второй половине XVII в. не умели «серебрить» стеклянные зеркала. Не покрытое же металлом стеклянное зеркало отражает при нормальном падении лучей всего лишь 4—5% света. Отсюда следует, что чисто стеклянное зеркало для телескопа совершенно непригодно.

Вот почему с момента изобретения изготовители телескопов-рефлекторов в качестве материала для зеркала использовали оловянную колокольную бронзу, а немного позднее зеркальный металл¹, который отражал до 60% падающего пучка видимых лучей. Зеркала из этого металла быстро тускнели («слепли», как говорили в старину), были очень тяжелы даже при средних размерах, деформировались под действием собственного веса, а иногда даже трескались из-за несовершенства технологии при отливке. И даже в лучшем случае зеркальный металл рефлекторов вскоре после изготовления требовал новой переполировки.

С изобретением в 1856 г. немецким ученым Ю. Либихом (1803—1873) химического способа серебрения стеклянных зеркал — нанесения тонких наружных пленок-фильмов толщиной 0,5—2,0 мк — этот способ был сразу использован для зеркал телескопов. Такие зеркала после серебрения отражают до 90% нормально падающего видимого света и поэтому очень выгодны. Однако они очень плохо отражают ультрафиолетовые лучи и на воздухе быстро мутнеют вследствие действия сернистых, хлористых и других соединений; серебряный фильм портится, на нем образуются налеты, пятна и другие

¹ Согласно Шредеру, состав зеркального металла таков: 66% меди, 22% олова и 12% цинка.

дефекты. Уже через две недели свежее серебро тускнеет, или «слепнет», и его отражательная способность заметно снижается.

В 1929 г. американский ученый Дж. Стронг разработал способ покрытия крупных стеклянных зеркал телескопов распылением алюминия в вакууме. В 1933 г. было покрыто пленкой (фильмом) из алюминия 91-см зеркало кросслеевского телескопа Ликской обсерватории, в 1935 г.—250-см зеркало обсерватории Маунт Вилсон. Слой алюминия при соприкосновении с воздухом покрывается пленкой окиси (Al_2O_3), которая за две недели достигает толщины 10^{-6} ммк и затем очень медленно утолщается. Благодаря ничтожной толщине этой прозрачной пленки в ней не возникает очень вредное «интерференционное явление».

Слой алюминия получается очень прочным, не «слепнет» в течение нескольких лет, и его можно без опасений промывать губкой с мыльным раствором. Алюминиевые покрытия стеклянных зеркал хорошо отражают свет по всему диапазону видимого и близкого ультрафиолетового света (до 90%; в среднем немного хуже свежих серебряных фильмов в середине видимого диапазона) и не тускнеют. Наибольшим зеркалом с алюминиевым фильмом является 5-м зеркало Паломарской обсерватории.

Однако стекло отнюдь не является лучшим материалом для зеркал телескопов, в частности из-за температурных деформаций рабочей параболической поверхности. С изменением температуры, что в астрономической практике неизбежно (хотя бы от вечера к ночи и утру), поверхность стеклянного зеркала искажается, особенно на краях зеркала («эффект края»). Края же зеркала очень важны, ибо, имея больший диаметр, они отражают наибольшую долю упавших световых лучей. Это связано с сравнительно низкой теплопроводностью стекла и другими его свойствами. Исследования показали, что поверхность цельнометаллических зеркал или зеркал из сплавов металлов при изменении

температуры деформируется с гораздо меньшим искажением формы.

Кроме того, изменение фокусного расстояния металлического зеркала с температурой будет следовать тому же закону, что и изменение длины трубы телескопа, если только последнюю изготовить из того же металла, что и зеркало.

Металлическое зеркало лучше стеклянного и по целому ряду других свойств. В частности, исследования выдающегося советского телескопостроителя Д. Д. МаксUTOва, которому в этом отношении мы обязаны очень многим, показали, что если некоторые свойства зеркала из стекла пирекс с малым коэффициентом температурного расширения принять за 1, то зеркала из стали и алюминия будут для астрономических целей выгоднее в 21 и 24 раза соответственно. Медное же зеркало выгоднее даже в 60 раз. Однако такие зеркала при обычных крупнозернистых металлах шлифуются и полируются так, что на рабочей поверхности образуются паутины царапин (штрихов) и других мелких дефектов в виде точек, ямочек и пр. Поверхности получаются как бы «рябыми» и потому нечистыми в оптическом отношении. Во избежание этого рабочая поверхность зеркала гальванопластически, химически или каким-либо иным способом покрывается пленкой, например из хрома, по которой идут окончательная шлифовка и полировка астрономического зеркала.

Автор предлагаемой вниманию читателей брошюры рекомендует для материала зеркала алюминиевые сплавы определенных марок. Чистый алюминий и некоторые его неоднородные сплавы чересчур мягки и не могут быть отполированы до зеркальности, а иногда и до блеска. Однако начать можно с заготовки из чистого алюминия или случайного сплава, проката и пр., что удастся достать в данном городе или на данном предприятии. В последующем можно перейти к твердым сплавам алюминия и затем, по-видимому, лучше всего к нержавеющей стали. Правда, как показал опыт, в частности ленин-

градских астрономов и мастеров, ее обработка очень сложна.

Опишем кратко последовательность работ при изготовлении металлического зеркала.

Холодная обработка металлического блока будущего зеркала включает: резку ножовкой, кругление абразивным диском или напильником, сверление (для сквозного отверстия в центре для касегреновской схемы телескопа или с тыльной стороны для облегчения зеркала и введения «ребер жесткости» и т. д.), обдирку или фрезеровку.

После этого деталь будет подготовлена (с некоторым «припуском») к следующим процессам — шлифовке и полировке.

Эта работа производится с помощью абразивных и шлифовальных порошкообразных материалов с разной крупностью зерен (естественных или искусственных, более твердых, чем металл зеркала). Грубая шлифовка с помощью крупнозернистого абразива (корунда), введенного под полировальник, придает рабочей поверхности зеркала нужные форму и размеры; далее следует тонкая шлифовка, которая улучшает рабочую поверхность зеркала с помощью все более мелкозернистых абразивов (последовательно). Глубина царапин постепенно уменьшается, и блок подготовлен к полировке. Полировка не заглаживает шероховатости рабочей поверхности зеркала, а снимает со всей поверхности равномерный слой металла толщиной 25—30 мк, отчего поверхность становится матовой, блестящей, а затем зеркальной. (С этим объяснением не все согласны, и единого мнения еще нет. Могут играть известную роль химические процессы и т. д.)

Полировка производится на смоляном полировальнике (например, из канифоли и каменноугольного пека, т. е. смолы, нанесенной на деревянный или металлический диск) с «ручкой вверх». Для полировки применяются более тонкие шлифовальные порошки в виде суспензии (тонко размолотый порошок в воде). В качестве материала для полировки рабочих поверхностей металлических зерен

обычно употребляется сначала пемза, а затем смесь в равных долях трех веществ: окись алюминия (порошок белого цвета) + окись хрома (порошок зеленого цвета) + окись железа (порошок красного цвета, так называемый «крокус»). Иногда применяется специальный крокус «барнесайд» (окись церия).

После окончания полировки зеркала наступает последний этап — любитель должен произвести «ретушь», «фигуризацию» или «параболизацию» сферической поверхности отполированного зеркала. Эта работа выполняется с самым тонким (мелкозернистым) абразивом на смоляном полировальнике. Хотя этот последний процесс и наиболее сложен, особенно для металлического зеркала, и требует «золотых рук» мастера (по сути дела, в этом случае художника), но он и наиболее увлекателен для любителя. Впрочем, при определенных условиях, вполне удовлетворяющихся при изготовлении зеркала согласно брошюре Стонга (подробнее см. пояснения к тексту в конце книги), выполнять эту трудную работу нет необходимости.

Если зеркало получилось хорошим, то, посмотрев с помощью его на Луну, планеты и другие небесные объекты, имеющие детали, наблюдатель испытает неописуемый восторг от ощущения полезности отлично выполненной работы.

После этого любитель может приступить к изготовлению монтировки для своего телескопа.

Было бы трудно указать, где достать соответствующие материалы, абразивы и блоки металлических зеркал. Ведь любитель может оказаться в любом месте Советского Союза, например в сельской местности, где, конечно, достать все материалы труднее.

Нам представляется, что за помощью и советом следует обращаться устно или в крайнем случае письменно к:

- 1) отделениям Всесоюзного астрономического общества в ближайших крупных городах;
- 2) ближайшим обсерваториям;

- 3) ближайшим планетариям;
- 4) соседним механическим техникумам или вузам;
- 5) предприятиям Совета народного хозяйства области;
- 6) ремонтным механическим (а лучше к оптико-механическим) мастерским, например хотя бы по ремонту медицинского оборудования и т. д.

Опыт крупнейших наших специалистов телескопостроения, например А. А. Чикина, Ю. А. Миркалева, Д. Д. МаксUTOва, Н. Г. Пономарева, М. С. Навашина и многих других, вышедших из рядов астрономов-любителей, показывает, что если есть желание, то все трудности, возникающие на пути изготовления астрономических зеркал и телескопов, будут успешно преодолены.

Ценность издания настоящей брошюры заключается, хотя бы частично, в том, что она помогает преодолеть указанные трудности и изготовить высококачественное металлическое зеркало для своего телескопа.

О. А. Мельников

САМОДЕЛЬНЫЙ ТЕЛЕСКОП-РЕФЛЕКТОР

Любители, изготавливающие небольшие телескопы, склонны недооценивать достоинства металлических зеркал. Нельзя сказать, что из металла могут быть сделаны лучшие зеркала, чем из стекла, даже в случае малых инструментов. Когда же сравнивают достоинства обоих материалов, то предпочтение отдается стеклу. Оно лучше принимает полировку, его отражающее металлическое покрытие легко возобновляется, оно хорошо сохраняет свою форму, если не считать периодов изменений температуры. Стекло имело важное преимущество перед металлом в прежнее время, когда зеркала серебрились, ибо быстро тускнеющий слой серебра с небольшими затратами труда и средств можно было удалить со стекла и возобновить в домашних условиях за один вечер. Теперь алюминий заменил серебро в качестве отражающей поверхности. Алюминий покрывается защитной оксидной пленкой, и при умелом уходе поверхность его сохраняет блеск в течение нескольких лет. Но слой алюминия накладывается на стекло посредством испарения в вакууме, а это требует аппаратуры, недоступной для большинства любителей, и они должны для возобновления поверхности посылать свои зеркала в специальные мастерские.

Небольшое же сплошное алюминиевое зеркало может быть переполировано дома за один вечер. Правда, до тех пор пока новичок не приобретет навыка в переполировке, сохранение формы отражающей поверхности может оказаться делом хлоп-

потливым и его инструмент может выходить из строя почти на такое же время, как и в случае переалюминирования. Но после переполіровки поверхность сплошного металла, покрываясь оксидной пленкой, долгое время остается блестящей и сохраняет правильную оптическую форму при таких изменениях температуры, которые сделали бы непригодным стеклянное зеркало. Американский любитель У. С. Петерсон из Питтсбурга (Пенсильвания) сделал свое первое металлическое алюминиевое зеркало двадцать лет назад и с тех пор вообще не пользовался стеклом. Он пишет:

Для моей технологии требуются два металлических диска: один для зеркала телескопа, второй в качестве инструмента для обработки. Одна поверхность заготовки зеркала делается вогнутой, одна из поверхностей инструмента — выпуклой, так что они закладываются друг в друга. Металл легко обрабатывается при помощи шабера и напильника (если любителю недоступен станок). Обработанные начерно заготовки пришлифовываются друг к другу с последовательным применением все более тонких абразивов, пока их поверхности не окажутся сопряженными. Затем вогнутая часть пары проходит предварительную полировку пемзой и окончательную полировку крокусом при помощи полировальника из твердой смолы.

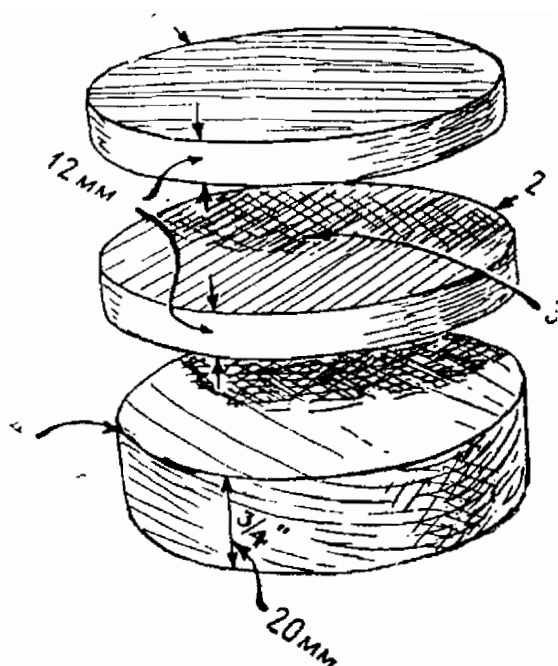
Я делал прекрасные зеркала из нержавеющей стали, но новичкам советую начинать с алюминия. Некоторые твердые светлые алюминиевые сплавы хорошо обрабатываются. Они выпускаются в форме стержней, остатки которых можно достать в отделах торговли цветными металлами.

Для начальной практики я рекомендую взять пару заготовок в виде дисков диаметром 75 мм и толщиной 12 мм. Толщина должна быть равна по меньшей мере одной двенадцатой диаметра, чтобы заготовка не прогибалась бы при шлифовке и нужная кривизна поверхности не искажалась. Но, конечно, нет нужды в толщине больше одной восьмой

диаметра (ибо зеркало получилось бы неоправданно тяжелым. — *Ред.*).

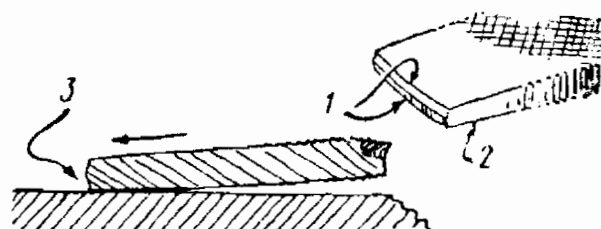
Начинаем с высверливания тщательно центрированных отверстий 1,6 мм диаметром и 6 мм глубиной на одной стороне каждой заготовки. Далее изготавливаем четыре диска из твердого дерева такого же диаметра и около 20 мм толщиной и покрываем их шеллаком для предохранения от сырости. Их применение будет объяснено в дальнейшем.

Затем необходимы два шаблона из листового металла для выдерживания кривизны при грубой обработке заготовок. Стрелка кривой определяет отношение диаметра D зеркала к его фокусному расстоянию F , т. е. относительное отверстие $A=D/F$. По опыту автора — и большинство любителей с этим согласны — оно не должно быть больше $1/8$, но не меньше $1/10$, так что $1/9$ является хорошим компромиссом. Для зеркала диаметром 75 мм фокусное расстояние 685 мм может считаться вполне подходящим. Новичку при шлифовке поверхности не всегда удастся попасть в правильный размер фокусного расстояния, но, задавшись $F=685$ мм, он может получить поверхность с фокусным расстоянием от 600 до 750 мм, что укладывается в указанные выше пределы для A . Радиус кривизны равен удвоенному фокусному расстоянию. Следовательно, радиус кривизны зеркала диаметром 75 мм должен лежать в пределах от 1 200 до 1 500 мм, а наилучшая его величина 1 370 мм. У меня имеется импровизированный циркуль, при помощи которого можно прочертить дугу такого радиуса. Он представляет собой штангу длиной 1 370 мм с винтом на одном конце и резцом (вроде наконечника пешни) на другом. Один конец штанги винтом прикрепляется к полу, а резец вставляется в отверстие, расположенное на расстоянии 1 370 мм от винта. Квадратная пластинка 75×75 мм из цинка или твердой латуни слегка прибивается гвоздиками к полу и глубоко надрезается резцом примерно посередине. Изгибая затем лист по надрезу, разламываем его и зачищаем края напильником. Половинки служат в качест-



Р и с. 1. Что нужно для изготовления зеркала.

1 — металлический инструмент (блок); 2 — металлическая заготовка (блок) зеркала; 3 — отверстие диаметром 1,6 мм; 4 — прошеллаченный диск из твердого дерева толщиной 20 мм. Толщина металлических блоков должна быть от $\frac{1}{8}$ до $\frac{1}{12}$ их диаметров.



Р и с. 2. Работа при помощи самодельного шабера.

1 — режущие кромки; 2 — конец напильника; 3 — тонкая стружка.

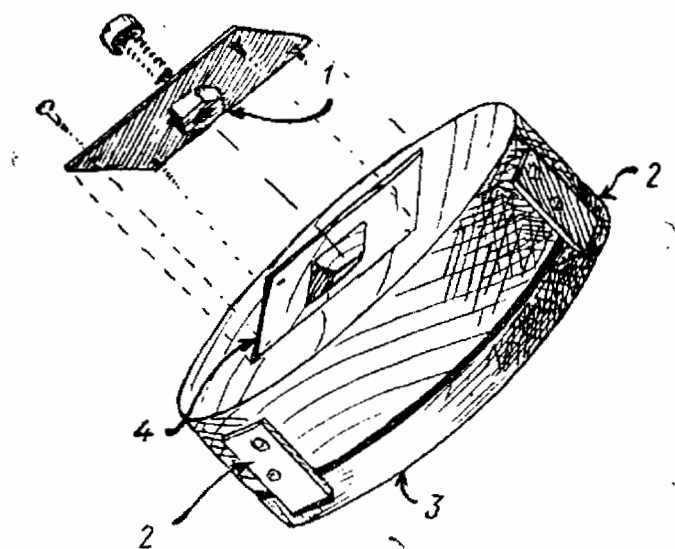
ве шаблонов; один как вогнутый, другой как выпуклый.

Чтобы изготовить инструмент для грубой обработки рабочей поверхности зеркала, сошлифовываем конец плоского напильника по форме ногтя боль-

шого пальца. Получается шабер, показанный на рис. 2. Другой конец обертываем изоляционной лентой; он служит в качестве рукоятки. При помощи этого инструмента шабрим одну из сторон заготовки, выбранной для зеркала, до тех пор, пока не подгоним ее кривизну под выпуклый шаблон. На первый взгляд эту работу лучше выполнять на станке, но и ручную ее можно выполнить почти так же легко. Алюминий мягок, а снять необходимо лишь небольшое количество металла — слой тоньше 0,5 мм. Затем напильником под вогнутый шаблон опиливает выпуклую поверхность второй заготовки. Отметим, что стремиться получить большую точность не стоит, но следует избегать больших выемок.

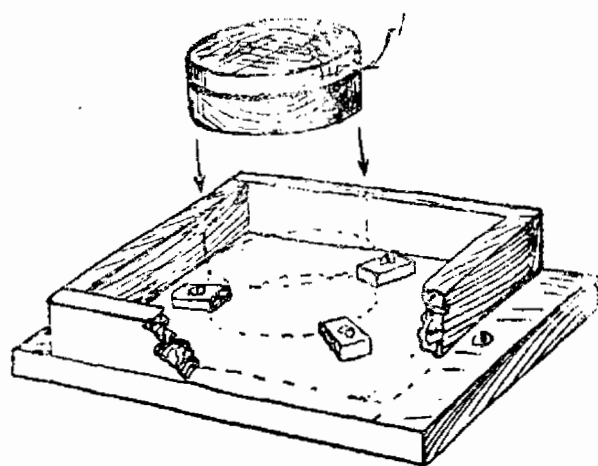
На необработанные поверхности обеих заготовок наклеиваем деревянные диски. В качестве клея автор употребляет обычную кровельную смолу (каменноугольный пек.—*Ред.*), обычно поступающую в продажу кусками. Она разогревается (например, на электрической плитке) и наливается тонким слоем на поверхности обоих дисков, которые затем прижимаются друг к другу. Все трещины между дисками должны быть тщательно залиты (можно приложить горячее железо). Прежде чем приклеивать зеркало к его деревянной подложке, в последней нужно высверлить отверстие для свободного прохода винта диаметром 3,5 мм и припаять гайку на внутренней поверхности металлической пластинки, которая затем врезается в деревянный диск над просверленным отверстием, как показано на рис. 3. Этим обеспечивается удобная фиксация зеркала при монтаже его на телескопе.

Затем изготавливаем неглубокий деревянный квадратный ящик со стороной около 150 мм и глубиной 25 мм, на дне которого привернуты 3 подушки, расположенные под углом 120° на расстоянии, соответствующем диаметру выпуклой заготовки (рис. 4). Лоток должен быть хорошо укреплен на крепкой скамейке высотой до пояса. Заготовка кладется в ящик, на него насыпают примерно 1/4 чайной



Р и с. 3. Оправа зеркала.

1 — гайка, припаянная к задней планке; 2 — боковые планки; 3 — углубление для задней планки; 4 — зеркало.



Р и с. 4. Лоток для шлифовальника.

1 — инструмент (блок), приклеенный к дереву смолой.

ложки крупнозернистого карборунда и смачивают примерно таким же количеством воды. Затем накладываем зеркало на диск-инструмент и шлифуем, толкая взад и вперед. Длина подвижек-«штрихов» при шлифовке должна быть такой, чтобы в конце

каждого штриха зеркало свешивалось над инструментом на 12—18 мм. Центр диска-зеркала должен проходить точно над центром диска-инструмента. Применяются только два номера карборунда: № 220 и № 320¹. Для работы над 75-миллиметровым зеркалом потребуется меньше чем по 100 г каждого номера карборунда.

Длина штриха не является чем-то строго заданным, но короткие штрихи делают зеркало более мелким, а длинные — углубляют его. После каждого штриха зеркало слегка поворачивают, и в процессе работы необходимо обходить кругом ящик с диском-инструментом, чтобы сошлифовывание шло равномерно. Время от времени в карборунд следует добавлять воды и заменять обработанный абразив, так как он превращается в грязь и становится непригодным. Каких-либо твердых и установившихся правил для добавления воды и смены отработанного абразива не существует, но у любителя довольно быстро разовьется собственное чутье. Абразив создает характерный для шлифовки звук, когда работа идет хорошо, и зеркало скользит по инструменту при небольших усилиях. Отработанный абразив должен быть стерт с металла тряпкой (не смывайте его в раковину, так как это может засорить канализацию!).

Когда поверхности обоих дисков — зеркала и инструмента — полностью отшлифованы, нужно вымыть зеркало чистой водой. Пока зеркало еще мокрое, можно отразить в ясную погоду изображение Солнца на стену или картонный экран. Перемещайте зеркало к экрану и от него до тех пор, пока изображение Солнца не станет более или менее резким (наименьшим по размеру); расстояние от зеркала до экрана должно быть от 600 до 750 мм. Если это не так, необходимо проверить точность исполнения (шлифовки) поверхности шаблоном и при необходимости установить все заново и начать работу

¹ № 220 примерно соответствует № 5, № 320 — № 3 по ГОСТ 3647-59 СССР.— *Прим. перев.*

сначала. После того как любитель будет удовлетворен результатами шлифовки абразивом № 220, следует переходить на № 320 и продолжать работать до тех пор, пока не исчезнут все следы (царапины и пр.) от более грубого абразива.

Следующая операция может показаться для любителей, работавших раньше по стеклу, странной, хотя и не новой. Полировочный притир (полировальник) изготавливается из твердой смолы — из такой, какая обычно применяется для углубления поверхности стеклянного зеркала только в центре: применение такого полировальника ведет к тому, что опытные телескопостроители называют «фатальной гиперболой» или «загнутым краем». Поэтому очень твердые полировальники для стекла применяются редко, но они превосходно работают по алюминию и облегчают работу, отчего начинающим стоит рекомендовать для изготовления именно металлические зеркала.

Теперь используем один из оставшихся деревянных дисков. Кусковая кровельная смола расплавляется и наливается на поверхность деревянного диска слоем толщиной около 3 мм (следует иметь в виду, что смола может перелиться через край). Затем расплавляют кусковую канифоль в количестве от $\frac{1}{3}$ до $\frac{1}{2}$ состава, подливают в слой смолы и тщательно размешивают¹.

Поверхность теплой смолы закрашиваем полировальным крокусом, который разводится водой до консистенции густых сливок, вогнутую поверхность зеркала накладываем прямо на закрашенную поверхность и вдавливаем зеркало в смолу до тех пор, пока ее поверхность не примет формы зеркала. Далее оставляем эту комбинацию отстояться и остыть до комнатной температуры. Если после снятия зеркала с полировальника в смоле обнаружатся дефекты, так называемые «карманы» и «пузырьки», то для их ликвидации применяется своего рода «ме-

¹ Порошковая канифоль не смешивается со смолой. Если имеется только первая, то следует сплавить ее и после остывания разбить на куски.

тод долива». Для заполнения полостей наливают нужное количество смеси из смолы и канифоли. Затем закрашивают «заплатки» крокусом и, как и раньше, прижимают все зеркало к полировальнику. Для проверки крепости смолы делают надрез поперек полировальника мокрым ножом; смола должна раскалываться и трещать. Для смягчения состава добавляют смолы; чтобы придать ему твердость, добавляют канифоли. Край полировальника затем зачищают мокрым ножом.

Изготовленный таким образом полировальник «заряжаем» карборундом № 320 (не крокусом) и заглаживаем зеркалом, как и при грубой шлифовке. Автор предпочитает при работе не делать штрихов круговой формы, но нужно непрерывно поворачивать зеркало и работать инструментом-полировальником во всех положениях, чтобы избежать случайных неправильностей.

Перейдем теперь к более трудному этапу в изготовлении зеркала. Работающий любитель должен внимательно осматривать полировальник каждые 2—3 минуты, перепрессовывать его, если это будет необходимо, и переделывать заново, если смола и канифоль сделаются тонкими на каком-либо краю. Автор перепрессовывает инструмент в течение 10 или 15 минут после каждых 10—15 минут полировки. Если температура в помещении, где производится работа, ниже 20°C, то перед прессовкой следует подогревать полировальник теплой водой.

За очень короткое время зеркало обычно хорошо принимает полировку и даже сухое дает четкое изображение Солнца. Теперь фокусное расстояние может быть установлено более точно при помощи прибора для исследований по методу Фуко.

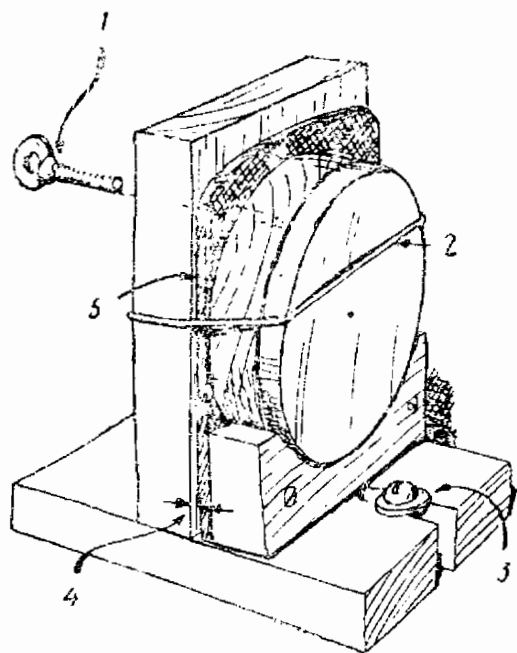
Этот метод заключается в оценке отраженного изображения светящейся точки — искусственной звезды¹. Светящаяся точка и глаз наблюдателя располагаются на одинаковом расстоянии от зеркала

¹ Для этого можно использовать освещенное отверстие в непрозрачной диафрагме.— *Прим. ред.*

ла, равном его двойному фокусному расстоянию. Когда светящаяся точка располагается точно на двойном фокусном расстоянии и как раз на оптической оси зеркала, ее изображение, конечно, совпадает с ней самой. Но если ее немного сместить вправо от оси, то изображение сдвинется на столько же влево, и его можно будет наблюдать. Можно построить изображение для исследования всей поверхности при помощи матового стекла, на котором изображение появляется в виде светлого пятна. Если расположить глаз на расстоянии примерно 300 мм от изображения, а затем убрать матовое стекло, то мы увидим маленькую искусственную звезду, как бы «висящую» в воздухе. Это и есть изображение точечной диафрагмы. Если теперь глаз приблизить вплотную к изображению, то поверхность полностью отполированного зеркала сферической формы будет казаться светящимся диском, напоминающим полную Луну. Это происходит потому, что свет от точечной диафрагмы попадает на все участки зеркала и равномерно отражается каждым из них в глаз наблюдателя. Более детально изображение точечной диафрагмы может быть исследовано при помощи лупы.

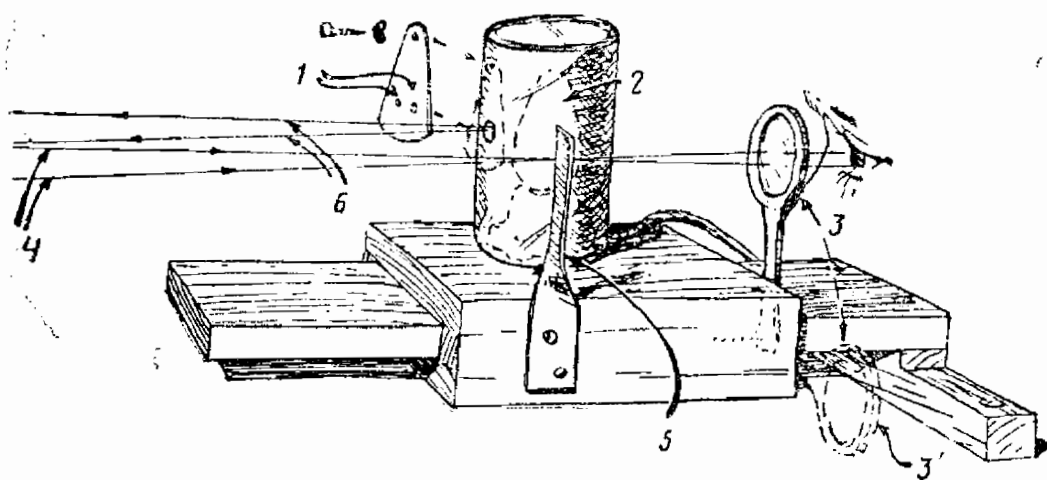
Прибор для исследования по методу Фуко состоит из подставки для зеркала (рис. 5), фонаря с лампой, откидного сектора с точечными отверстиями, лупы и ножа¹. Все это (кроме зеркала) смонтировано на общей подставке, перемещающейся вдоль продольного бруса, как показано на рис. 6. Когда на ранней стадии полировки рассматривается изображение большого отверстия диафрагмы, край представляется неправильным, а поверхность металла имеет зернистую структуру из-за множества ямок. Зачастую поверхность напоминает грубую кожу мандарина. По мере продолжения полировки изображение постепенно приобретает круглую форму и одновременно меняет цвет, переходя от шоко-

¹ В качестве ножа можно использовать обычное лезвие безопасной бритвы, закрепленное вторым режущим лезвием в небольшом деревянном бруске.— *Прим. ред.*



Р и с. 5. Подставка для зеркала.

1 — винт регулировки наклона; 2 — резиновый шнурок; 3 — шуруп для крепления; 4 — зазор 6 мм; 5 — плитка из многослойной фанеры.



Р и с. 6. Установка для испытания зеркала по методу Фуко.

1 — сектор с отверстиями 1,6 и 3 мм; 2 — лампа накаливания (малая) 7,5 вт; 3 — лупа для рассматривания изображения (3' — лупа отведена в сторону при испытании ножом); 4 — световой пучок от зеркала; 5 — нож для срезания пучка лучей; 6 — световой пучок к зеркалу.

ладного через оранжевый и желтый к блестяще-белому, даже когда используется самое маленькое отверстие.

Полировка редко распространяется равномерно до края зеркала, даже если инструмент поддерживается в хорошем состоянии. Для того чтобы компенсировать тенденцию центра диска зеркала сполнироваться первым, автор вырезает на полировальнике звезду с четырьмя-пятью длинными кривыми лучами, идущими от центра и не достигающими до края приблизительно на 12 мм. Это создает заметное ускорение воздействия абразива на край. Несмотря на указания во многих книгах по полировке стекла, никогда не следует снимать смолу у краев полировальника, если полируется металлическое зеркало. Если полировка края при помощи полировальника со звездой не приводит к желаемому результату, то это означает, что работающий любитель сделал что-то несвоевременно. В этом случае необходимо вновь положить зеркало на инструмент-полировальник и попробовать всю операцию еще раз.

Когда ямки существенно уменьшатся, необходимо переключиться с карборунда № 320 на пемзу. Из практики автор нашел, что обыкновенное кухонное средство для чистки металлической посуды типа Аякс и Бэб-О работает великолепно. Для смены абразива надо попросту расплавить использованный полировальник, закрасить его крокусом и опрессовать. После того как полировальник остынет, можно покрыть его пемзой и возобновить полировку (наличие застрявшего в ямках карборунда существенно работе не вредит). После нескольких коротких периодов полировки пемзой следует заканчивать каждую последовательность добавлением крокуса на полировальник.

Через некоторое время необходимо исследовать изображение отверстия диафрагмы при помощи лупы. Сначала оно будет сравнительно большим световым пятном, напоминающим пушинку, но по мере продолжения полировки со все возрастающей

ясностью начнут проявляться детали: ямки и неровные края металла будут видны сильно увеличенными. Фактически такое зеркало уже начинает работать как объектив телескопа. Когда отверстие диафрагмы будет видно отчетливо и все следы ямочек исчезнут, следует сделать новый полировальник и переходить от абразива и пемзы к крокусу.

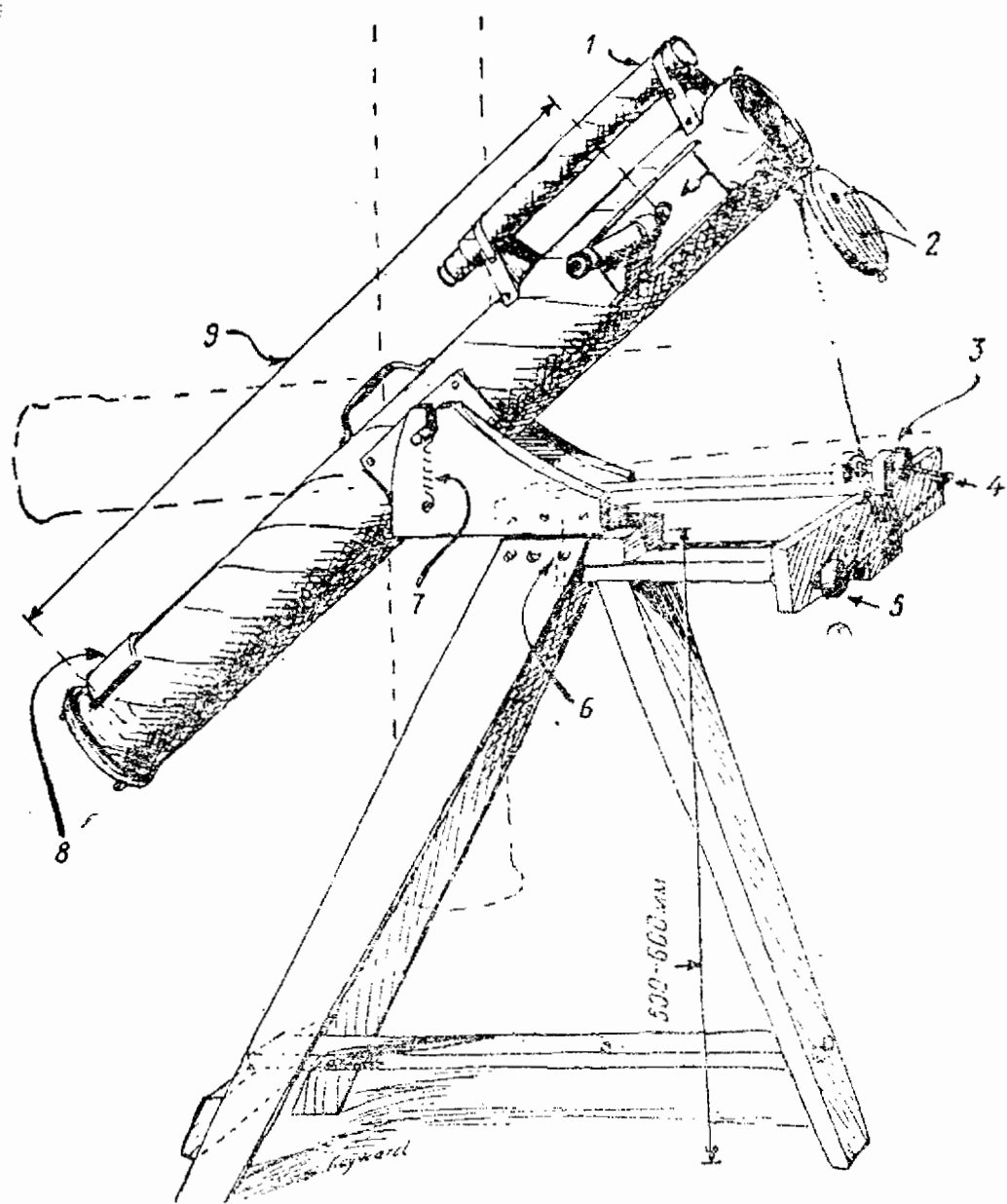
Новый полировальник для крокуса должен быть сделан из чистых смолы и канифоли, без включений карборунда или пемзы. Для этого полировальника используется оставшийся деревянный диск. Все рабочее место тщательно очищают от карборунда и пемзы. Смолу и канифоль смешивают в той же пропорции, что и раньше. Если все идет правильно, то в течение последующих коротких периодов полировки крокус должен быстро менять цвет. Если же переход с пемзы на крокус сделан прежде, чем сгладятся все ямки, крокус может оставаться темным, а зеркало не будет принимать блестящей полировки. В этом случае необходимо возвратиться к полировке пемзой. Однако иногда полировальник может вести себя плохо и причинять неприятность даже в том случае, когда все ямки ликвидированы. Зеркало может прилипнуть к смоле или отдирать ее (от полировальника. — *Ред*). Эта трудность обычно устраняется добавкой капли растительного клея (или мыла. — *Перев.*) к сырому крокусу. Если клей не поможет, необходимо сделать новый полировальник. На этой стадии работы зеркало не должно надолго сниматься с полировальника.

На полировальнике должны быть проделаны канавки примерно по 3 мм в поперечнике; они должны доходить до дерева. Таким образом, смола окажется разделенной на прямоугольники, каждый площадью примерно по 6 кв. см. Расположение прямоугольников не должно быть симметричным относительно центра инструмента.

После того как блестящая полировка распространится от центра к краю зеркала (это можно оценить на глаз), приступаем к испытанию ножом

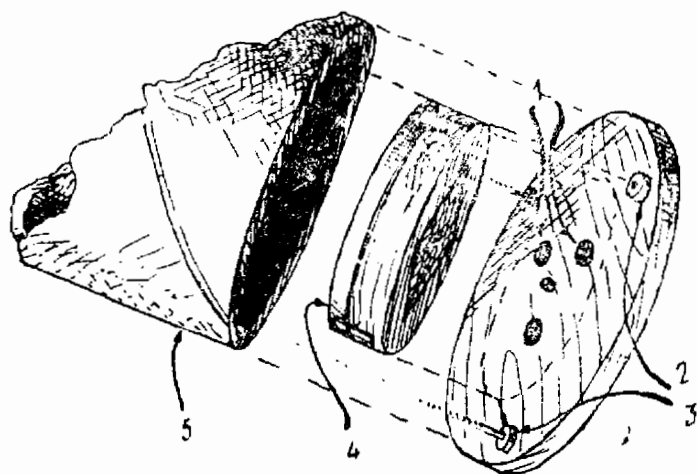
Фуко. Лупу отводят в сторону и регулируют положение изображения отверстия диафрагмы, пока оно будет почти касаться ножа. Поместив глаз непосредственно за изображение, которое будет похоже на полную Луну, вводим нож в световой пучок. Когда нож располагается между зеркалом и изображением, тень от его края будет перемещаться по поверхности зеркала справа налево. Когда лезвие располагается между изображением и глазом, тень будет пробегать в обратном направлении — слева направо. Лезвие ножа перемещается до тех пор, пока оно не будет пересекать пучок в фокусе лучей. Тогда при передвижении ножа зеркало будет «гаснуть» почти мгновенно, и тень не будет проходить до диска.

Если зеркало будет идеально сферическим, то его поверхность будет казаться плоской. Если лезвие ножа медленно перемещать от фокуса вперед, то поверхность станет казаться выпуклой подобно шару; при обратном движении — от фокуса — поверхность будет казаться вогнутой, чашеобразной. Для случая зеркала с относительным отверстием $1/9$ это и будет желаемым критерием формы зеркала; начинающий любитель может считать, что ему повезло, если такая картина проявится на ранней стадии полировки. Обычно оказывается, что диск имеет в середине ярко выраженную выпуклость или углубление. Такие фигуры исправляются переделкой полировальника путем изменения насечек на смоле, или регулировкой длины рабочего штриха, или и тем и другим вместе. Штрихи, при которых зеркало переходит за край полировальника более чем на 12 мм, ведут к углублению центра — к исправлению «горба» (выпуклости). Штрихи, при которых свешивание зеркала за край полировальника будет меньше этой величины, ведут к поднятию центра (или понижению краев) (так называемому завалу. — *Ред.*). Полировку следует продолжать до тех пор, пока вся поверхность зеркала не будет равномерно темнеть, не показывая ни бугров, ни ям, когда лезвие ножа будет пересе-



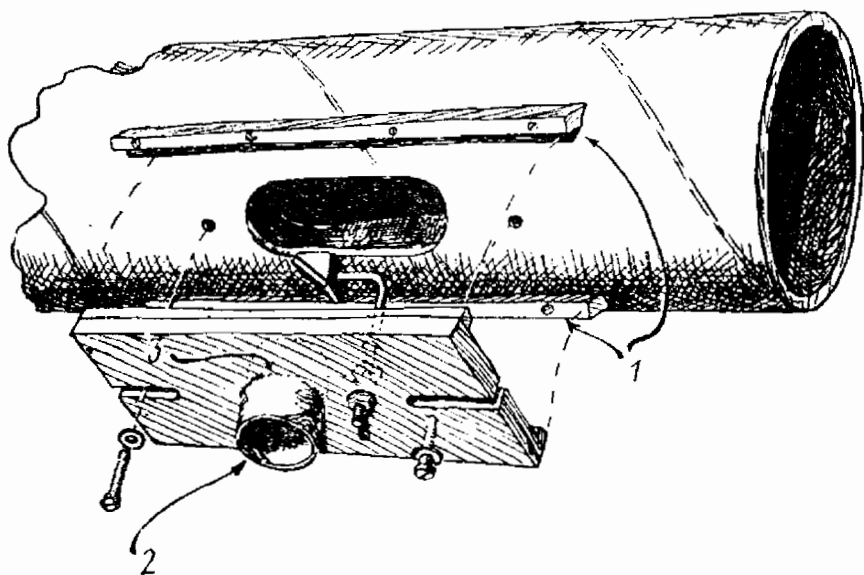
Р и с. 7. Телескоп-рефлектор по Гадлею.

1 — искатель телескопа с увеличением 6—8 раз; 2 — отверстия в крышке для проверки центрировки зеркала; 3 — рукоятка высоты и канатиковый привод телескопа; 4 — ввинченная петля; 5 — рукоятка азимута и канатиковый (второй) привод телескопа; 6 — болт-ось диаметром 12 мм; 7 — пружина; 8 — противовес; 9 — расстояние, приблизительно равное фокусному расстоянию зеркала минус наружный радиус трубы.



Р и с. 8. Детали оправы зеркала.

1 — резиновые или фетровые подкладки; 2 — резиновые шайбы; 3 — шуруп 4×37 мм; 4 — зеркало; 5 — труба из картона толщиной более 6 мм.



Р и с. 9. Детали держателя окуляра.

1 — планки, привинченные и приклеенные к трубе; 2 — тубус под окуляр с пригонкой для скольжения; 3 — место приклейки.

кать в фокальной плоскости лучи, создающие изображение отверстия диаметром 1,5 мм.

За почти 300 лет после изобретения рефлектора Исааком Ньютоном разработано много типов схем этих инструментов; автор предпочитает простую форму, предложенную англичанином Джоном Гадлеем в начале XVIII в. (рис. 7). Оптические детали инструмента, изготовленные автором, заключены в картонную трубу, обернутую грубым сукном. Она прочна, легко режется и имеет достаточную толщину для ввертывания шурупов даже с торцов. Отверстия под винты для большой прочности всегда следует пропитывать шеллаком.

Зеркало монтируется (рис. 8) на диске из многослойной фанеры с размерами, достаточными для того, чтобы закрыть трубу с торца. Крепление зеркала осуществляется винтом, ввинчивающимся в гайку, врезанную в деревянную колодку под зеркалом. Три шурупа, расположенных на одинаковых расстояниях, крепят этот узел к нижнему торцу трубы. На шурупы надеты резиновые шайбы, и ось зеркала приводится на ось трубы юстировкой шурупами.

Если указанные операции выполнены, то можно прорезать продолговатое отверстие близ верхнего конца трубы для окулярной части телескопа-рефлектора (рис. 9). В этой части имеется небольшое зеркало с передней отражательной плоскостью, служащее для отклонения лучей к точке фокуса (рис. 10—11), расположенной снаружи как раз за продолговатым отверстием. Положение центра продолговатого отверстия определяется вычитанием радиуса трубы из фокусного расстояния зеркала.

Основание телескопа Гадлея напоминает треногую скамейку высотой 500 мм. Верхняя его часть имеет длину 250 мм и примерно в два раза меньшую ширину. Единственный болт крепит узел вилки, могущей поворачиваться по азимуту вокруг этого болта. Пара болтов, идущих от середины трубы наружу, образует ось вращения по высоте. Они крепятся к трубе посредством двух металлических пла-

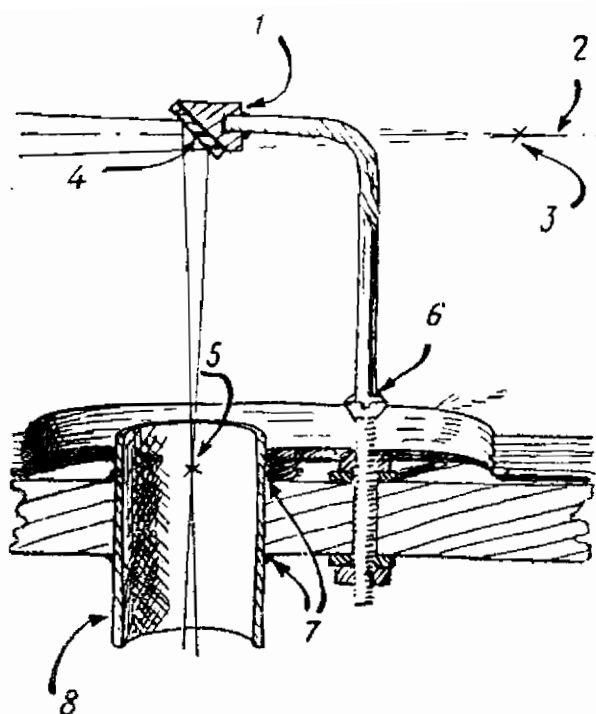


Рис. 10. Диагональное зеркало и фокальная поверхность.

1 — деревянная головка; 2 — оптическая ось; 3 — первичный фокус; 4 — зеркало с передней отражающей поверхностью; 5 — точка фокуса; 6 — место пайки серебром; 7 — места склейки; 8 — тубус окуляра.

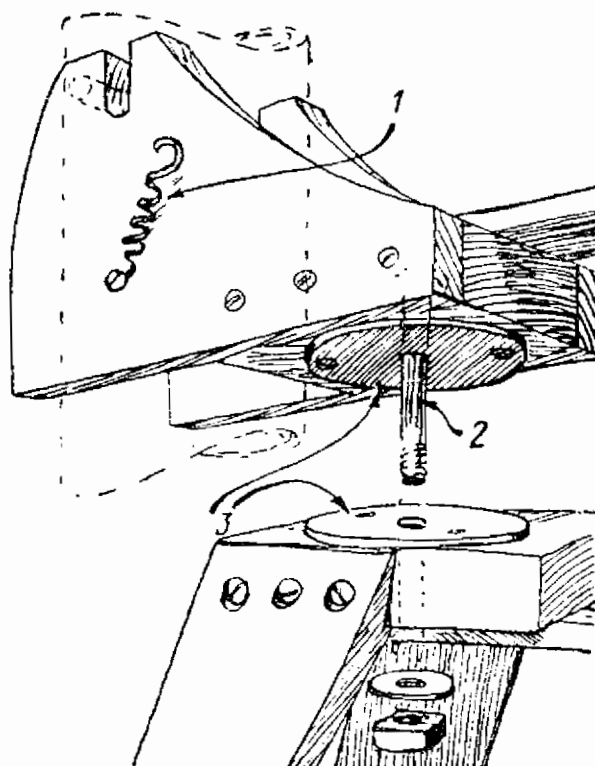


Рис. 11. Детали узла вилки.

1 — пружина, притягивающая вниз цапфу; 2 — болт диаметром 12 мм; 3 — щеки подшипника азимутальной оси.

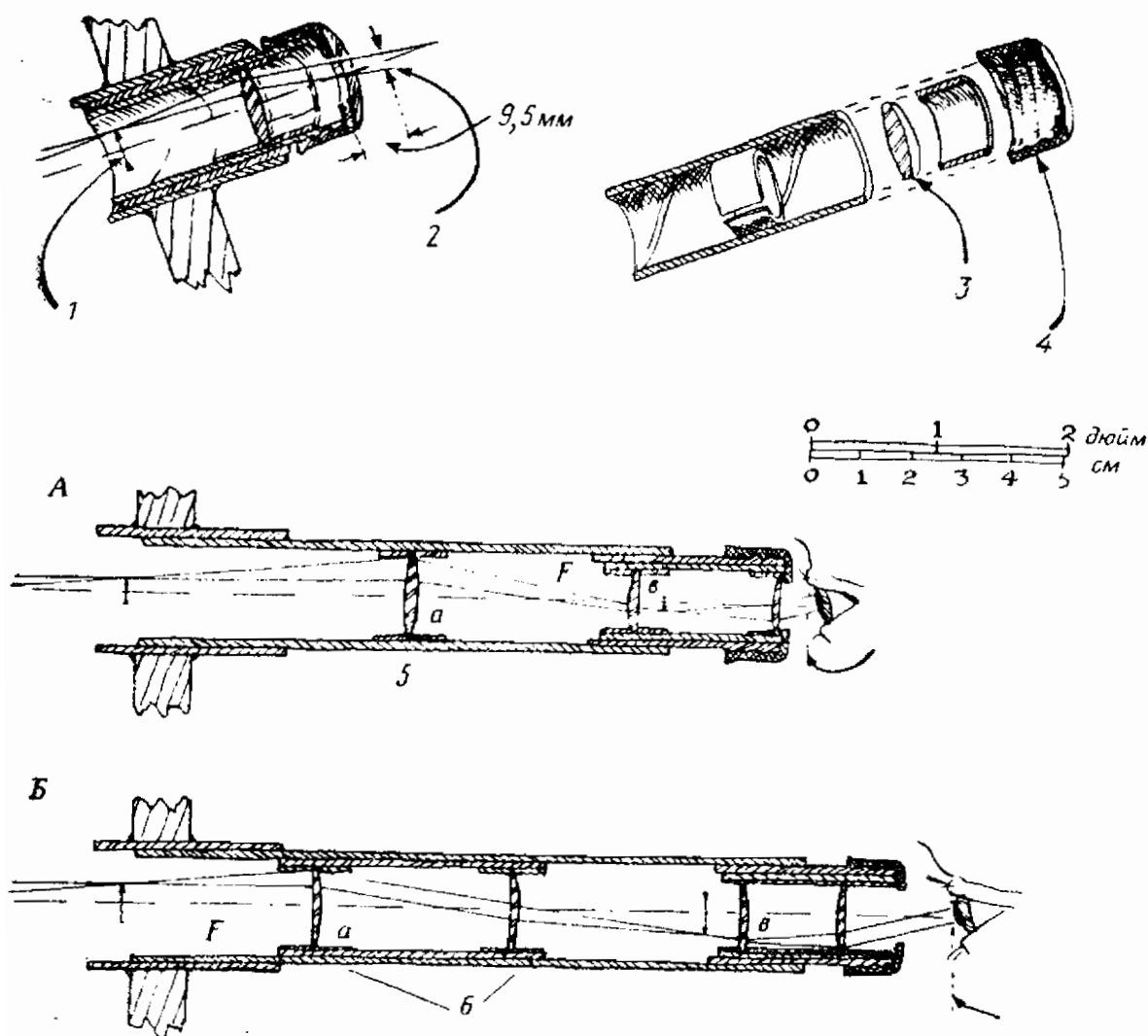


Рис 12. Различные самодельные окуляры к телескопу по Гадлею:

А — окуляр Гюйгенса с двумя линзами a и b ; Б — окуляр Рамсдена.

1 — фокальная плоскость; 2 — примерное положение зрачка выхода; 3 — линза с фокусным расстоянием 25 мм; 4 — пластмассовый колпачок; 5 — простая оборачивающая линза; б — одинаковые плосковыпуклые линзы с разнесенными фокусами.

стинок, привинченных к картонной стенке, и ложатся в прорези вилки. Труба удерживается в прорезях парой винтовых пружин.

Микрометрическое движение как по азимуту, так и по высоте осуществляется при помощи двух миниатюрных лебедочек, сделанных из шестимиллиметровых прутков, на которые насажены пластмассовые рукоятки (у автора они взяты от старого радиоприемника). Консоль на основании несет азимутальную лебедочку и ее канатик, который поворачивает рычаг, укрепленный на вилке. Лебедочка высоты сделана на конце рычага, а ее канатик укреплен на конце трубы. На нижнем конце трубы имеется небольшой противовес для натяжения канатика высоты. По современным стандартам это устройство может показаться несколько примитивным. Однако автор убежден, что это компенсируется дешевизной и простотой. За последние три десятилетия автор построил много телескопов — от копии ньютоновского инструмента до высокомеханизированных конструкций, столь популярных сегодня. И ни один из них, по его мнению, не является столь удобным и приятным в употреблении, как описанный выше примитивный инструмент Гадлея.

ПОЯСНЕНИЯ К ТЕКСТУ

О. А. Мельников и В. В. Титов

1. О необходимости параболизации зеркала

В астрономии источник света находится в бесконечности, поэтому построить изображение объекта с помощью зеркального телескопа с одним зеркалом можно только в том случае, если поверхность последнего представляет собой параболоид вращения. Однако расчеты Д. Д. Максудова показывают, что если уклонение параболической поверхности от сферической не превышает $\frac{1}{4}$ длины волны световых лучей (для видимых лучей она приблизительно равна $0,555 \text{ мк}$), то зеркала с такими поверхностями дают изображения практически одинакового качества. Если, например, при диаметре зеркала 100, 500, 2500 и 5000 мм его относительное отверстие не более $\frac{1}{7}$, $\frac{1}{12}$, $\frac{1}{21}$ и $\frac{1}{26}$ соответственно, то при сферичности его поверхности оно будет настолько же первоклассным для астрономической практики, как и параболическое зеркало. Изготовить же сферическое зеркало несравненно проще, чем параболическое. Автор в тексте рекомендует диаметр зеркала $D_A = 75 \text{ мм}$ и фокусное расстояние $F = 685 \text{ мм}$, т. е. относительное отверстие $A = \frac{75}{685} = \frac{1}{9,1}$, и такое зеркало будет для наблюдений столь же первоклассным, как и параболическое.

2. Абразивы

Абразивы — общее название шлифующих и полирующих материалов. В СССР ГОСТ 3647-47, 3648-47 и 3238-46 подразделяет шлифующие материалы на три группы порошков по крупности зерна: «шлифзерно» от № 200 до № 16, более мелкие «шлифпорошки» от № 16 до № 3 и еще более мелкие («тонкие») «микropорошки» от М28 до М5. При этом номер в первых двух группах соответствует размерной характеристике зерна в сотых долях миллиметра, а число в третьей группе — тому же в тысячных долях миллиметра (микронах). Номера американских карборундов (абразивов), приведенные в тексте брошюры, соответствуют числу ячеек сита (через которое порошок просеивается) в одном погонном дюйме.

В СССР, в частности на ленинградских предприятиях, употребляется для полировки «садовый полярит», в других местах пользуется популярностью «полярит» и др.

3. Вспомогательные материалы

Можно указать следующие: керосин, ацетон, спирт, бензин, эфир, скипидар (растворяет смолу), азотная кислота, нашатырный спирт; хлопчатобумажную вату (гигроскопическую), матерчатые (полотняные, фланелевые, батистовые) и бумажные салфетки для рук, воронки для фильтрования, заостренные деревянные палочки (для наматывания ваты), мягкие (беличьи и кроликовые) кисточки, пинцеты, отвертки, лупы, деревянные клещи-держатели, деревянные доски, черную смолу (пек), канифоль, мыло, гипс, тальк, минеральные масла, гипс (медицинский), алебастр (строительный гипс), парафин, воск, шеллак, лак, естественные бальзамы (сибирский или канадский) или искусственный бальзамин, губки (греческие), замшу, ветошь, разную бумагу (в частности, промокательную). Набор, перечисленный выше, тот же, что и для мастерской по полировке и холодной обработке стекол. Но это боль-

шой набор для мастерской опытного любителя. На первом же этапе можно ограничиться тем минимумом, который приведен в данной брошюре.

4. Оптические схемы телескопов

В настоящее время схемы рефлекторов таковы: а) прямой фокус—наблюдения ведутся в главном прямом фокусе зеркала; из-за экранирования схема целесообразна только в больших телескопах; б) ньютоновская система — небольшим диагональным зеркальцем, поставленным перед главным фокусом, лучи отбрасываются в сторону, и экранирование пучка незначительно; в) кассегреновская схема — перед главным фокусом устанавливается малое выпуклое гиперболическое зеркало, которое отражает пучок упавших лучей обратно в центральное отверстие главного зеркала, и «эквивалентный фокус» (более длинный, поскольку выпуклое гиперболическое зеркало уменьшает сходимость лучей) получается за тыльной стороной зеркала, где и производятся наблюдения; г) нэсмитовская схема аналогична предыдущей, но применяется при отсутствии отверстия в центре главного зеркала. Перед местом предполагавшегося, но не сделанного отверстия (по различным причинам) ставится диагональное зеркало, которое отсылает пучок, идущий от выпуклого гиперболического зеркала в сторону на 90° , и наблюдения ведутся с боку трубы телескопа. Первая схема выгодна тем, что потери на отражение наименьшие (одно зеркало), две же последние выгодны тем, что дают большие фокусные расстояния и, следовательно, большой масштаб изображения.

5. Окуляры

Типы окуляров, упомянутые в брошюре: а) Окуляр Гюйгенса. Состоит из двух линз: 1) передней, называемой линзой поля или коллективом, и 2) задней (глазной) линзы. Обе линзы плос-

ковыпуклые и обращены выпуклостью в сторону зеркала (отрицательный окуляр). Соотношение параметров окуляра следующее $f'_1:f'_2:d:f_2 = 2:6:4:3$, где f'_1 — фокусное расстояние линзы поля (коллектива), f'_2 — глазной линзы; d — расстояние между линзами, а f_2 — фокусное расстояние окуляра в целом. б) Окуляр Рамсдена. Состоит из аналогичных линз с теми же названиями, однако линзы обращены выпуклостями друг к другу. Параметры окуляра следующие: $f'_1:f'_2:d:f_2 = 1:1:1:1$. Первый тип окуляра употребляется для обозрения неба, а второй, допускающий использование сетки нитей или штрихов на стекле, употребляется главным образом для измерительных целей.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

Составил *О. А. Мельников*

1. Троцевич С. Е.,

Изготовление объективов для телескопов, микроскопов и фотографии. Микроскоп и телескоп. Оптическая техника, изд. автора, Варшава, 1903.

2. Чикин А. А.,

Изготовление зеркала для отражательного телескопа, «Изв. Русск. астроном. об-ва», вып. 17, № 8—9, 1912.

Отражательные телескопы (изготовление рефлекторов доступными для любителей средствами), изд. Русск. об-ва любителей мирознания, П., 1915.

Астрономические трубы из очковых стекол, изд. 3-е, М., ОНТИ, 1932.

3. Муратов С. В.,

Телескоп. Его устройство и действие, изд-во «Полярная звезда», П., 1925.

Астрономическая труба из очковых стекол, Астрономический календарь на 1946 г.

4. Пономарев Н. Г.,

Новый метод изготовления стеклянных дисков для астрономических зеркал, Бюлл. Астроном. ин-та, № 36, 271, 1934.

К вопросу об устойчивости телескопа по осям, Бюлл. Астрон. ин-та, № 36, 272, 1934.

5. Максудов Д. Д.,

Астрономическая оптика, М.—Л., Гостехиздат, 1946.

Изготовление и исследования астрономической оптики, М.—Л., Гостехиздат, 1948.

Теневые методы исследования оптических систем, М., ОНТИ, 1934.

6. Шишаков В. А.,

Простейший самодельный телескоп и наблюдение с ним, Изд-во Московского планетария, 1940.

7. Шорыгин С. А.,

Менисковые телескопы Д. Д. Максудова, Астрономический календарь на 1947 г.

8. Навашин М. С.,

Самодельный телескоп-рефлектор, М., Гостехиздат, 1953.

Телескоп астронома-любителя, М., Физматгиз, 1962.

9. Мюллер Р. Л.,

Материал близкого будущего. Строение и кристаллизация стекол (о ситале, пирокераме, витрокераме и пр.), «Природа», № 8, 31, 1964.

10. Любительское телескопостроение, вып. 1, изд-во «Наука», М., 1964.

О Г Л А В Л Е Н И Е

От редактора перевода	5
Самодельный телескоп-рефлектор	13
Пояснения к тексту (О. А. Мельников и В. В. Титов)	33
Дополнительная литература (составил О. А. Мельников)	37

К. Л. Стонг

САМОДЕЛЬНЫЙ ТЕЛЕСКОП-РЕФЛЕКТОР

Редактор *Л. В. Самсоненко* Художник *В. Л. Кейдан*
Художественный редактор *Н. А. Фильчагина*
Технический редактор *Е. С. Потапенкова* Корректор *К. Л. Водяницкая*

Сдано в производство 1/VII 1965 г. Подписано к печати 12/X 1965 г.
Бумага $84 \times 108^{1/32} = 0,63$ бум. л. 2,10 печ. л.
Уч.-изд. л. 1,48. Изд. № 27/3059 Цена 10 коп. Зак 2.000.

ИЗДАТЕЛЬСТВО «МИР». Москва, 1-й Рижский пер., 2.

Тип. «Гудок». Москва, ул. Станкевича, 7.

ИЗДАТЕЛЬСТВО «МИР»

выпускает в 1966 г.

НАУЧНО-ПОПУЛЯРНЫЕ КНИГИ

Бонди Г. Относительность и здравый смысл, пер. с английского, 8 изд. л., цена 35 коп.

Линднер Г. Физика в космосе, пер. с немецкого, 15 изд. л., цена 1 р. 35 к.

Молэн П. Охотники за тайфунами, пер. с французского, 20 изд. л., цена 1 р. 65 к.

Саймон Т. Поиски планеты Икс, пер. с английского, 6 изд. л., 50 коп.

Толанский С. Оптические иллюзии, пер. с английского, 9 изд. л., 70 коп.

Предварительный заказ на книгу по открытке в магазине гарантирует Вам получение книги. Помните, что тираж книги определяется количеством предварительных заказов!

