

## Приложение А.

### Дерево, как структурный материал.<sup>1</sup>

Фанера это склеенная панель, сделанная из относительно тонких кусков или слоев дерева, с волокнами в смежных слоях проходящими вдоль и поперек листа. Наружный слой назван лицевой шпонкой или лицевые и задние слои, а внутренние слои называются шпоном внутреннего слоя или центральными. Слои с волокном идущим перпендикулярно лицевым и задним слоям называется поперечной полосой шпона. Слои могут различаться по числу, толщине, породе и сорту дерева.

#### А.1. Свойства фанеры.

Фанера это общее название. Существует огромное разнообразие фанеры на рынке. До того, как мы обсудим использование ее как конструкционного материала, нам нужно сделать кое-какую домашнюю работу. Как подразумевает название, фанера сделана из слоев дерева. Понимание свойств фанеры это очень полезное знание, когда вы покупаете на складе пиломатериалов нужную фанеру для вашего телесекопа. Очень хорошо если вы больше узнаете об этом и тогда ваши знания помогут вам сделать «верный выбор».

В сравнении с обычными пиломатериалами, главное преимущество фанеры заключается в ее свойствах, почти равномерно распределяющихся по всей длине и ширине панели. В добавок, фанера предлагает большее сопротивление расколу, и, конечно фанера продается в самых разнообразных больших листах. Тип, количество и размер слоев, различие в направлении волокон и различные слои разных пород древесины все это влияет на механические свойства составной фанерной панели.

Все дерево имеет тенденцию к деформации при изменении влажности воздуха и, как результат, неровная усадка или вздутие вдоль, поперек и прямо через волокна дерева. В фанере эта тенденция по большей части устранена сбалансированностью конструкции. Слои в фанере, имеющие ту же толщину и породу дерева находятся по парно с каждой стороны от центра. Панели могут быть сбалансированы тремя, пятью, семью или даже намного большим числом слоев. Сбалансированность конструкции чрезвычайно важна в панелях, которые должны оставаться плоскими.

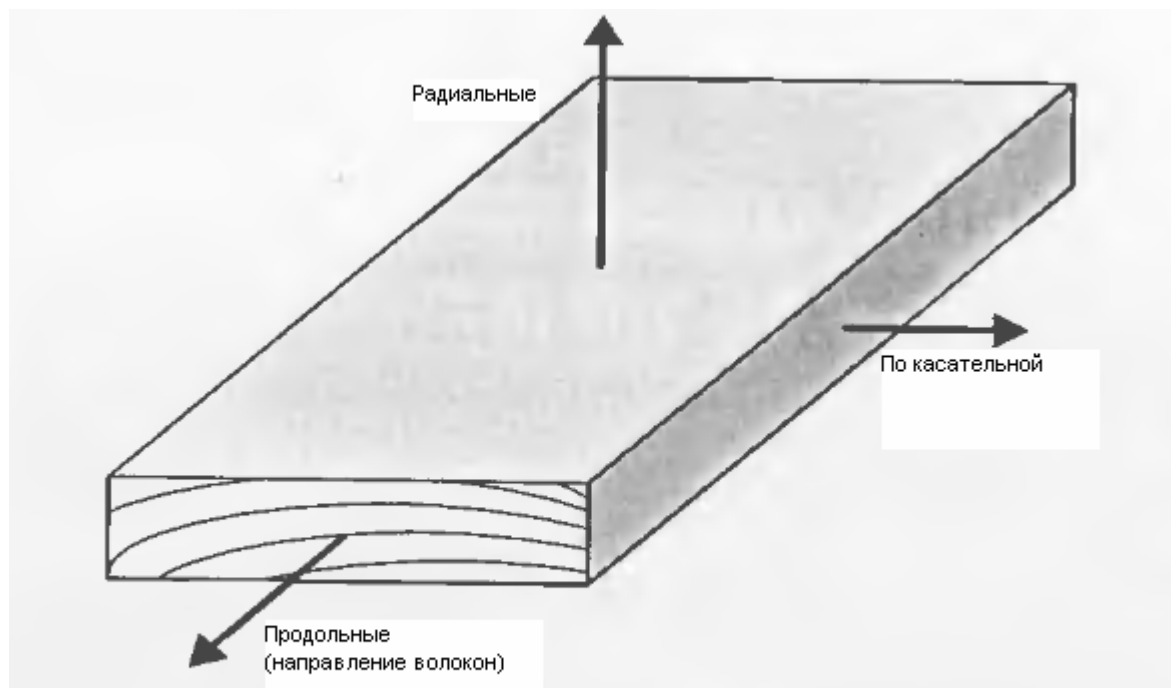


Рис.А.1. Дерево имеет разные механические свойства в каждой из этих осей. В продольной оси, направление древесных волокон, оно крепче, в касательной оси, которая проходит поперек волокон, оно слабее. Комбинацией этих слоев проходящих в разных направлениях в фанере достигается более одинаковые механические свойства, чем в простом бруске дерева.

<sup>1</sup> Это приложение является адаптацией избранного текста из «Справочника по дереву», публикация Департамента Сельского хозяйства США.

Фанерные панели могут быть как небольшой толщины 1/8-дюйма, так и более толстые 1 1/8 дюйма. Сердцевина может быть из толстого или тонкого дерева, полосок крепкого дерева или даже из такого материала, как ДСП. Когда вы выбираете фанеру, никогда не судите по лицевой шпонке. Два листа «дубовой» фанеры могут иметь совершенно различные механические свойства, поскольку внутренние слои могут быть сделаны из различных пород дерева количество, толщина и направление волокон внутренних слоев может быть разной.

### А.1.1. Виды фанеры.

Если говорить в целом, то существует два основных класса фанеры: строительная и промышленная, и твердая и декоративная. Строительная и промышленная фанера традиционно делается из мягких пород древесины, таких как ель Дугласа, южная сосна, белая ель, лиственница, западных болиголов и калифорнийское мамонтовое дерево. Большинство строительной и промышленной фанеры, используемой в США, произведено внутри страны. Большая часть строительной и промышленной фанеры используется там, где нужна крепость, гибкость и скорость сборки важнее внешнего вида.

Твердая и декоративная фанера производится из многих пород крепкого дерева. Свыше половины твердой и декоративной фанеры используемой в США импортируется. Ее обычно используют для мебельных и кабинетных панелей, где внешний вид важнее прочности.

Фанерные панели маркируются в соответствии с типом и сортом. Два основных типа фанеры внутренняя и внешняя сторона; сорт фанеры зависит от качества поверхности шпонок. Различаются два типа фанер по их «долговечности склейки» или сопротивляемости воде клея, который склеивает слои. Если только вы не собираетесь оставлять телескоп постоянно снаружи, не покрытый и выставленный на показ, то внутренние слои фанеры будут превосходно работать.

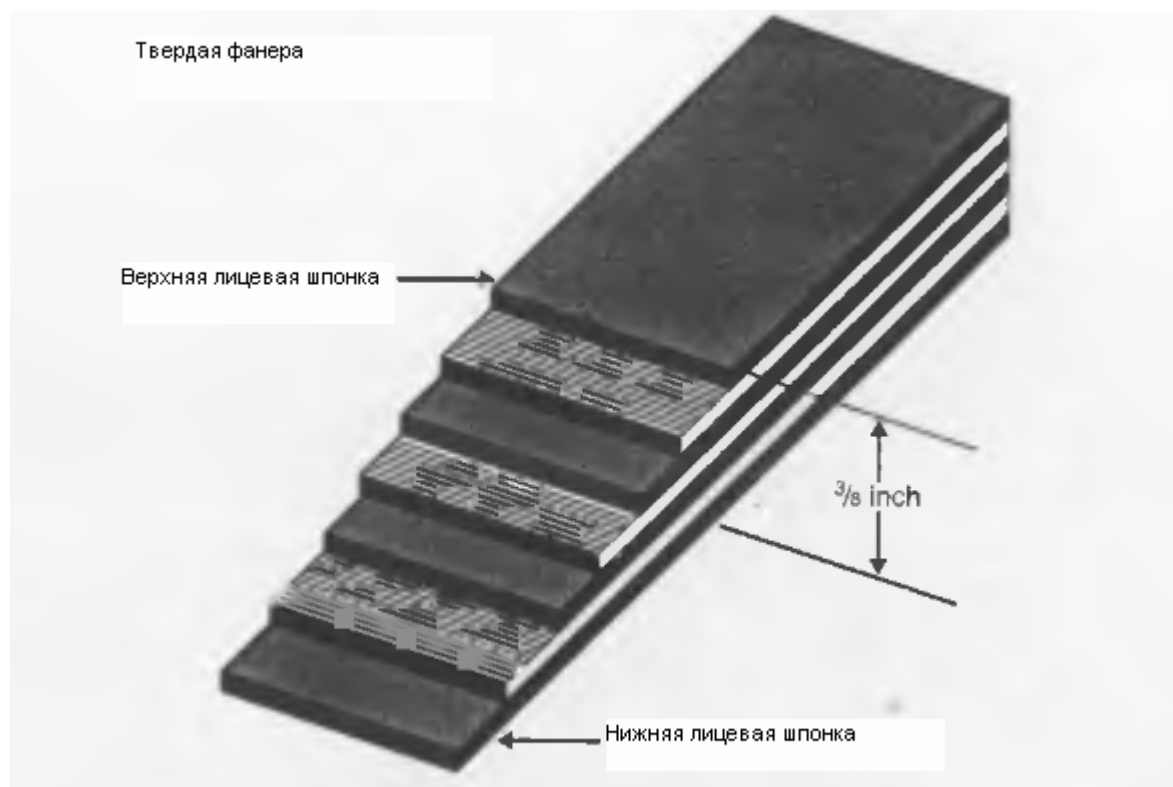


Рис.А.2. Фанера с крепкой лицевой шпонкой и крепкой сердцевиной делается из множества тонких слоев склеенных вместе. Внутренние слои без дефектов, а лицевая шпонка часто имеет красивый рисунок волокон.

Сорт панели зависит, прежде всего, от качества используемых шпонок, практически от лицевой и задней части. Панель маркированная как А-А, означает, что лицевые шпонки с обеих сторон сделаны из самой лучшей древесины, с очень хорошим внешним видом. Волокна гладкие, прочные и распределены по всей длине. Фанера А-А, А-В или А-С находит применение в изготовлении мебели (стерео стойки, книжные полки, кухонные шкафы и т.д.), где красивый

внешний вид важнее более важен чем прочность. В случае, если важна лишь одна сторона, вы можете сэкономить деньги, купив фанеру А-С. Используйте сторону А на показ, а С можно скрыть.

Лист маркированный С-D широко используется в строительстве для стел, полов и покрытия крыши, где прочность гораздо важнее красоты.

### А.1.2. Прочность фанеры.

Прочность разной фанеры может быть вычислена при условии знания количества и толщины различных слоев из которых изготовлена панель, а также знания породы дерева каждого слоя.

Следующая формула относится к гибкости фанеры, то есть способности плоского листа фанеры сгибаться. Средний модуль эластичности в гибкости или сгибании зависит от модуля эластичности параллельному длине различных слоев в среднем, в соответствии с моментом инерции около нейтральной плоскости. Вот как это выглядит:

$$E_w \text{ или } E_x = \frac{1}{I_{th}} \sum_{i=1}^{l=n} E_i h_i$$

Где  $E_{fw}$  модуль эластичности фанеры в сгибании, когда лицевые волокна параллельны длине;  $E_{fx}$  это модуль эластичности фанеры в сгибании, когда лицевые волокна перпендикулярны длине;  $E_i$  это модуль эластичности  $I_{th}$  слоя по направлению длинны;  $I_i$  это момент инерции слоя  $I_{th}$  около нейтральной плоскости фанеры, а  $I$  это момент инерции всего поперечного сечения около центральной линии.

Для простоты понимания, предположим, что слои имеют равную толщину и сделаны из одной породы древесины. Тогда формула упрощается до:

$$E_w = \frac{1}{2n} [(E_l + E_t)n + (E_l - E_t)]$$

И

$$E_x = \frac{1}{2n} [(E_l + E_t)n - (E_l - E_t)]$$

Где  $n$  это число слоев ( $n$  всегда четное, поскольку панель сбалансирована).  $E_l$  это модуль эластичности шпонки, параллельной волокнам, а  $E_t$  это модуль эластичности шпонки по касательной.

Что значат эти уравнения? Если простыми словами, то они значат, что прочность фанеры зависит от породы дерева и направления слоев лицевой шпонки. Предлагаем вам несколько простых правил, которые очень вам помогут, когда вы будете строить телескоп и захотите получить максимально хороший результат. Запомните эти важные свойства фанеры:

**От толщины панели зависит ее прочность.** Другими словами, если вы используете больше слоев одинаковой толщины, то с увеличением толщины панели, увеличивается и ее прочность. В нагруженном состоянии прочность фанерной панели возрастает в кубическом отношении к толщине. Это значит что небольшое увеличение толщины влечет за собой сильное возрастание прочности: 1/2-дюймовая фанера в восемь раз прочнее 1/4-дюймовой.

Это правило может сохранить вам деньги. Если вы склеите вместе два слоя дешевой, слабой 3/4-дюймовой фанеры, то вы получите панель, которая будет намного прочнее, чем один слой дорогой 3/4-дюймовой фанеры с 13 слоями такого дерева, как Балтийская Береза. Двойная толщина сторон качалки и основания с двухслойной 3/4-дюймовой фанерой, делает качалку в восемь раз более прочной, чем тоже самое, сделанное из одного слоя фанеры. Конечно и вес будет вдвое больше.

**Модули эластичности пород древесины, которые составляют разные слои, определяют прочность панели.** Слои, сделанные из прочной древесины с высоким модулем эластичности прочнее и лучше сопротивляются сгибанию.

Для мест с высоким напряжением, которые должны быть легкими и широкими, как вторая клетка и визирная доска, выберите фанеру, сделанную из твердых пород дерева с высоким модулем эластичности. Для более прочной конструкции используйте крепкую фанеру из дерева вроде Балтийской Березы, где все слои сделаны из пород деревьев с высоким модулем эластичности. В крайнем случае, возьмите фанеру для напряженных частей у которых лицевая шпонка сделана из твердого дерева.

***Количество слоев в панели, заданной толщины, не особенно влияют на прочность панели.***

Не важно, как много слоев в панели, волокна половины слоев проходят параллельно длине, а половина перпендикулярно. Поэтому  $\frac{3}{4}$ -дюймовая фанера с 13 тонкими слоями имеет приблизительно ту же прочность что и  $\frac{3}{4}$ -дюймовая фанера с 7 толстыми слоями, при условии, что используются одинаковые породы дерева.

Это значит, что использование многослойной твердой фанеры для компонентов, не подвергающихся нагрузкам, пустая трата денег. Используйте фанеру, сделанную из дешевой, мягкой древесины для платформы основания, низа качалки и боковых держателей. Для мест с высоким напряжением запомните, что порода и общая толщина, а не количество слоев делает такой материал как Балтийская береза таким великолепным.

***Размещение лицевых шпонок панели параллельно длине обеспечивает большую прочность, которая уравнивается лицевыми шпонками перпендикулярными длине.*** Лицевая шпонка фанерного листа всегда проходит в том же направлении, а поскольку лицевая шпонка обычно делается из древесины с высоким модулем эластичности, размещение ее на лицевой части делает панель прочнее.

На прямоугольных компонентах, как зеркальная коробка, стороны качалки и визирной доске используйте фанеру с волокнами лицевой шпонки, параллельными длине. В результате вы получите большую прочность.

***Размещение лицевых шпонок перпендикулярно одна другой позволит вам сделать панель прочной в обоих направлениях.*** Когда вы сдвигаете  $\frac{3}{4}$ -дюймовые панели из мягкой древесины для квадратных компонентов вроде низа качалки, склейте их так, чтобы лицевые шпонки верхнего слоя, были перпендикулярны лицевым шпонкам нижнего слоя. В результате вы получите низ качалки равной прочности во всех направлениях.

## **А.2. Выбор фанеры для телескопа.**

Ясно, что понимание свойств фанеры зависит от самых мельчайших структурных компонентов и суммы их свойств. В данный момент мы знакомы с этими характеристиками фанеры и мы можем применить наши знания в практических целях. Мы можем выбрать и приобрести коммерчески доступные фанерные панели с максимально подходящими свойствами. Вот что вы должны искать:

1. Фанера с твердой шпонкой и сердцевинной.
2. Фанера с твердой шпонкой и мягкой сердцевинной.
3. Фанера с мягкой шпонкой и мягкой сердцевинной
4. ДСП.

Каждая из них имеет свое место в телескопе, хотя они и сильно различаются по своим свойствам.

### **А.2.1. Фанера с твердой шпонкой и сердцевинной.**

Такая фанера прочная, твердая, тяжелая и самая дорогая из всех. Все внутренние слои также хороши, как и лицевая шпонка и сделаны из твердого дерева. Их высокая плотность обеспечивается крепостью сердцевины, которая в свою очередь обеспечивает высокую прочность на дюйм.

Подобную фанеру следует выбирать для мест, подвергающихся высокому напряжению, как кольца второй клетки и визирная панель.

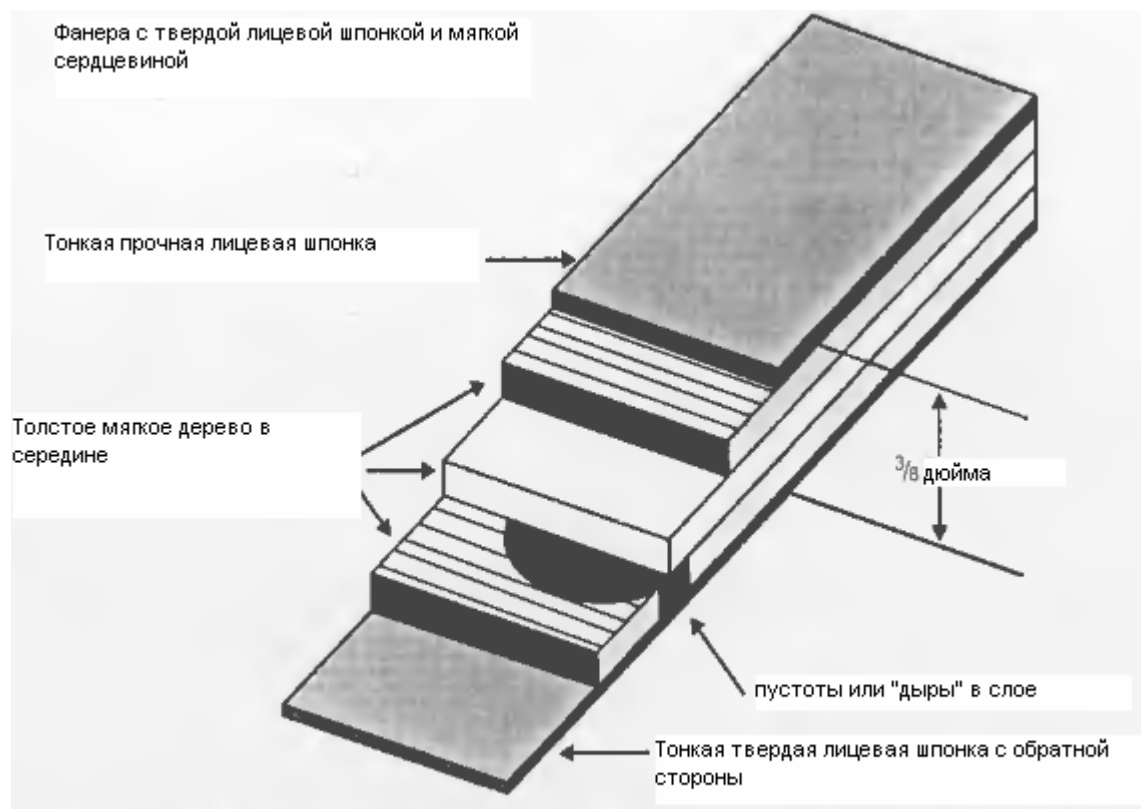


Рис.А.3. Фанера с твердой лицевой шпонкой и мягкой сердцевиной выглядит привлекательно, но красота эта только поверхностна. Твердая лицевая шпонка очень тонкая, а сердцевина выполнена из дешевой мягкой древесины, которая сама по себе толстая и может содержать, расколы, трещины и пустоты.

Фанера также очень сильно сопротивляется раскалыванию, когда прибиваются гвоздями или прикручиваются гайками края панели, как вам нужно будет делать при изготовлении зеркальной коробки. В сравнении с фанерой с твердой лицевой шпонкой и мягкой сердцевиной, поперечное сечение подобной фанеры выполнено из твердой древесины и при обработке не требуют дополнительного укрепления. Поскольку внутренние слои имеют несколько участков с внутренними пустотами, то поперечное сечение может быть после обработки гладким и привлекательным на вид.

Вы не найдете фанеру с твердой шпонкой и сердцевиной на вашем местном складе пиломатериалов или хозяйственном магазине. Вам нужно будет ее искать. Для этого свяжитесь с кем-нибудь из Приложения Е и тогда купите. Если вы относитесь к тому типу телескопостроителей, которым нужен действительно первоклассный прекрасно выглядящий телескоп, то подобная фанера стоит усилий. Однако, если вас волнует лишь то, что вы увидите в окуляре, а не то, как выглядит структура, вмещающая в себя оптику, то подберите один из менее дорогих сортов фанеры с твердой лицевой шпонкой и мягкой сердцевиной.

Балтийская береза. Попавшая в США в 1967 году, Балтийская Береза долгое время служила для отделки кабинетов, мебели и прочего. Поскольку Балтийская Береза обладает непревзойденными качествами, то это самый лучший выбор фанеры для телескопов. Фанера делается из множества слоев березы, каждые немного меньше 1/16-дюйма. Материал со множеством слоев кроме всего прочего обладает и привлекательностью.

Фанера из Балтийской Березы состоит из лицевых, обратных и внутренних слоев, которые могут выдерживать огромные напряжения. Она обладает большой прочностью на растяжении и хорошо держит винты, даже большие винты могут быть легко и быстро установлены близко к краю без опасности раскола. В сравнении с обычной березовой панелью, сделанной из мягкой древесины с тонким слоем крепкой лицевой шпонки на поверхности, Балтийская Береза более чем в три раза прочнее.

Поскольку фанера имеет вдвое больше слоев и каждый слой из березы, вы можете использовать более тонкую фанеру в местах, подвергающихся большим нагрузкам, чем вы бы могли

себе позволить с обычной березовой фанерой. Это делает ваш телескоп легче и прочнее. Обычная береза может выглядеть более привлекательной, однако она никогда не будет такой прочной.

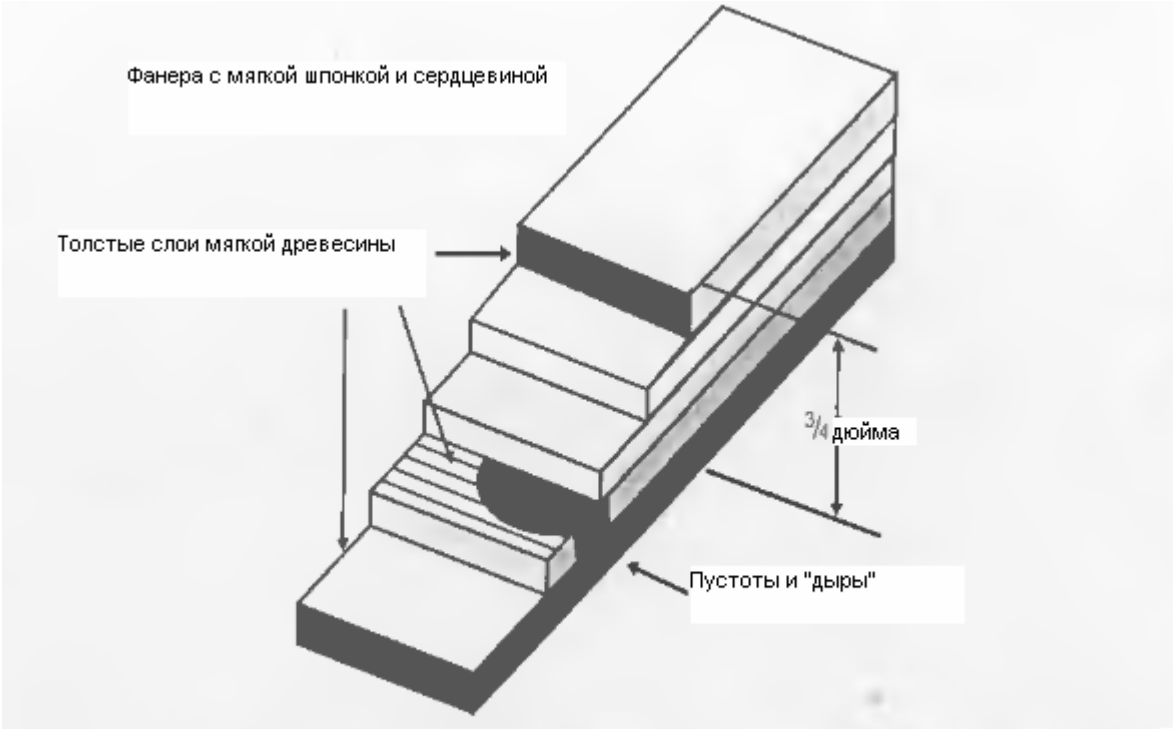


Рис.А.4. Фанера с мягкой шпонкой и сердцевинной делается из мягких пород дерева. В высоко-качественном телескопе она может пригодиться только для таких структур, как платформа основания и качалка. «Изготовленная внутри страны» панель 3/4-дюймовой фанеры обычно содержит только пять слоев.

Не важно, как вы будете ее пилить, Балтийская Береза всегда имеет ровные края без пустот, поскольку нет соединений в шпонках. Даже еще не обработанные края создают красивый декоративный орнамент и в итоге дают продукт ни на что не похожий, однородного светлого цвета, привлекательный и хорошо красится.

Таблица А.1. Стоимость разных видов фанеры.<sup>2</sup>

Марка или сорт (листы 4x8)	Тип и число слоев	Цена в долларах за квадратный фут(\$)**
Финка – АА береза (5x5 лист)	HVHC- 13	3,00
Яблоневка – АА (клен, клен-ольха)	HVHC - 13	2,85
Балтийская береза АВ	HVHC - 13	1,85
Дубовая шпонка – АВ	HVSC - 7	1,93
Дубовая шпонка – АВ*	HVSC - 5	1,60
Кленовая шпонка – АВ*	HVSC – 7	1,60
Березовая шпонка – АВ*	HVSC – 7	1,60
Сосна – ВС	SVSC – 5	1,00
Морская – АВ	SVSC – 13	2,60
Осина – ВС (сердцевина ель)	SVSC – 7	1,00
Ель Дугласа – АС	SVSC – 7	1,27
Чистая сосна – АІ	SVSC – 7	3,55
CDX (23/42 дюйма обои для стен)	SVSC - 5	0,88
ДСП №45	Древесные частицы	0,56
*Фанера, которая обычно производится «внутри страны» (сердцевина неизвестна)		
** Цена в долларах за квадратный фут: Прайс цен на 1997 год. Дерево это товар, поэтому цена может колебаться в значительном диапазоне за короткий срок. Когда высок спрос, то цены растут на все виды фанеры.		

<sup>2</sup> Тип фанеры дается для удобства в американском варианте, где HVHC – твердая шпонка, твердая сердцевина; HVSC – твердая шпонка, мягкая сердцевина; SVSC – мягкая шпонка, мягкая сердцевина. (Прим. перев.)

Доступны три сорта лицевых шпонок. Все три вида имеют сходные внутренности, поэтому выбор зависит от того насколько вы придирчивы, насколько сильно собираетесь обрабатывать ее и сколько готовы потратить. Фанера из Балтийской Березы обычно продается в листах 60 на 60 дюймов. Вы когда-нибудь пробовали самостоятельно поднять такой лист? У вас этого не получится, если только вы не обезьяна у которой длинные руки.

После краха Советского Союза, доступность и качество Балтийской Березы стало более разнообразно. Поэтому стоит проверять каждый лист перед покупкой. Не давайте какому-нибудь неумехе выбирать лист за вас. Помните, вам нужна конкретная фанера. Не разменивайтесь на мелочи.

**Финка.** Производится в Финляндии, и делается из тех же деревьев, тех же лесов, что и Балтийская Береза из России. Она идентична Балтийской Березе по всем пунктам, кроме качества партии; каждая партия Финки всегда превосходна. Каждый лист в каждом грузовике изготовлен по одинаковому высокому стандарту. Она тоже идет в листах 60 на 60 дюймов. Хороший материал, который мы очень рекомендуем.

**Яблоневка (ApplePly).** ApplePly является просто маркой и ничего не имеет общего с одноименным деревом в слоях фанеры из которых она склеена. Это одна из лучших крепких фанер на рынке для телескопостроителей. Как и другие крепкие фанеры слоистая ApplePly состоит из 1/16-дюймовых крепких слоев. Но вместо березы для сердцевины ApplePly использует Западную Красную Ольху, растущую на северо-западном побережье Тихого Океана. Поскольку сердцевина из ольхи ApplePly весит меньше чем Балтийская Береза и Финка. В результате получается крепкая фанера с выдающимися прочностно-весовыми характеристиками — а это является лучшим выбором для качественного портативного телескопа.

Что особенно приятно, так это то, что лицевые шпонки ApplePly такие же гладкие, как 1/20-волновое главное зеркало. Ну ладно, это преувеличение — но все равно эта фанера невероятно гладкая и красивая. Ей не требуется дополнительная обработка. Шпонки сорта ААА. лицевые шпонки не только высокого качества, но кроме этого вы можете выбрать из семи доступных вариантов. Клен самый распространенный, но вы также можете заказать дуб, березу, орех-пекан, гикорию, ясень и сосну. И лучшее из этого, что они продаются в листах 4 на 8 футов.

### **А.2.2. Фанера с твердой лицевой шпонкой и мягкой сердцевиной.**

Когда кто-то говорит вам, что построил свой телескоп или стереофоническую кабину из березовой, дубовой или кленовой фанеры, не верьте этому. Продаваемая фанера по существу может иметь лицевые шпонки из твердых пород дерева, но с сердцевиной из низкосортной мягкой древесины. Подобная фанера может хорошо выглядеть, но в ней не хватает прочности, которую имеет только HVHC фанера. Когда вы разрежете мягкую фанеру, то найдете огромное число воздушных полостей, которые, кажется обрываются в самых неожиданных местах, как кольца во второй клетке.

В последние несколько лет сердцевина в такой фанере становится все более и более плохой. Законодательство защищает различные виды деревьев, где живут животные, огромные иностранные запросы к лесу США и продолжающееся внутреннее развитие, уменьшает число деревьев, годных для вырубki. Чтобы оставаться конкурентно способными и сохранить деньги, лесопилки используют то, что им доступно и заполняют этим пространство между твердыми лицевыми шпонками. Традиционно для этого использовалась ель, но теперь для этого используют красное дерево Луан из тропиков. Луан мягкое дерево, приблизительно эквивалентно по крепости картону. Луан это просто мусор в фанере.

Если вы ограничены в средствах, то такая фанера вполне подойдет, но будьте готовы заполнять многочисленные пустоты древесной замазкой. Также, для минимизации раскалывания, предварительно просверливайте все отверстия для гвоздей и болтов, которые находятся близко к краю.

### А.2.3. Фанера с мягкой шпонкой и мягкой сердцевинной.

Фанера с мягкой шпонкой и мягкой сердцевинной приходит на ум, стоит нам только подумать о фанере. Пойдите на какой-нибудь склад пиломатериалов и спросите продавца где находится фанера и он укажет вам направление прямо к этой желтоватой штуке. Все слои этой фанеры сделаны из одинаковых пород мягкого дерева.

Лучшая по качеству подобная фанера производится из различных видов ели. Четыре на восемь футов листы могут иметь А-В или А-С лицевые шпонки. Внутренняя сердцевина имеет слои С или D. Не выбрасывайте короткие листы мягкой фанеры. Эта фанера прочна, не дорога и может быть использована почти везде, где только можно вообразить.

Мягкое дерево вроде Ели Дугласа, например, имеет, высокий модуль эластичности и может обеспечить всю необходимую прочность и крепость, какая вам нужна, приблизительно в две трети веса обычной твердой фанеры. Используйте мягкую фанеру, там где вам не волнует прочность шпонки, плохой внешний вид и пустоты и дыры по поперечному разрезу. Подобная фанера отлично подойдет для платформы основания и низа качалки в большом Добсонянце.

**Морская фанера.** Это гибрид. Эта фанера имеет мягкую шпонку и мягкую сердцевину и используется в лодочной индустрии. Это крепкое мягкое дерево. Как и во всех твердых фанерах лицевые шпонки и сердцевина морской фанеры имеют толщину 1/16-дюйма и делаются из таких мягких пород дерева, как Ель Дугласа, склеенная при помощи водостойкого высококачественного клея. Слои имеют обычный сорт В, поэтому в ней нет пустот и вы не найдете дыр, когда будете ее пилить. Морская фанера прочная вещь с высоким модулем эластичности и дороже многих подобных фанер. Это превосходный выбор для тех, кто хочет получить хорошее отношение между прочностью и весом. Поскольку лицевые шпонки делаются из тех же мягких пород дерева, как и сердцевина, морская фанера это хороший выбор для любого компонента, который не будет ударяться и где не важен внешний вид.

### А.2.4. ДСП.

Смешайте опилки с клеем и что вы получите? ДСП. Опилки мягкого дерева (частицы) склеиваются под нагреванием и прессуются в панели. Клеящий агент в данном случае это та же фенольная резина или карбамид формальдегида. Фунт за фунтом фенольная резина обеспечивает прочные качества, делает его сильнее, гладкой по краям и с большей сопротивляемостью воде, чем просто карбамид формальдегида. Неизолированная карбамид формальдегидной резиновые частицы доски распухают и со временем растворяются под действием влажности. Если вы собираетесь использовать ДСП в телескопе и будете наблюдать во влажной местности, убедитесь, что фенольная часть доски надежно закрыта.

Мы не рекомендуем делать телескоп из ДСП, разве что вы очень стеснены в средствах. Сохранение фанеры не стоит лишнего веса ДСП и части из ДСП очень трудно собирать. Гвозди и винты выпадают и просто не держатся на месте. В добавок если части доски намокнут, то она станет мягкой и растворится. Херня!

А кроме того в ДСП развивается память напряжения. Согнутый кусок ДСП остается согнутым даже после того, как нагрузка удалена. Даже не смотря на то, что доска эластична, но некоторые части доски нельзя восстановить к первоначальному виду после длительной деформации.

В конце концов вы можете пойти на хороший склад пиломатериалов, где найдете более чем тридцать сортов фанеры и почти дюжину разных мягких фанер. Выбор огромен. Вы можете построить свой телескоп с той степенью прочности и привлекательности, какую только захотите. Многие из этих твердых фанер прекрасно подойдут для компонентов телескопа. А вишневая фанера зеркальной коробки и качалки с кленовыми установочными блоками будет прекрасно смотреться.



## Приложение В.

### Шлифовка, полировка и формирование больших, тонких зеркал.

*Автор – Роберт Кестнер.*

Если вы уже делали зеркала для телескопов прежде, то эта глава поможет вам применить свои навыки к большим, тонким зеркалам. Описанные техники хорошо работают с 16-дюймовыми и большими зеркалами. Однако, если вы никогда прежде не делали зеркал не стоит начинать с большого тонкого зеркала. Это намного большая работа, чем вы можете себе представить. Сначала изучите изготовление маленьких, а затем уже переходите к большим, это будет намного полезнее для вас.

Существует множество способов делать зеркала для телескопов. Методы, которые я описал, это те самые методы, которые я использовал год назад, когда был любителем астрономом и работал дома, шлифуя и полируя все вручную. Когда я предлагаю вам использовать для этого машины, я делаю это лишь для вашей информации, потому что нет необходимости все делать вручную.

#### **В.1. Получение заготовки для зеркала.**

Тонкие зеркала это преимущество для больших любительских телескопов. Они менее дороги, чем толстые и легче (а это более важно даже чем первая причина) и они более быстро достигают температурного равновесия.

В прошлом астрономы любители и телескопостроители верили, что стекло для главного зеркала, должно иметь толщину в одну шестую диаметра. Однако в наши дни большинство главных зеркал имеют соотношение толщина/диаметр 1:12, 1:16 или 1:20 и при этом превосходно работают. Используя техники, что будут описаны далее, намного труднее сделать тонкое зеркало, чем зеркало полной толщины.

Частая проблема это получение стекла. Классическое Добсониянское решение этой проблемы состояло в использовании иллюминаторного стекла. Сегодняшний выбор заключается в стекле с низким коэффициентом расширения, вроде Пирекса. Однако всего лишь несколько компаний могут предложить подходящие заготовки из Пирекса для нужд астрономов любителей. Вы также можете приобрести грубо вырезанные заготовки из стекла у компаний, которые не используют его для продажи — излишки производства, несмотря на то, что такую заготовку можно сделать намного лучше. Используйте максимум такта и понимания, покупая в таких местах. Подробно опишите то, что вам требуется так, словно это нужно не от них. Помните о том, что следует сказать для чего это нужно. Люди любят телескопы; пообещайте дать им взглянуть через него и они сделают все, чтобы помочь вам.

##### **В.1.1. Иллюминаторное стекло: классический выбор.**

Зеркала в классических тротуарных телескопах Джона Добсона были сделаны из стекла для иллюминаторов больших кораблей. До сих пор существует несколько мест, где вы можете приобрести излишки иллюминаторного стекла. Начните с магазинов излишков в портовых городах. Иллюминаторное стекло 16-дюймового и 18-дюймового диаметра сделано из зеркального стекла 1-дюймовой толщины и до сих пор предлагается по цене от 10 до 300 баксов. Вполне разумная цена, которую могут себе позволить многие.

Зеркальное стекло имеет в три раза больший коэффициент расширения, чем Пирекс. По этой причине оно намного хуже подходит для телескопов чем Пирекс. Даже когда зеркальное стекло используется в сплошной трубе закрытой сзади, как в случае с классическим Добсониянцем, после начала вечернего выравнивания, температура в зеркальной коробке меняется очень медленно. Мне приходилось наблюдать через множество телескопов с зеркалами из зеркального стекла, установленными в закрытой трубе и я мог засвидетельствовать, что изображения меняются после достижения зеркалом температурного равновесия, совсем не сильно. В результате получается, что работоспособность зеркал из зеркального стекла весьма не плохая. Возможно даже более важно то, что зеркальные стекла идут круглой формы и 99% из них имеют поверхности достаточно плоские,

чтобы сразу начать шлифовку, поэтому изготовление зеркала становится намного проще. Без иллиминаторного стекла оригинальные тротуарные телескопы было бы намного труднее конструировать. Это хорошие новости.

А сейчас плохие новости: зеркальное стекло гораздо труднее формировать, чем Пирекс и иногда в нем встречается проблема напряженного стекла. Формирование зеркального стекла более длительный и более трудоемкий процесс чем формирование Пирекса. После того, как вы обработаете зеркальное стекло под нагреванием, необходимо несколько часов, прежде чем вы сможете что-то сказать о том, насколько удачно все получилось и что делать дальше. Это значит, что когда вы делаете окончательное формирование, вы должны будете ждать около трех часов, чтобы сказать, что же делать дальше. Принимая во внимание такие временные паузы, то вам может понадобиться целый день, чтобы применить всего пару операций. Если вы все же планируете использовать зеркальное стекло, пусть вас не останавливают трудности, просто распознайте его как зеркальное стекло и поступайте соответствующим образом.

В сегодняшних Крэйговских Добсоньянах, где задняя поверхность зеркала прямо выставлена на воздух, температура меняется под действием воздуха довольно быстро. Учитывая все это, лично мне не нравится использование зеркального стекла. Для современных Добсоньянцев нужен Пирекс.

### В.1.2. Листовое стекло Пирекс.

Пирекс доступен в компаниях, которые обычно не продают его любителям. Продается Пирекс самой разной толщины, на данный момент доступны самые толстые листы в 2 1/8 дюйма. Так как мировой рынок стекла с низким коэффициентом расширения растет, то в скором времени производства в России, Японии и Европы могут начать предлагать листовое стекло с низким коэффициентом расширения и заготовки пригодные для изготовления зеркал.



Рис. В.1. Да оно большое! Дэн Бэккен на дано фото показан с 41-дюймовым f/4 зеркалом, которое он обработал, сформировал и отполировал вручную — с помощью друзей. Данное зеркало используется в большом каркасном телескопе, который Дэн зовет «Геркулес».

А сейчас производитель продает листовое стекло дистрибьюторам большими партиями. Если вы не можете найти Пирекс самостоятельно, то можете послать запрос в United Lens в Анахайме, Калифорния или United Lens в Сауфбридже, Массачусетс. Также ищите в рекламных предложениях в журналах для астрономов любителей и особенно в фирмах, которые продают листовое стекло и заготовки для зеркал. Оптические магазины, которые делают большие зеркала также могут продать вам подходящие куски стекла или даже вырезанные заготовки подходящего размера и формы для зеркала.

Пирекс доступен в плохо или хорошо отоженном состоянии. Я рекомендую хороший отжиг для телескопных зеркал. Плохо отоженное стекло также может подойти для зеркала телескопа, но я никогда их не пробовал. Поскольку скорее всего они не точные — большинство заготовок будут работать, но некоторые плохо, поскольку существует местное напряжение в стекле.

Цена, запрашиваемая за заготовки, вырезанные из листового стекла несколько различается. За кусок в 16-дюймов диаметром и 1 5/8 дюйма толщиной вам придется заплатить по меньшей мере 225\$, а за кусок размером в 24 дюйма на 1 5/8-дюйма толщины около 500\$, но эти цены могут меняться.

Когда заказываете стекло, укажите примерный диаметр и толщину. Компания отрежет квадратный кусок, примерно под размер вашего зеркала. Они несколько раз обрежут углы, до тех пор, пока кусок не станет круглым. Поэтому вы получите стеклянную заготовку с от 16-ти до 60-тью сторонами с поверхностью лишь слегка плоской — меньше чем 1/8 дюйма. Настаивайте на том, чтобы обрезали больше сторон — вам же не нужно всего восемь.

Иногда грубые заготовки получаются немного перекошена в диаметре с одной стороны, чем с другой, более чем на 1/4-дюйма. Обычно продавцы отмечают окружность на стекле, а затем вырезают ее. Если работы выполнена небрежно, то заготовка получается не слишком круглой. Хотя у меня нет веских доказательств, все же я всегда волнуюсь, что может возникнуть астигматизм. Укажите что вы хотите заготовку настолько круглую, насколько это вообще возможно.

Получив такую грубую заготовку на руки, вам теперь необходимо будет обработать ее, отшлифовать. Отшлифовать ее по окружности не так уж сложно, особенно, если ваш кусок имеет достаточно сторон — это займет не так уж много времени, чтобы довести все до ума. Для этого я использовал болгарку и диск № 80. Шлифуя вручную против внешнего края стекла, я привел 16-дюймовую заготовку в презентабельный вид за 2 или 3 часа.

Подготовка передней и задней поверхностей не так просто. Вы должны отшлифовать их очень плоско, особенно заднюю часть. Это может занять 20 или 30 часов на поверхность на 16-дюймах, если вы работаете вручную, но время шлифовки может быть намного меньше, если заготовка идет уже с гладкой поверхностью или почти гладкой.

Если сможете, то приобретите стекло у компании, использующей алмазную обработку. Они могут отполировать заднюю поверхность, закруглить ее и закруглить края. Для 16-дюймовой заготовки это будет стоить 100 или 200\$. Однако работа подобного рода делается на ваш страх и риск. Если стекло расколется, вы в любом случае должны будете платить. И хотя полностью разбитое стекло это редкость, не удивляйтесь, если оно разлетится на мелкие кусочки.

### **В.1.3. Выбор диаметра зеркала.**

Я рекомендую вам начать делать большие, тонкие зеркала с 16-дюймов. Оставьте ваши амбиции относительно современного большого зеркала на некоторое время, поскольку с 16-дюймовым зеркалом у вас больше шансов на успех, чем если вы сразу начнете с 20-дюймового. Даже несмотря на то, что я делал любительские телескопные зеркала вдвое большего размера, чем 16 дюймов, мои друзья и я сам согласны с тем, что мы готовы потратить все наши жизни на то, чтобы наблюдать через 16-дюймовые телескопы безо всяких сожалений.

В выборе размера заготовки вам следует учитывать то, что 1/4-дюйма с внешней стороны это обычные потери при обработке. И вы не одиноки в этом — большинство больших зеркал имеют точные апертуры по меньшей мере на 1/2-дюйма меньше, чем диаметр заготовки. Если найдете 16-дюймовое иллюминаторное стекло, то думайте о конечном варианте как о 15,5 дюймовом. Если вы заказываете Пирекс, то добавьте 1/2-дюйма к желаемой апертуре зеркала.

### **В.1.4. Выбор толщины зеркала.**

Выбор толщины зеркала, если вы конечно можете выбирать, определяется диаметром зеркала и тем, как вы планируете установить его в телескопе. Для зеркал до 19-ти дюймов используйте стекло по меньшей мере 1-го дюйма толщиной. Если вы покупаете Пирекс, используйте самые толстые листы Пирекса, какие только сможете найти, около 1 5/8 дюйма. Для зеркал от 20 до 25-ти дюймов я настоятельно рекомендую 2 1/8-дюймовый Пирекс.

Несколько лет назад мы с другом сделали 25 ½-дюймовое зеркало с толщиной в 1 3/8 дюйма. Зеркало имело относительно небольшую кривизну f/6. Особое внимание мы уделяли предотвращению гибкости на каждом этапе работы, особенно во время тестирования, когда зеркало было подвешено вертикально на петле. Я помню ощущение того, что не мешало бы добавить еще ¼-дюйма толщины на 1 5/8 дюймовую заготовку. Когда зеркало уже сделано, казалось не плохой идеей иметь 25 ½-дюймовое зеркало, которое поднималось с небольшой проблемой.

В особенности для 16 – 18 дюймовых зеркал 1 5/8 дюймовый Пирекс позволит вам избежать многих ошибок. Для зеркал около 30 дюймов в диаметре, сделанных вручную, используйте 2 1/8-дюймовый Пирекс. Если вы планируете обрабатывать зеркало на машине, я очень рекомендую вам использовать более толстую заготовку. В машинной шлифовке вы избежите многих проблем с более прочной заготовкой, чем возможно при ручной шлифовке.

### **В.1.5. Выбор диафрагменного числа.**

После апертуры, выберем диафрагменное число. С точки зрения оптиков самый важный фактор состоит в том, что длиннофокусные зеркала намного проще сделать чем короткофокусные, поскольку они менее отклоняются от сферической формы. С точки зрения наблюдателя длиннофокусные линзы могут сделать телескоп слишком большим! Если только у вас нет армии людей, помогающих вам установить телескоп, не давайте фокусному расстоянию разбалтываться. Не следует уменьшать проблемы, просто используя телескоп длиннее чем десять или двенадцать футов — наблюдатели могут потратить кучу времени карабкаясь вверх и вниз по лестнице.

Однако короткофокусные зеркала — или по меньшей мере зеркала хорошего качества с коротким фокусом — очень трудно формировать. С практической точки зрения глубокая кривизна коротко фокусных зеркал уменьшает ценную толщину вашего зеркала.

Мои рекомендации заключаются в консервативности, выбрать диафрагменное число между f/5 и f/6. Для большинства наблюдателей f/5 будет лучшим выбором.

## **В.2. Шлифовальные инструменты.**

В дополнение к поискам заготовки для зеркала, вам необходимо приобрести несколько дисков в качестве шлифовальных инструментов. Они могут быть из крепкого стекла или пластика с твердым керамическим покрытием. Ваш вкус, энергия и то, что вы имеете в наличии, обычно диктует тип используемого инструмента.

### **В.2.1. Сплошные и составные инструменты.**

Вы можете вырезать сплошной стеклянный инструмент из листа стекла или составить на ламинате диски от ¼ до ½-дюйма толщиной. Купите зеркальные круги у ближайшей стекольной компании. Для лицевой части вашего инструмента, вам кусок достаточно толстый, который не будет сильно стираться во время грубой шлифовки. Если вы сотрете верхний слой, промежуток между слоями может удерживать прямые зерна абразива и увеличивать шансы оцарапать поверхность во время тонкой шлифовки.

Инструменту нет необходимости быть таким же большим, как и зеркало. Инструмент в ¾ диаметра зеркала — поддиаметровый инструмент — прекрасно работает и его можно использовать без лишних усилий. Не используйте инструменте меньше ¾ диаметра, поскольку такие инструменты обладают меньшей способностью создавать сферические кривые вовремя шлифовки. Хотя 16-дюймовый инструмент прекрасно работает на 16-дюймовом зеркале, для зеркал большего диаметра, я рекомендую поддиаметры инструментов просто потому, что полноразмерные инструменты тяжелы и неуклюжи.

Выбор достаточно толстого инструмента означает то, что он не будет сгибаться во время работы. А слишком тонкий инструмент создает два рода проблем. Первое, если в зеркале проявится любой астигматизм, то его нельзя будет полностью отшлифовать, поскольку инструмент будет слишком гибким чтобы соответствовать астигматическому контуру зеркала. Второе, вес вашей руки,

прилагаемый на заднюю сторону инструмента будет сильнее всего передаваться через центр и в центре зеркала будут образовываться скорее глубокие кривые, чем сферические. Это редко является серьезной проблемой, но это значит, что вы потратите дополнительное время на полировку по краям.

Когда тонкое это «слишком тонкое»? С 16-дюймовым сплошным инструментом начинаются проблемы, когда толщина краев  $\frac{1}{2}$ -дюйма. Мой друг использовал 16  $\frac{1}{2}$  стеклянный инструмент лишь слегка толще чем этот и сделал хорошее зеркало. Однако, я использовал 20-дюймовый стеклянный инструмент, который был  $\frac{5}{8}$  дюйма толщиной по краям и получит плохой случай астигматизма. Я прикрепил  $\frac{3}{4}$ -дюймовую накладку к задней части 16-дюймового стеклянного инструмента, чтобы сделать его прочнее и работа пошла как нужно. Стекло для 20-дюймового инструмента должно быть по меньшей мере  $\frac{3}{4}$  дюйма толщиной, а величина стекла должна быть пропорциональна толщине.

Для того, чтобы сделать инструмент для шлифовки задней поверхности зеркала склейте несколько  $\frac{1}{4}$ -дюймовых слоев вместе. Если вы сотрете первый слой просто приклейте еще один слой к инструменту. Для склеивания слоев лучше всего подходит аквариумный клей, он хорошо держит стекло.

### **В.2.2. Сегментные инструменты.**

Для зеркал с уже готовым изгибом прекрасно подойдет керамическая плитка. Плиточные инструменты делаются склеиванием керамических плиток в единое целое на основе. Основа может быть алюминиевой стеклянной или гипсовой. Сегментные инструменты могут использоваться чтобы сделать плоскость, выгиб на заготовке. Какой бы тип основы вы ни использовали, очень важно чтобы выгиб инструмента соответствовал зеркалу. В этом случае гипс наиболее практичный материал поскольку ему можно придать любую форму.

Почти любая не глазурованная керамическая плитка подходит в качестве шлифовальной поверхности. Они должны быть около 1 – 2 квадратных дюймов или в окружности и подходящей толщины. Скрепите их эпоксидкой. Эпоксидка надежно удерживает плитки на месте. Эпоксидка лучший выбор, поскольку существует проблема отпадания плиток во время шлифовки и в данном случае эпоксидка лучше всего справляется с предотвращением этого.

Чтобы сделать гипсовую основу, оберните металлический или картонный бандаж вокруг зеркала. Помажьте поверхность стекла мылом, чтобы удержать гипс от отлипания, затем лейте гипс. Если зеркало имеет изгиб гипс примет ту же форму. Гипс должен быть по меньшей мере вдвое толще, чем эквивалентный сплошной стеклянный инструмент.

Я настоятельно рекомендую Зубоврачебный Гипс и подобные ему для изготовления гипсовых инструментов. Он тверд как камень! Смотрите Приложение Е. Добавьте воды в сухой гипс и размешайте раствор до тех пор, пока он не станет кремовой консистенции. Дайте гипсу полностью высохнуть перед работой. До того как прикреплять плитки, покройте диск тонким слоем эпоксидки, чтобы защитить его от проникновения воды.

К эпоксидке приклейте плитки для поддержки, начните с нанесения технической смазки на зеркало, таким образом исключится прилипание эпоксидки. (Вы должны приобрести специальную техническую смазку, но я рекомендую жир или мыло, что также работает очень не плохо). Поместите плитки на желаемую часть зеркала. Поместите их по меньшей мере в  $\frac{1}{4}$ -дюйма друг от друга. Поднимая одну плитку за другой нанесите на них толстый слой эпоксидки, а затем вновь кладите на зеркало, стороной с эпоксидкой вверх. Хорошая если вам поможет друг, поскольку вы должны успеть покрыть эпоксидкой все плитки, прежде чем первые высохнут. После того, как все плитки покрыты эпоксидкой осторожно установите основу на плитки и дайте эпоксидке засохнуть.

Это очень важная глава. Эксперименты с материалами и использование вашего ума позволят вам избежать многих проблем.

### **В.3. Подготовка удобной рабочей поверхности.**

В идеале вы должны работать на двух поверхностях — одна для шлифовки, а другая для шлифовки и полировки. Поскольку они требуют чистоты и подходящей температуры, лучшая шлифовка и полировка бывает на свежем воздухе. Работа с абразивом больше 30 микрон довольно грязная, поэтому если время года и погода позволяет, то лучше шлифовать на свежем воздухе.

Мой любимый способ ручной работы над зеркалами состоит в том, чтобы верхняя поверхность зеркала лежала на 55 галлонной бочке 300 фунтовыми сумками наполненными песком. Вы можете приобрести бочку на складе технических материалов, а балласт можно взять в ближайшей песочнице. Разумная замена бочки, крепкий стол — запомните, вы не должны ходить вокруг бидона, если вы постоянно поворачиваете зеркало.

Другая замена бочки настолько очевидна, что о ней часто забывают: пол. Я формировал и полировал зеркала стоя на коленях с зеркалом на листе пластика на толстом ковре на полу. Шлифовка проходит хорошо и есть только одна трудность, снова научиться нормально ходить после того как 30 минут поползаете на коленях. Инструментальные компании продают резиновые подушечки, способные защитить ваши колени от падения — и они действительно полезны.

## **В.4. Подготовка для шлифовки.**

До того, как вы начнете грубую шлифовку зеркальная заготовка должны быть отделана с обеих сторон. Идея обработать обе поверхности до плоского состояния является революционной. Чтобы предотвратить разбитие, отломы края стекла, нужно обрезать края стекла на обеих сторонах до начала. Во время шлифовки вы должны вращать заготовку и инструмент почаще, чтобы предотвратить астигматизм.

### **В.4.1. Отделка заготовки.**

Для того чтобы отделать заготовку, поместите зеркало лицом вверх на глубокую, мягкую подставку, вроде старого куска ворсистого ковра. Ковер будет намочать и разрушаться. Намочите лицевую сторону зеркала и добавьте несколько ложек карбида кремния №60, положите вес на заднюю сторону инструмента если хотите и начинайте неистово шлифовать. Когда песок перестанет издавать много шума, смойте его, поверните зеркало на 1/3 и начинайте опять. После трех или четырех смывов, смойте все окончательно и посмотрите на поверхность зеркала. Должны исчезнуть все большие царапины, при этом мелкие должны остаться. Возможно вас посетит какая-нибудь идея как от них избавиться. Поищите подходящий для этого инструмент.

В этом месте вам следует решить, какая сторона зеркала будет передней, а какая задней. Лицевая сторона обычно обрабатывается и по краям и требует большей работы.

На передней сторону шлифуйте карбидом кремния до тех пор пока, не достанете краев заготовки. Если по краям останутся небольшие неотшлифованные участки, то скорее всего они исчезнут, когда вы будете формировать впадину. Работа по шлифовке впадины происходит в середине зеркала, поэтому, если не контактировали с краями вначале шлифовки, то не будете контактировать и в конце. Бугорки и впадины потребуют от вас огромное кол-во работы, поскольку вы должны будете отшлифовать всю поверхность между ними.

Однако на данной стадии обратная поверхность зеркала гораздо важнее. Причина по которой вы шлифуете, состоит в том, чтобы быть уверенным, что обратная сторона свободна от астигматизма. Если задняя часть не плоская, то заготовка будет гнуться по одной оси и будет очень трудно или невозможно избежать астигматизма на поверхности зеркала. Вы можете допустить несколько не больших изолированных пятен на задней поверхности, если они маленькие, но абсолютно не допустимо допускать заготовку с цилиндрической задней частью.

Способ избежать астигматизма состоит в том, чтобы чаще поворачивать заготовку. Если вы вращаете заготовку с каждым смывом, а инструмент с каждым ударом, двум плоскостям не останется ничего другого, как стать радиусом окружности или плоскостью. Продолжая шлифовку, отслеживайте впадины и выпуклости обеих поверхностей при помощи линейки. Если зеркало начинает становиться выпуклым, концентрируйтесь на центре короткими штрихами. Если выпуклость упорствует, то временно отшлифуйте верх зеркала. Вы же не хотите, чтобы задняя сторона стала выпуклой, но все в порядке, если она станет на одну тысячную дюйма вогнутой. Когда вы в действительности займетесь этим, то поймете, что в действительности все на так уж сложно, как может показаться.

Когда вас удовлетворить плоскость задней стороны, начинайте шлифовку зерном № 120 и № 200. Когда вы начнете шлифовку более мелкими абразивами мелкие неровности обнажатся и станут заметнее. Рекомендуем вам использовать шлифовку Blanchard. Она дает превосходный результат.

#### **В.4.2. Как предотвратить астигматизм.**

Чтобы предотвратить астигматизм следует как следует поддерживать зеркало. Лучший способ для любителя работающего дома поддерживать зеркало на кусочке ворсистого старого ковра и часто поворачивать. Ковер поддерживает зеркало и дает вам возможность свободно его вращать. Когда ковер потеряет упругость, возьмите новый кусок. Ковер кладется между зеркалом и рабочей поверхностью, которая также должна быть плоской. Фанера или кусок доски достаточно плоские, но следите за деформацией, когда дерево станет мокрым.

Вращайте зеркало на ковре как можно чаще, когда работаете. Это предотвратит неоднородность в поддержании от скручивания зеркала и представит как астигматизм. Каждый раз, когда заканчиваете один этап поворачивайте бочку и зеркало примерно на треть в противоположных направлениях. Если у вас нет бочки, тогда почти постоянно поворачивайте в зеркало в направлении противоположном тому, в каком вы вращаете инструмент. Этот метод также эффективен, как и прост.

В случае машинной обработки зеркало обычно не поворачивается, так работает поддержка. Вот почему если вы хотите работать на машине нужно более толстое зеркало, чем то, какое необходимо при ручной обработке. Для 18-ти дюймового диска 1 5/8 дюйма толщина стекла самая тонкая из тех, что я могу рекомендовать для машинной обработки.

Есть несколько способов поддерживать зеркало на шлифовальной и полировальной машинном поворотном механизме, но вначале убедитесь, что поворотных механизм достаточно тугой. Если это не так, то вы можете сделать его тугим, добавив 5-дюймовый гипсовый диск.

Вы можете прикрепить зеркало к поворотному механизму прямо приклеив его. Однако это несколько рискованно, поскольку может деформировать зеркало. Более разумный способ состоит в том чтобы нанести клей на основание в 3/8-дюйма толщиной. Углубление это как притирочный круг с пространством около 1/2-дюйма шириной. Покройте его одним куском бумаги и установите зеркало на бумагу и прижмите. Будьте осторожны, не прижимайте слишком сильно. Дайте зеркалу полежать на этом кругу около 24 часов. Задняя часть зеркала должна прижаться к клею точно повторяя его форму. Каждый раз, когда вы достаете зеркало для проверки, кладите его обратно в том же положении и давайте ему вновь несколько часов полежать. Не давайте углублению в круге и зеркалу спрессовываться. Когда они начнут сближаться, делайте углубление повторно. Хотя этот метод и не лишен недостатков, он широко используется в оптической индустрии.

Другой метод заключается в 18-точечной плавающей системе. Я никогда не использовал этот метод для поддержки пока работал над зеркалами, но есть те, кто его предпочитает. Предотвращение зеркала от качания под действием боковых сил шлифовки и полировки представляет трудную механическую проблему.

#### **В.4.3. Закругленный край.**

Во всей оптической работе важно поддерживать скос края зеркала все время. Если край становится острым, то небольшой удар может отколоть большой кусок. Гладкое закругление под углом в 45 градусов около 1/8-дюйма шириной предотвращает это.

Простая техника для закругления края это пройти по краю двухсторонним камнем карбамида кремния, тем что используется для заострения стамесок по дереву. Погрузите камень в ведро с водой, прижмите рабочую поверхность к краю стекла под углом в 45 градусов и осторожно пройдите по всему краю. Продолжайте до тех пор, пока скос не будет около 1/8-дюйма шириной. Всегда работайте влажным камнем. С увеличением закругления, вы можете усиливать давление и делать более длинные штрихи, но во время начальной стадии формирования скошенного края старайтесь надавливать легко, поскольку велика вероятность скола. Когда закругленный край будет сформирован используйте более гладкую сторону камня.

Другая техника шлифовки заключается в использовании жидкого раствора карбида кремния, используя кусок листового железа 3-х дюймов шириной и 6 дюймов длинной. После него можно закругленный край можно сформировать № 80 и пригладить № 120.

Во время шлифовки по чаще проверяйте край и если он станет уже чем 3/32 дюйма восстановите его до начальной ширины.

После, во время шлифовки продолжайте присматривать за краем, чтобы сделать его соответствующей формы.

И поскольку подходит момент для того, чтобы скрыть царапины от грубого зерна и мелкие сколы, то после того как я заканчиваю работы с номером 220, то окончательную доводку осуществляю зерном в 12 микрон. Это позволяет убрать царапины, полученные на поздних стадиях шлифовки и полировки.

#### **В.4.4. Шлифовальные движения (штрихи).**

Во время шлифования, вы обычно помещаете зеркало нижней частью на плоскость и двигаете инструмент взад и вперед по его поверхности. При обычном или центр-выше-центр штрихе, инструмент выходит примерно на 1/4-дюйма за край зеркала в конце каждого штриха.

Когда я ссылаюсь к W-образному штриху, это значит, что каждый штрих проходит вперед и назад, пока сам процесс проходит слева направо или справа налево на зеркале. Делайте четыре или пять штрихов взад и вперед, пока центр инструмента движется от одной стороны зеркала к другой. В длинном W-штрихе центр инструмента достигает края зеркала, а в коротком W-штрихе движение взад и вперед занимает всего 1 или 2 дюйма. Под «коротким штрихом» я подразумеваю инструмент, который движется вперед и назад, влево и вправо всего на 1 – 2 дюйма.

И хотя во время грубой шлифовки не имеет решающего значения вид штриха, но во время тонкой шлифовки будет не плохой вещью менять размер штриха на небольших участках, чтобы избежать неровных зон или углублений в местах где инструмент останавливается и начинает движение.

#### **В.5. Грубая шлифовка.**

Как только вы довели обратную сторону зеркала до плоского состояния абразивом № 220, а лицевую сторону отполированной, вы можете начинать делать изгиб. Я рекомендую карборундум № 60 для грубой шлифовки.

Если зеркало достаточно легкое, чтобы вы могли шлифовать его, поставив наверху, то шлифовку можно провести так же, как для маленьких зеркал, поставленных сверху. Ваша цель заключается в том, чтобы отшлифовать изгиб от середины наружу, рассчитывая, что когда вы достигнете желаемого фокусного расстояния, в это же время изгиб должен достичь края диска. Этот метод позволяет удалить меньшее кол-во стекла.

Начните шлифовку, при этом в центре зеркала должен находиться край инструмента. Используя длинный W-штрих, изредка штрихуя центр зеркала от 2-х до 3-х дюймов вне края инструмента, двигая инструмент кругами, вращайте зеркало.

Если зеркало слишком тяжелое, чтобы вращать его вручную, то шлифуйте его инструментом в 3/4 диаметра зеркала или меньше. Грубая шлифовка изгиба сосредоточена на центре. Джон Добсон говорит «Грубая шлифовка это работа пещерного человека, поэтому делайте ее как пещерный человек. Хорошо ешьте, хорошо спите и работайте как черт». Грубая ручная шлифовка большого зеркала занимает уйму времени.

Во время шлифовки все время проверяйте фокусное расстояние изгиба. В солнечный день, сполосните зеркало водой и затем сфокусируйте отражение на куске картона и измерьте расстояние. В качестве альтернативы вы можете следить за величиной прогиба изгиба. Вычислите прогиб зеркала на предмет желаемого фокусного расстояния. Найдите что-нибудь такое, что могло бы служить шаблоном величины прогиба зеркала. Зарекомендованный временем шаблон это обычное сверло. Проверяйте прогресс грубой шлифовки скольжением шаблона по линейке, положенной на зеркало.

Грубая шлифовка дает большой гиперболический изгиб. Вы не можете оставить зеркало подобной гиперболической формы, поскольку это сильно затрудняет тонкую шлифовку. Поэтому,



когда изгиб приблизится к желаемой глубине и достигнет края, примените короткие штрихи, чтобы сделать изгиб более гладким и сферической формы. Короткие штрихи также помогают сместить изгиб к краю. Поместите зеркало лицевой стороной вверх и шлифуйте его умеренно длинным W-штрихом двигаясь по направлению к краю и также, стараясь получить более сферическую поверхность. Если вы все сделаете соответствующим образом, то отличный сферический изгиб встретит край зеркала в тот момент, когда зеркало достигнет желаемого фокусного расстояния.

## **В.6. Тонкая полировка.**

Каждый слышал истории о том, что тонкая полировка занимает сотни часов. Однако, правильно проводимая тонкая шлифовка занимает всего 2 часа работы на каждом этапе и есть такой факт, что это самая удобная работа в изготовлении зеркал.

Тонкая полировка обычно делится на два этапа: до использования № 220 и после использования этого номера. До того как вы закончите с номером 220, концентрируйтесь на контроле радиуса и получении гладкого изгиба. После 220 основная задача состоит в предотвращении астигматизма. Переключайтесь от грубой шлифовки к тонкой после № 220, не ранее. № 220 это песчаный материал.

Шлифовальный состав для тонкой шлифовки зависит от состояния вашего зеркала и вида инструмента. Если вы использовали для грубой шлифовки №60, то начните тонкую шлифовку с номера №120 до того как переходить к № 220. Если вы уже получили изгиб, то можете начать с № 220, используя инструмент который будет подходить к изгибу. Если вы используете для шлифовки машину, то можете использовать 30 микронное зерно.

### **В.6.1. Тонкие абразивы.**

Из абразивов меньше чем №120 я предпочитаю использовать оксид алюминия карборундumu, поскольку он имеет меньшую склонность оставлять большие пятна на хорошо обработанной поверхности. Существует несколько видов хороших абразивов, которые вы можете использовать, но всегда, перед использованием более тонкого абразива, удаляйте плохо обработанные участки от более грубого абразива перед тем как продолжать и все будет в порядке.

Больше чем от чего либо еще, качество обработки поверхности зависит от качества используемого вами абразива. Большинство абразивов, которые вы можете приобрести, имеют несколько большие частицы и формируют новые пятна погрешностей на обрабатываемой поверхности, даже после смены абразива. И хотя №320 обычно имеет №320-й размер зерна, например, существуют некоторые зерна близкие к №220, но при этом в них могут быть примеси более мелкого зерна. Тут нет ничего особо страшного, но вы должны будете компенсировать работу такого абразива, применяя чуть более мелкие абразивы на разных этапах между обработками. Стандартный ряд абразивов №80, №120, №220, №320, №400, №600 и №305 требуют применения более тонких материалов между ними.

С другой стороны если вы используете действительно высоко качественный абразивный материал как Микрозерно, то вы счастливчик. 30-микронный Микрозерно действительно 30-микронное. И как результат, вы можете сделать более длительную шлифовку, не меняя зерна. Например с Микрозерном вы можете использовать № 220 с 30-микронами, 12-микронами и 3-микронами или 5-микронами зерна. А 3-микронный Микрозерно намного лучше чем №305.

В зависимости от того как вы собираетесь использовать зерно, абразивы, которые могут вам понадобиться могут быть как больше, так и меньше. Если вы очищаете стекло после каждого смыва и начинаете и начинаете новый этап с нанесения тонкого абразива для тонкой шлифовки на влажное стекло, то вы можете использовать совсем не много, примерно столовую ложку тонкого абразива для тонкой полировки. Если вы добавите абразив к воде и прольете на стекло, то чашечки абразива может быть не достаточно. Для №120 и №220 необходимое кол-во меняется в зависимости от того что вам нужно делать. В среднем мне нужно от 2-х до 3-х чашек №120 и 1 чашка №220 для того чтобы отшлифовать 16-дюймовое зеркало. Однако, если вы приобретете всего с запасом, то получите вдвое-втрое большее кол-во чем вам нужно. Цена абразива становится не слишком большой, когда работа встает посреди тонкой шлифовки.

## **В.6.2. Получение сферы.**

Даже самая аккуратная обработка зеркальной поверхности №60 оставляет гиперболическую поверхность. После №60 ваша главная цель, кроме удаления неровностей, получить сферическое зеркало. В этой точке поддержка зеркала не имеет критического значения, но использование куска ковра под ним позволит вам легче вращать его.

Начните с нанесения абразива на влажную лицевую часть зеркала, как вы делали ранее с маленькими зеркалами — не слишком много, но и не слишком мало. Поместите инструмент нижним краем вперед и начинайте шлифовать. Идя вокруг бочки вращайте инструмент по ходу движения и также поворачивайте зеркало каждый раз в противоположном направлении.

Крепкие частички абразива скапливаются в центре и сопротивляются приданию зеркалу сферической формы. Когда вы начинаете использовать более мелкие абразивы это наглядно демонстрируется тем, что существует тенденция образования в центре пузыря, особенно на больших зеркалах. Лекарство от этого заключается в использовании коротких W-штрихов и помешиванием абразива на зеркале каждую минуту или около того до тех пор, пока пузырь не исчезнет. Для того, чтобы помешать абразив, просто поверните центр инструмента по часовой стрелке на 50% зеркала один или два раза, пока вы вращаете инструмент по часовой стрелке. Вам нужно будет подсыпать абразив подобный этому все время шлифовки.

И поскольку они не запирают твердые частицы, как в сплошных инструментах, сегментные инструменты генерируют сферическую кривую, более быстро и качественно. Использование с сегментными инструментами W-образных штрихов дает максимальный эффект.

Не давайте вашим пальцам касаться края зеркала, пока оно вращается во время шлифовки и полировки. Вместо этого старайтесь держать их поближе к центру. Прикосновение к краю нагревает стекло и случается расширение. Поэтому вы отполируете расширенный край, что приведет к искажению картинки, когда зеркало остынет.

Когда зерно выполнит свою работу, остановите шлифовку, разделите зеркало и инструмент, добавьте еще воды и абразива и продолжайте работу. Если у вас сегментный инструмент, вы можете плеснуть немного воды и добавить абразива на нужную сторону без разделения зеркала и инструмента.

Никогда не тяните инструмент по краю зеркала, это может скосить или «завернуть» край зеркала. Вместо этого, потяните инструмент на три четверти в сторону, затем аккуратно поднимите его и удалите с зеркала. С тонкими абразивами данная операция может быть довольно трудной. Сплошной инструмент не захочет отделяться и имеет тенденцию скользит по поверхности — поэтому делайте все аккуратно.

По мере приближение зеркала к требуемой сферической форме, вы будете чувствовать изменение движения инструмента — движение инструмента по зеркалу станет туже и более однообразным. Вы все сделали №120, когда равномерно шлифовали поверхность и не осталось неровностей от № 60. Не будьте дураками, думая, что все неровности можно убрать №120. Это работа №220.

## **В.6.3. Идем к номеру 220.**

Как только вы начнете шлифовку №220, уделяйте немного большее внимание предотвращению астигматизма, особенно если используете тонкий инструмент. Поворачивайте зеркало регулярно и убедитесь, что шлифуете его на мягкой подстилке. Сохраняйте одну смесь абразива между зеркалом и инструментом. По большому счету №220 это тот же №120, за исключением того, что №220 это ваш последний шанс удалить большие неровности и поверхность должна быть сферической, когда вы закончите.

Чтобы контролировать неровности, исследуйте прогресс шлифовки при помощи увеличительного стекла. Если вы уже сформировали должную выемку, то постоянно проверяйте поверхность при малейшем подозрении на неровность. Если вы делали ранее лишь беглый осмотр то могли пропустить их и они появляются более отчетливо при шлифовке.

Помните, что №220 может оставлять некоторые изолированные неровности немного больше чем обычные. Их можно отличить от оставшихся после № 120 тем, что они не остаются на том же самом месте после длительной полировки. Это не является общепринятым в телескопостроении

тратить множество часов на то, чтобы зашлифовать огрехи, которые в действительности вызваны абразивом и будут удалены при следующей шлифовке. Однако, лучше никогда не давайте повода появляться подобным огрехам, как извинению за неудачи в удалении огрехов предыдущего абразива. (Если у вас есть какие-нибудь сомнения, то сделайте карту двух дюжин самых больших неровностей и посмотрите присутствуют ли они еще после двух дальнейших смывов). После пары часов работы номера 220, зеркало должно быть готово для светового тестирования.

Этот тест является очень точным критерием для определения гладкости зеркальной поверхности. Поместите зеркало лицевой стороной вверх на стол и включите сильный свет в нескольких футах позади него. Встаньте на пару футов в стороне от зеркала и пригните голову до тех пор, пока угол между источником света, зеркалом и вашим глазом не будет достаточно большим, чтобы поверхность стала красного цвета. Чем лучше шлифовка поверхности зеркала, тем меньше требуется угол.

Изучите поверхность: она должна равномерно освещаться от края до края во время движения головы из стороны в сторону. Если в центре зеркало выглядит тусклым или матовым, это означает, что зеркало не было должным образом отшлифовано поздними абразивами. Также это может означать, что зеркало не должной сферической формы — поэтому продолжайте шлифовать его. Этот тест дает информацию только на общую гладкость поверхности зеркала и не дает информации по отдельным неровностям.

Сохранение формы закругленного края зеркала становится все более важной задачей при тонкой шлифовке. После того как заканчиваю с №220, мне нравится делать тонкую шлифовку края 12-микронным зерном. Это предотвращает царапины на поздних стадиях тонкой шлифовки и полировки. Для того, чтобы тонко отполировать край, берем маленький кусочек металла или латуни в 2 – 3 квадратных дюйма. Прикрепляем лист к деревянному бруску такого же размера, оставив металлическую часть выставленной. Начинаем шлифовку края жидким №220, закругляя его. Когда край будет закруглен, вы можете продолжить тонкую шлифовку с меньшим абразивом, одним из тех, что вы использовали для зеркальной поверхности.

Когда вы закончите с №220 настанет хорошее время проверить фокусное расстояние. Поверхность, отшлифованная №220, после того, как вы ее сполоснете способно отлично сфокусироваться на солнце, что позволит вам измерить фокусное расстояние.

#### **В.6.4. Тонкая сторона тонкой шлифовки.**

Следующий абразив это №320 или 30-микронный оксид алюминия. Эти два абразива имеют зерна схожего размера. Я предпочитаю размешивать тонкие абразивы в воде, хотя разбрызгивание очень маленьких кусочков абразива по поверхности, а затем размазывание его пальцами, тоже очень хороший метод. Для размешивания абразива я использую 1 столовую ложку порошка на ½-чашки воды. Это дает длинные дорожки шлифования при использовании прочного инструмента. С сегментным инструментом может понадобиться больше абразивной микстуры.

Во время тонких стадий шлифовки, работайте медленно и аккуратно. Будьте осторожны, не давайте поверхности высохнуть. Следите за инструментом, когда появляется склонность к прилипанию к зеркалу, или если будет трудно толкать инструмент. Эти симптомы означают, что поверхность не сферической формы. Подмешайте еще абразива и, используя короткие штрихи устранили данную проблему и восстановите сферическую форму.

Добросовестно применяйте знания из Раздела В.4.2., чтобы предотвратить астигматизм. Уделяйте внимание аккуратности. Между стадиями применения абразива, полностью смывайте предыдущий материал и убедитесь в том, что частицы абразива не попали вам на одежду.

Так как абразив очень мелкий, то появляется опасность поцарапать инструментом поверхность зеркала. Устанавливайте инструмент на поверхность аккуратно, мягко и без боковых покачиваний. Если скос на краю зеркала более грубый, чем текущий абразив, то грубая поверхность может поцарапать и задержать абразивные частицы. Поэтому тонко отшлифуйте край перед основной шлифовкой.

Продолжайте отслеживать появление неровностей. Также проверяйте на однородность шлифования при помощи частых световых тестов. Это хороший способ обнаружить пятна медленного действия на краю или в центре зеркала. На поздних стадиях тонкой шлифовки световой тест можно делать без специального света, поскольку света в комнате будет вполне достаточно для

этого. Поэтому почаще применяйте такой инструмент, как свой собственный глаз под нужным углом для проверки однородности шлифования и точности сферической формы. Одно замечание: трение зеркала рукой может образовывать очень яркие пятна света. После применения тонких абразивов вытирайте зеркало насухо мягким безворсовым полотенцем и не трите поверхность пальцами перед световым тестом. Продолжайте проверки с каждым абразивом.

Если инструмент и зеркало внезапно прилипли друг к другу вы должны действовать быстро и отделить их друг от друга. Полейте воду на свободную часть зеркала, затем поместите кусок 2 x 4 на край инструмента и ударьте по нему другим куском 2 x 4. Будьте осторожны, не дайте ему вылететь и упасть на пол. Не используйте молоток. Хотя я видел, как его использовали, но если он выскользнет у вас из рук и долбанет по зеркалу, оно расколется. Если инструмент и зеркало отказываются разъединяться, то дайте им полежать в теплой воде.

Сегментные инструменты редко прилипают, если конечно вы не оставите инструмент на зеркале до полного высыхания воды. Никогда не оставляйте инструмент и зеркало вместе и никогда не позволяйте инструменту двигаться по зеркалу на сухую. В случае с сегментными инструментами небольшая часть мыльной воды добавленная к абразиву, дает более гладкое скольжение. При шлифовке абразивами меньше 9 микрон края плитки на сегментном инструменте могут смещаться и быть причиной царапин. Если такая проблема происходит, поскольку инструмент может деформироваться, если его долгое время не использовать, не стоит тратить время на исправление деформации. Идите прямо от предпоследнего к последнему абразиву — просто зачистите его и продолжайте работу.

Чтобы предотвратить царапины с очень тонкими абразивами, закажите абразив Микрозерно, смешанный с тальком. Этот материал обозначен как Т после размера в микронах размера зерна, поэтому Микрозерно 5Т имеет 5-микронное зерно с добавлением талька. Если у вас возникла проблема царапин с 3 микронным зерном, то будет вполне нормально довести работу с 5 микронным зерном. Однако, не нужно заканчивать работу с зерном крупнее чем 6 микрон или №305.

Если проблема царапин остается, попробуйте использовать более крупный жидкий абразив, как крем или добавьте мыльной воды или оба способа. Или, как последнее средство, закруглите все края на плитке на вашем шлифователе. Если же ничего не сработало и царапины есть но не слишком много, забудьте о них. Они влияют на зеркало лишь косметически.

## **В.7. Подготовка к полировке.**

Полировка осуществляется инструментом, покрытым смолой, дегтеобразной вискозой, которая служит в качестве активного агента полировки, обычно оксид железа в оптической работе. Во время полировки смола деформируется и принимает форму зеркала, что способствует лучшей полировке. А поскольку смола это текучая вискоза, она течет и деформируется по время полировки, таким образом позволяя вам контролировать расположение и скорость полирования.

Тип, жесткость и свойства смолы очень важны в определении нужной близости между ее поверхностью и зеркалом, поэтому изготовители зеркал тратят много времени, говоря о смоле. Многие конечно можно сказать о различных методах укрепления и затвердения ее, но мой собственный опыт говорит о том, что полировальные круги, покрыты смолой, которая имеет вполне достаточную твердость для работы. Я начинал изготавливать зеркала при помощи прямо таки резиновой смолы с очень небольшой частью терпентина. Эти круги были чрезвычайно твердыми. После я начал использовать очень мягкие круги. Они тоже хорошо работали. Очень твердые круги могут быть сплошной неприятностью, поскольку они имеют тенденцию вести себя непредсказуемо. Мягкие круги более подходящи, но они теряют свою форму и требуют большого обслуживания. В конечном счете вы должны быть очень богаты, чтобы использовать мягкие круги.

### **В.7.1. Смола.**

Лучшая из смол, что мне известны, это Швейцарская, черная каменноугольная смола, которая бывает разной твердости. Я рекомендую смолу Адольфа Миллера №73. Это достаточно странный материал, который менее дорог чем другие смолы и прекрасно подходит для нужд любителей. Смотрите Приложение Е. Изготовление одного круга для 16-дюймового зеркала требует 1 ½ кг

смолы, поэтому для 16-дюймового зеркала я всегда заказываю 3 кг. Если вы израсходуете быстро один круг у вас всегда будет под рукой материал на другой круг такого же или меньшего диаметра.

### **В.7.2. Полировальный агент.**

Для эффективной полировки подберите один из многих цериево-оксидных полировальных агентов, таких как Родайт 15, который лично мне очень нравится. Не будьте упрямыми, стараясь отыскать какие-то особенные торговые марки. Существует множество доступных хороших агентов, продаваемых разными фирмами под самыми разными марками. Большинство из них прекрасно подойдут для наших нужд.

Есть только одна вещь, которую вам следует избегать, это «супер-быстрые» полировальные агенты, которые используют для металлических зеркал. В стеклянном зеркале они слишком быстро срезают лишние слои. Не волнуйтесь о том, что по невнимательности можете приобрести нечто подобное, поскольку я не знаю ни одной компании, которая может ими торговать вне оптической индустрии.

### **В.7.3. Смоляное основание.**

Смоляной круг служит основанием, которое следует размещать на чем-то крепком. Это может быть плоская доска или, если он имеет радиус зеркала, то прямо на зеркале. Традиционно любители телескопостроители используют шлифовальный инструмент, как основание для смолы. Основание может быть чем угодно, что достаточно толстое, не гибкое, включая стекло, алюминий или гипс. Что вы выберете это ваше личное дело. Для полировки 16-дюймовых и 18-дюймовых зеркал я обнаружил, что 1-дюймовой толщины иллюминаторное стекло прекрасно подходит под основание смоляного круга. Если вы захотите использовать гипс я рекомендую зубоветеринарный гипс, как самый прочный.

Диаметр круга должен быть как у шлифовального инструмента или того, что вы подберете. Более близкий размер к диаметру зеркала позволяет лучше получить сферическую форму. Однако не всегда практично использовать полноразмерный круг. Для начала полноразмерное основание для круга не всегда доступно. Также существует проблема в удобстве обращения с большим кругом. Кроме того больший круг требует больших усилий для того, чтобы толкать его взад и вперед по зеркалу и его просто тяжело будет переносить с места на место.

Для зеркал от 16-ти до 20-ти дюймов я рекомендую полноразмерные круги, если только доступно подходящее основание. Для зеркал свыше 20-дюймов я рекомендую использовать 75%-ный круг. Круги больше чем 20 дюймов могут быть слишком тяжелыми для управления одним человеком, работающим вручную, но не останавливайтесь на пол пути, если у вас достаточно силы. Не возможно толкать 24-дюймовый круг руками. Я не рекомендую круг меньшего чем 75% диаметра от диаметра зеркала для полировки.

Подобные круги имеют тенденцию правильно корректировать зеркало, при этом получается сферическая форма в середине и параболическая по краям. Эта проблема вполне поддается коррекции и даже иногда желательна. Это может доказать новый опыт телескопостроителей любителей, которые использовали параболическую форму от сферической. Некоторое время тому назад я полировал 25-дюймовое f/6 зеркало при помощи 18,75-дюймового круга. Фигура вышла вполне предсказуемой: сферический центр и парабола по краю. Вскоре я исправил это до полной параболы, используя разные формовочные круги.

Формовочные круги могут быть меньше чем 75% диаметра и будут описаны ниже.

### **В.8. Изготовление смоляного круга.**

Если вы не делали ничего подобного ранее, то заливка смоляного круга для большого зеркала, может быть для вас приключением. Если вы надеетесь не на аккуратность, а на банальное везение, то вам может понадобиться сделать несколько попыток перед тем, как у вас получится хороший круг. Заливка больших кругов требует хорошего чувства времени. Сделав подобное однажды, удачно или нет, вы почувствуете сам процесс и в следующий раз все будет лучше. Не стоит проклинать судьбу,

если вам понадобится три попытки прежде чем у вас получится ваш первый настоящий смоляной круг.

Начните с нагревания смолы на плите. Пяти-фунтовая металлическая банка из-под кофе может быть для этого превосходной посудой и в ней помещается достаточно смолы, чтобы сделать 20-дюймовый круг. Нагревайте смолу медленно. Один или два часа это еще не слишком долго. Если вы попытаетесь нагреть ее за 15 или 30 минут, то смола будет нагреваться неравномерно и нижние слои будут перегреты.

Пока смола нагревается все время перемешиваясь, используйте это время для очистки основания для круга, чтобы смола прилипла прочно к его поверхности. При помощи изоленты сделайте бортик по окружности основания по меньшей мере 1/2-дюйма высотой. Убедитесь, что изолента достаточно крепкая, чтобы отделиться от основания, когда это потребуется. Если она рвется и остаются слои бумаги на круге, когда вы ее будете удалять, вам потребуется сбрить остатки бумаги с круга.

Также подготовьте рабочую площадь. Положите основание на крепкую ровную плоскость. Убедитесь, что у вас есть раствор полировального агента под рукой а также немного мыльного раствора. Пропановая горелка и спички полезны но не обязательны. Будет не плохой мыслью держать ведро холодной воды поблизости в случае, если горячая смола попадет на руку. Погрузите ее в воду и возвращайтесь к работе.

Когда смола расплавится, полейте ее на что-нибудь и дайте остыть, чтобы убедиться что она так тверда или мягка, как вы хотите. До того как наливать, проверьте, чтобы смола была достаточно горячей чтобы прилипнуть к основанию. Когда она правильной температуры, она будет вязкой, но при этом свободно литься.

Смешайте воду, полировщик и две или три капли мыльного раствора на поверхности зеркала. Затем зажгите пропановую горелку и поставьте ее в безопасности в стороне. Начиная лить смолу на основание на максимальную глубину 1/4-дюйма. На это уйдет три четверти смолы из банки. Даже если основание будет выпуклым, заливаемая смола примет более или менее правильную форму.

Тотчас после наливания, направьте пламя горелки на поверхность смолы, чтобы удалить все пузыри и сделать ее гладкой.

В этот момент у вас должно остаться примерно четверть смолы в банке. Не ставьте ее обратно на горячую плиту, дайте ей немного остыть для следующего шага. Только остывание в данном случае хитрая часть работы. Вы же не хотите, чтобы она остыла настолько, что перестала литься из банки и в тоже время не была настолько текучей, чтобы вы не могли сформировать круг. Когда я делаю первую заливку, если смола горячее, чем я планировал, то я ставлю банку на цементный пол, чтобы охладить. Если температура подходящая, то я ставлю ее на деревянную подставку, чтобы она хранила тепло. Как вы скоро поймете сами, успех всей операции зависит от характера и температуры смолы.

Проверяйте остывание смолы. Вылейте ее немного на бумагу и наблюдайте как быстро она течет. Этого нельзя добиться по расписанию. Если смола слишком быстро течет по основанию, подождите пока она станет более вязкой. Когда смоляной круг охладится до нужной температуры уберите изоленту с основания. Смола должна лишь слегка выдаваться за край.

Незамедлительно после того, как вы удалите бумагу, медленно вылейте остатки смолы прямо в центр круга. Если температура правильная, то новая смола сформирует изгиб виде короны на круге, который потечет по краям. Теперь самое время сделать так, запалить горелку и удалить пузыри. Тем временем корона достигнет края круга, при этом она будет достаточно холодной, чтобы не прилипать к зеркалу. Поднимите зеркало, которое должно быть все еще мокрым с лицевой стороны полирователем и мылом и приготовьтесь поставить его на смолу.

Начиная опускать зеркало при этом держите его слегка наклоненным, чтобы оно сперва контактировало с одним краем круга. Затем, продолжая опускать, медленно совместите его с уровнем смолы. Цель данного упражнения заключается в том, чтобы позволить выйти воздуху между смолой и зеркалом. Если вы просто положите зеркало на смолу, то запрете внутри большой пузырь воздуха в центре. Если вы закончили с большим пространством в центре, дайте смоле остыть, затем отделите зеркало, нагрейте еще смолы и налейте еще одну корону. Этот дополнительный шаг часто необходим для больших кругов и быстрых зеркал.

Двигайте зеркало кругом на смоле и продолжайте делать это пока смола остывает. Если вы остановитесь, оно прилипнет. Продолжайте работать пока круг контактирует с зеркалом по всем краям. Если у вас полноразмерное основание для смолы, то некоторая часть смолы может стечь с основания и зеркало может просесть в смолу. Продолжайте двигать зеркало и вы спихнете излишки смолы. Будьте уверены, что круг остается в контакте с зеркалом точно по краю.

Когда смола затвердеет вы можете остановить вращении зеркала и убрать его. Если вы уберете его слишком рано, то круг деформируется. Если основание круга стеклянное, то дайте ему остыть самостоятельно после того, как уберете зеркало. Внезапный плеск холодной воды может разрушить толстый стеклянный диск.

Если зеркало, которое вы делаете слишком тяжело для вас, чтобы поднимать и переворачивать его то поместите сам смоляной круг лицом вниз на зеркало, вместо того, чтобы прижимать зеркало к кругу. И снова, соедините их вместе под углом, избегаю запираения воздушного пузыря и деформации поверхности круга.

Если все пройдет неудачно, то вам может потребовать еще немного нагретой смолы, чтобы полить ее сверху и повторить процесс. И будет хорошей мыслью немного подогреть слой смолы чтобы он стал липким, перед тем как лить новую смолу.

### **В.8.1. Рифление круга.**

Чтобы позволить смоле течь и соответствовать зеркальной поверхности во время полировки, поверхность круга должна быть нарезана на грани. Один из методов для этого состоит в вырезании канавок в лицевой поверхности сплошного круга. Для смоляных кругов до 20-дюймов канавки 1 ½-дюйма будут работать отлично.

Начните с того, чтоб отметить центр круга как «х», используя одностороннее бритвенное лезвие. Располагайте рифление, смещаясь от центра, соответственно отметке «х». При помощи линейки сделайте параллельные линии на расстоянии в 1 ½ дюйма друг от друга, где будет проходить рифление. Затем, используя одностороннее лезвие, углубите линии рифления в смоле. Сполосните круг холодной водой, чтобы удалить фрагменты смолы. Сделайте несколько разрезов на одной стороне линии, затем поверните круг на 180 градусов и сделайте еще разрезы на другой стороне, до тех пор, пока рифление не будет приблизительно ¼ дюйма шириной и глубиной. Поскольку смола крошится на мелкие фрагменты, данная работа довольно грязная. Лучше ее делать снаружи, в большой раковине или на куче газет. Смола ко всему прилипает и ее довольно трудно очистить с одежды. Вы должны быть очень внимательны.

### **В.8.2. Прессование круга.**

Как только рифление будет закончено, вам нужно будет «спрессовать» круг таким образом, чтобы он точно подходил к форме зеркала. Если у вас твердый круг, то нагрейте его медленно в воде или на солнце. Смочите зеркало полировальным цементом и затем прижмите их друг к другу. Положите наверх вес в 40 или 50 фунтов и оставьте круг на зеркале на час или два. Убедитесь, чтобы они были влажные, если вода высохнет, то круг и зеркало приклеятся друг к другу. Если у вас мягкий круг, то прижмите его без предварительного нагревания.

Если вы планируете остановить полировку на несколько часов, то поместите один лист непромокаемой бумаги на лицевую сторону зеркала, а затем высушите круг и поместите его на зеркало. Толстый пергамент отлично подходит для этой цели. Убедитесь, что круг сухой или бумага сморщится.

Но не давайте кругу лежать на зеркале больше чем день или два или рифление начнет выдавливаясь. В периоды между полировками в один день, просто запомните, что нужно держать зеркало влажным.

## **В.9. Полировка.**

Вы конечно же должны знать как много времени у вас уйдет на полировку зеркала. Используя техники, описанные ниже, это займет около 10 часов на полировку 16-дюймового иллюминаторного стекла при помощи полноразмерного круга и около 12 часов на полировку 25-дюймового зеркала из Пирекса, используя 18 ¾-дюймовый круг. Это время может показаться слишком коротким в сравнении с вашим предыдущим опытом или историями, которые вы могли слышать, но техники полировки, которые вы сейчас изучите очень эффективны и они позволяют получить максимальный

результат. Даже несмотря на то, что трение круга высоко, штрихи делаются медленно. Когда вы все сделаете, зеркало будет превосходно отполировано с гладкой поверхностью.

Однако я не хочу, чтобы вам показалось, что полировка такая простая штука. Полирование требует больше физической работы чем любая другая стадия изготовления зеркала, даже больше, чем грубая шлифовка. Когда я сказал, что нужно 10 часов на полировку 16-дюймового зеркала, я не имел ввиду, что вы можете отложить работу на завтра а потом продолжить — а 10 часов это действительно все время полировки. Поэтому эффективная полировка предъявляет такие физические требования, что я могу делать лишь две или три полировки в день по 15 минут каждая.

Если вы используете машину, то вы конечно не сможете делать такие короткие полировки. Обычная машинная полировка не так эффективна, как ручная. Но не заблуждайтесь насчет машинной полировки, она достаточно хорошая. Я работаю с машинной полировкой весь день по своей профессии и могу сказать, что точная оптическая продукция просто невозможна без них. Я просто хочу, чтобы вы знали, что нет ничего плохого в том, чтобы сделать зеркало собственными руками.

В начале смешайте ваш полировальный агент с водой. Количество воды и агента может очень сильно варьироваться и зависит от марки агента, который вы используете и как много вы его использовали. Начните с 2 – 3-х столовых ложек на чашку воды. Если вы поймете, что его слишком много, то всегда можете добавить еще воды. После смешивания пропустите смесь через марлю, чтобы удалить комки.

Используйте грушу для добавления агента и воды. Они бывают разных размеров и форм. Вы можете найти подходящие груши на складах спортивной продукции — они используются бегунами на дальние дистанции и другими атлетами — или можете сделать ее самостоятельно, проделав сверху отверстие в обычной пластиковой бутылке и тряся ее, разбрызгивать полировальную смесь на зеркало. Вторая груша будет наполнена водой и также использоваться по назначению.

Перед началом «увлажните» круг. Налейте полировальный состав на зеркало, чтоб оно было хорошо смочено и затем установите круг на центр зеркала. Поместите сверху вес около 40 фунтов и оставьте его на 15 минут. Убедитесь, что зеркало не высохнет. Затем удалите вес и можете приступать.

Начните двигать полировальный диск кругами, чтобы хорошенько распределить полировальную смесь по всему зеркалу. Добавьте немного воды, если чувствуется, что смеси слишком много. Двигайте круг медленно взад и вперед полировальным штрихом. Я рекомендую W-образный штрих. Начиная с левого выступа, толкайте круг вперед по поверхности стекла, затем тяните назад. Работайте медленно — каждый штрих должен занимать одну или две секунды. После четырех или пяти штрихов, вы достигните правой стороны. Продолжайте в обратном движении пока не достигните левой стороны. В то же самое время медленно идите вокруг бочки. Поворачивайте круг время от времени или постоянно, как вам больше нравится. Вы можете изменять длину штрихов от двух до пяти или шести дюймов, в зависимости от размеров зеркала и круга. С кругом не полного размера используйте штрихи умеренной длины или вы можете нарушить регулировку зеркала. В случае с полноразмерными кругами нарушение подобного рода менее опасно, поэтому вы можете использовать более длинные штрихи.

### **В.9.1. Оценочное «чувство» круга.**

То, насколько хорошо работают полировальные круги, зависит от нескольких причин. Вы можете судить это, основываясь на «чувстве» круга. Больше всего вы хотели бы, чтобы круг чрезвычайно трудно было толкать. Он должен двигаться с большим усилием с вашей стороны и вместе с тем медленно и гладко скользить по зеркалу. Если круг работает правильно, то скорее всего вы натрете себе волдыри на руках. Я рекомендую работать в кожаных перчатках или просто использовать тряпку. Возможно, вам будет довольно затруднительно найти перчатки, которые не скользят по задней стороне круга. Я обнаружил, что садовые перчатки прекрасно подходят для этой цели, причем даже если они влажные.

И во время этой «тугой и гладкой» полировки зеркало полируется быстро. Когда круг и зеркало находятся в полном контакте и вы усиленно полируете, это действие генерирует тепло и стекло полируется быстро и равномерно. Часто любители астрономы начинают бояться, что круг начинает работать не правильно. Они думают, что что-то идет не так, поэтому они останавливают



работу и добавляют еще воды или агента — все что угодно, только бы сделать скольжение круга снова легким. Это не правильно: когда круг движется гладко и с трудом продолжайте работать.

Часто он просто скользит по вокруг по зеркалу и его нельзя тащить назад и вперед. Это плохо. Или круг может скользить и прилипнуть снова и снова, при этом вы будете чувствовать слишком гладкое скольжение. Эти проблемы часто происходят когда смола слишком твердая или слишком охладились от рабочей площади или просто остыла после холодной ночи накануне. Так же это может быть по причине недостаточного рифления или недостаточного контакта со стеклом. Однако часто бывает, что круг скользит без видимых причин.

Лекарство, которое в данном случае работает почти на 100% это нагревание. Нагрейте круг, погрузив его в воду подогретую до 43 градусов на 5 минут. Солнечный свет или лампа нагревания также хорошо работают. Будьте осторожны и не нагревайте круг слишком сильно если он изготовлен из мягкой смолы. Вы можете нагреть круг один раз, чтобы придать ему нужную форму или же делать это каждый день перед полировкой. Научитесь заботиться о вашем круге до такой степени, чтобы это стало частью вашего характера.

Другое лекарство, которое иногда работает состоит в том, чтобы ходить вокруг бочки в обратном направлении. По некоторым причинам круг, кажется, имеет предпочтительное направление (по часовой или против часовой стрелки), по которому он предпочитает двигаться. Также, кажется, они склонны иногда менять направление. Эксперименты с феноменом полировки продолжаются.

Как много давления нужно? Много: легкое скольжение круга может быть результатом недостаточного усилия с вашей стороны. Учитесь правильно нажимать!

Иногда круг работает так хорошо, что один человек не может толкать его. Обычно обратное направление вращения помогает. Идите вокруг бочки в обратном направлении, поворачивайте зеркало в обратном направлении, поворачивайте круг в обратном направлении. Также увеличение или уменьшение количества агента может помочь. Как последнее средство, вы можете добавить 2 или 3 капли мыльного раствора к воде в вашей груше. Во всяком случае, вы ведь хотите чтобы круг работал хорошо, иначе полировка может занять намного больше часов.

### **В.9.2. Удержание круга.**

Прежде чем вы научитесь все делать правильно, вы будете экспериментировать с разными способами держать круг при толкании вперед и назад. Я всегда держу круг на 10 часов и 2 часа, а всю остальную часть руки кладу поперек круга. Это позволяет мне равномерно распределять вес по кругу, а также обеспечивает гладкие переходы между передними и обратными штрихами. Другой метод состоит в том, чтобы держать круг на 12 часов с остальной частью руки на задней части зеркала, а кисть другой руки на ближней стороне на шесть часов. При этом не будет большого вреда, если вы начнете сомневаться какой штрих делать вперед или назад.

Не толкайте круг слишком быстро вперед и назад. На один штрих должно уходить от 1 до 2 секунд. Это может казаться быстро, но это уже отработанная методика. Если вам это поможет, то отмеряйте ваши штрихи, медленно проговаривая про себя «один гиппопотам, два гиппопотама» в ритмичном тоне. (Каждый гиппопотам занимает одну секунду на то, чтобы его сказать).

Когда зеркало начнет высыхать, добавьте полировального агента и воды. Следите за тем, чтобы поворачивать зеркало каждый раз по завершении одного прохода вокруг зеркала. Поворачивайте его в направлении противоположном тому, в каком вы ходите вокруг бочки. Меняйте угол поворота каждый раз, а также точку в которой вы останавливаете вращение зеркала. Подобное случайное вращение поможет вам избежать погрешностей.

Не старайтесь заниматься полировкой более чем 15 минут за один раз или вы можете причинить себе вред, все тело будет болеть. Я рекомендую заниматься этим 15 минут, затем 30 минут отдыха, затем другие 15 минут и так весь день. После того, как вы освоите данный метод, можете уже вырабатывать свой график.

Однако, не давайте всей этой информации запугать вас. Изготовление прекрасного зеркала стоит того, чтобы заниматься рутинной полировкой по 15 минут два-три раза в день. Примените данный метод и вы получите отполированное 16-дюймовое зеркало за 2 недели. Не следует рвать и метать, чтобы отполировать большое зеркало за минимальное время. Будьте спокойнее, особенно до тех пор, пока ваши мышцы и сухожилия рук и плечей не укрепятся. Вы потратите вдвое больше времени на первое ваше зеркало, чем на второе.

### **В.9.3. Завершение полировки.**

Ваша первая цель состоит в том, чтобы полностью завершить полировку зеркала, прежде чем приступать к его формированию. Если вы думаете, что зеркало можно полировать во время формирования, это не так, вы потерпите крах при формировании зеркала, которое не полностью отполировано.

Когда вы проверяете качество полировки, есть одна вещь на которую следует обратить внимание: если зеркало выглядит недополированным, то все возможно хуже, чем вы думаете. 25-дюймовое f/6 зеркало, упоминаемое ранее, выглядит вполне отполированным после 7 часов работы, но необходимо потратить еще 5 часов работы, чтобы полностью завершить полировку.

Первый и самый широко известный метод проверки полировки состоит в фокусировании света на поверхности. На начальных стадиях полировки, используйте небольшой фонарик, который дает яркий луч. Осветите поверхность зеркала — тут же вы увидите там луч. Во время процесса полировки вы можете проверять какие части зеркала обрабатываются быстрее, а какие запаздывают. Ведите записи и продолжайте проверять отстающие участки до тех пор, пока они не будут полностью доведены до нужной кондиции.

Когда данный метод показывает, что вся поверхность отполирована, положите черную бумагу под зеркало чтобы получить темный фон. Сфокусируйте изображение нити накала настольной лампы на поверхности зеркала при помощи увеличительной линзы, такой как увеличительное стекло. Угол должен быть приблизительно 45 градусов, так, чтобы задняя часть зеркала была не освещена. Если все еще существуют какие либо погрешности на зеркале, вы увидите нить накала на поверхности.

Когда стекло полностью отполировано и нет погрешностей, то фактически невозможно увидеть нить на поверхности. Вы можете обнаружить, что довольно трудно получить поверхность, достаточно чистую, свободную от пыли или масла или остатков полировального агента. Если проверка невооруженным глазом ничего не показала, проверьте поверхность сфокусированным лучом при помощи увеличителя, такого как маломощный окуляр. Поэкспериментируйте с различными углами наклона с которыми вы будете наблюдать. И не стоит считать, что полировка окончена пока, не будут устранены все огрехи.

## **В.10. Тестирование.**

Секрет изготовления хорошего телескопного зеркала давно известен, он основывается на правильном формировании. Когда вам известно, как формировать зеркало, вы можете изменять его как хотите — например как параболу — применяя корректирующие полировальные штрихи.

Если вы не знакомы с тестированием зеркал, вам нужно этому научиться. Тестирование обсуждается в огромном числе книг, включая «Любительское телескопостроение 1» и Тэксеревскую «Как сделать телескоп». На этой стадии вы начнете понимать, насколько полезен был предыдущий оптический опыт с маленькими зеркалами для изготовления больших, тонких зеркал. То, что описано далее, надеюсь поможет вам обрести нужный опыт в проверке телескопных зеркал или будет полезной информацией тем, кто уже имеет опыт в данной области, и, что вы поймете основы тестирования.

### **В.10.1. Тестовый стенд и тестовый тоннель.**

Для тестирования зеркала вам необходимы тестовый стенд и тестовый тоннель. Даже если вы планируете делать окончательное формирование, основываясь на тестировании зеркала в телескопе, вам все же будет полезно изучить, как оценить форму зеркала у себя дома в контролируемых условиях. И конечно, не будет вреда в том, чтобы использовать несколько независимых методов тестирования.

Окружающая среда для тестирования в домашних условиях чрезвычайно важна. Вам нужен стенд, чтобы держать зеркало и тоннель, чтобы обеспечить необходимое воздушное пространство между тестирующим и зеркалом. Если вы будете использовать второсортные условия тестирования, то можете в итоге получить второсортное зеркало.

Тестовый стенд позволяет зеркалу свободно висеть на петле, пока остальная часть покоится на куске мягкого ковра. Петля должна быть сделана из какого-нибудь гибкого материала, который будет сгибаться под весом зеркала, принимая его форму. Нейлоновые или пластиковые стропы наиболее часто используются для этой цели. Я предпочитаю старые автомобильные ремни безопасности. Стропа не должна сгибаться на угол больший чем 180 градусов, иначе она будет сжимать зеркало. Напротив, стропа не должна быть меньше 180 градусов или нижний край зеркала будет нести на себе слишком большой вес.

Зеркало подвешивается вертикально в петле, которая выступает на ¼-дюйма за передний край зеркала. Если край зеркала шире чем стропа, то разместите стропу так, чтобы она была на краю зеркала. Ковер просто поддерживает зеркало, располагаясь позади крепкой рамы тестового стенда. Я использую те же самые куски ковра в моем тестовом стенде, которые я использовал при полировке. Зеркало должно прилегать задней частью к ковра и располагаться на нем. Если вы планируете делать главное тестирование «в лаборатории», то необходимо предпринять следующие шаги, чтобы оградить зеркало от паразитных воздушных течений. Ваша тестовая площадка должны быть вдвое больше, чем фокусное расстояние зеркала. При планировании учитывайте место для тестового стенда, тестера и вас. Если вы являетесь счастливым обладателем достаточно просторной комнаты, вы должны иметь возможность закрывать все окна, блокировать сквозняки и желателен еще уплотнитель под дверь. Если по иронии судьбы для тестирования вам понадобится еще одна комната, вам нужно закрыть все двери и окна на тестовой площадке и блокировать случайные сквозняки в других частях дома.

Для изоляции воздуха в тестовой части, сконструируйте легкий деревянный щит между тестовым стендом и тестером и близким источником света из больших листов пластика. Пластик должен быть черного цвета и приобрести его можно в хозяйственном магазине в рулонах по 12 футов.

## **В.10.2. Начнем тестирование.**

Когда зеркало достаточно хорошо освещается, оно готово к тестированию. Это дает вам шанс проверять насколько хорошо зеркало во время работы. Хотя 15 минут полировки уже позволяют вам провести некоторую проверку, но все же лучше начинать это делать спустя хотя бы один час.

Установите фокусный тестер экран Рончи с 100 или 150 линиями на дюйм. Это превосходная быстрая проверка, позволяет вам протестировать гладкость и качество зеркала. Научная компания Эдмунда предлагает превосходные экраны Рончи на продажу.

Когда вы впервые взгляните в зеркало со световым источником в центре изгиба (без установленного Рончи экрана) вы можете увидеть темные участки на нем, часто по краям зеркала или в центре. Вы можете устранить их, используя инструкции в этой статье, которые вы уже знаете, чтобы устранить это. Обычно зеркало выглядит более или менее освещенным после часа полировки.

Однако, в случае когда вы видите темные участки, низкое «свечение» на этих площадях, показывает, что они полируются медленнее остальной поверхности. Довольно трудно описать какая чернота серьезна на этой стадии. Просмотрите данные участки более близко, чтобы увидеть насколько правильно они обработаны. Если вы видите много неровностей, то вернитесь к тонкой шлифовке и удалите их. Если темные участки свободны от неровностей, вставьте экран Рончи и посмотрите есть ли большие зоны с неполированными площадями. Если они есть, то вам нужно заново отшлифовать зеркало. Темные участки могут быть от того, что вы использовали слишком длинные штрихи или инструмент подвергся деформации во время шлифовки. Поэтому форма зеркала могла так сильно отклониться от сферической, что полировальный круг не смог (и не сможет) достать все участки.

Если темных участков не так много, вы можете полировать дальше. Просто уделите в следующие 4 или 5 часов данным участкам больше времени и проверяйте устранилась ли проблема. Если темные участки остаются и не видно значительного прогресса, либо он вообще отсутствует, вам нужно вернуться к тонкой шлифовке, чтобы скорректировать проблему.

Однако, допустим, что зеркало более или менее равномерно освещено, нужно оценить насколько оно отклонилось от сферической формы. Если вы используете полноразмерный полировальный круг, то он наиболее хорошо подходит для сохранения правильной формы. Если вы работаете с кругом не полного диаметра, то вероятно зеркало будет обладать более длинным

фокусом к краю. Если вы работаете листом стекла и тестируете сразу после полировки, то все еще нагретое стекло может показать неверную картинку. Оставьте зеркало охладиться на часа 3 или около того, тогда оно осядет, и будет выглядеть почти сферической формы.

Если форма зеркала выглядит вполне правильной сферой, то вы на верном пути! Только проверьте зеркало на астигматизм (описано ниже) и затем продолжайте полировку. Если кривая получается не точной, т.е. параболой или гиперболой, то проверяйте соответствие при помощи экрана Рончи. Несмотря на то, что линии Рончи будут наклонены они должны быть свободны от резких разрывов или зигзагов, что говорит о проблемной зоне. Если вы видите проблемные зоны на зеркале и несколько часов полировки не исправили положение, то вам нужно хорошенько обдумать вашу шлифовальную технику и попробовать вновь, используя №400 или 12-микронный абразив.

Если зеркало показывает заметное отклонение, то вы вероятно захотите узнать, как подкорректировать это. Для тестера со стационарным источником и подвижной опорной призмой, разница между фокусом с краю и в центре параболы проверяемой в центре кривой будет:

$$\Delta R = \frac{r^2}{R}$$

где  $r$  это радиус зеркала (т.е. половина диаметра) и  $R$  это радиус изгиба или двойное фокусное расстояние. Для 16-дюймового  $f/5$  зеркала фокусная разница будет:

$$\Delta R = \frac{8^2}{160} = 0.400 \text{ дюймов.}$$

Если зеркало превышает данные расчеты на 10 или 20 процентов, нужно предпринять следующие шаги, чтобы уменьшить кривизну на ранних стадиях полировки. Приблизительные измерения коррекции простой способ, особенно если вы опытни в фокусном тестировании: просто измерьте разницу фокуса крайней зоны и центра. Если источник света на вашем тестере движется с опорной призмой, то разделите фокусную разницу  $\Delta R$  на 2. Для 16-дюймового  $f/5$  зеркала с источником и призмойдвигающимися вместе, фокусная разница должна быть 0,200 дюйма.

Вы можете измерить степень коррекции при помощи тестера Рончи, поместив нулевую зону на краю зеркала, отметив, где находится экран, затем аннулируйте центр и отметьте расположение. Отмерьте расстояние между линиями при помощи линейки, которая покажет вам насколько все точно. И еще: запомните что нужно делить на 2, если источник света (будь это окуляр или другая сторона экрана) движется вместе с экраном Рончи.

Если зеркало дискорректировано, укоротите ваши полировальные штрихи на время. Длинные W-штрихи при применении кругов не полного диаметра ведут к превращению сферы в параболу, тогда как короткие W-штрихи в пределах 1-го дюйма, ведут к правильной сферической форме. С полноразмерным кругом, короткие штрихи также могут подкорректировать сферическую форму. Если вы полируете при помощи круга не полного диаметра, вы можете также сделать центр недоделанным, тогда как края получат излишнюю обработку. Очень короткие штрихи могут привести к тому, что потребуется больше времени на обработку краев. С течением времени вы наберетесь достаточно опыта, чтобы самим решать где и какой длины штрих нужно использовать.

### **В.10.3. Проверка на астигматизм.**

Астигматизм или «цилиндр», как его часто называют, происходит в том случае, когда одна ось зеркала имеет более короткий фокус, чем другая. В телескопе астигматизм проявляет себя при просмотре звезд, когда они оказываются не в фокусе. Когда вы проводите звездный тест, изображения на другой стороне фокуса представляют собой эллипсы пересекающие друг друга, вместо кругов, которые должны быть.

На этой стадии зеркало должно быть свободно от астигматизма. Если он себя проявляет, что-то не так. В тестировании на астигматизм вы поймете, почему потребовалось так много времени, чтобы тонкие зеркала стали популярными — и, если вам будет нужно, то поймете, почему тонкие зеркала получили сейчас такое широкое распространение.

Первая сложность в тестировании тонких зеркал на астигматизм заключается в том, что когда вы тестируете его в вертикальном положении, оно часто сгибается. Таким образом, даже хорошее зеркало может выглядеть астигматичным. В телескопе, где большую часть времени зеркало находится в горизонтальном положении, покаясь на плавающей клетке, тонкие зеркала превосходно работают.

Для проверки на астигматизм у вас дома в центре изгиба, вы проверяете его небольшим глазком с окуляром приблизительно в 9 мм фокусного расстояния. Сделать маленькое отверстие для этой цели вы можете в куске алюминиевой фольги 0,0001-дюймовым латунным щупом. Небольшая швейная игла превосходно подходит. Вы обнаружите множество разных способов сделать подходящее отверстие, протыкая разные вещи иглой. Постарайтесь, чтобы отверстия были маленькими, круглыми и имели чистые края.

Поместите отверстие перед источником света, предпочтительно перед лампочкой тестера Рончи и оцените изображение в центре кривой при помощи окуляра. Сохраняйте расстояние между отверстием и окуляром таким маленьким, насколько это возможно или мешающие абберации собьют вас с толка. Не позволяйте прямым лучам света попадать на окуляр или картинка в отверстии будет смыта и убедитесь, что окуляр соответствует оптической оси зеркала.

Не астигматичная картинка остается правильной круглой формы с одной стороны и сквозь фокус. Идея в том, чтобы проверить картинку отверстия вблизи от фокуса, где тестирование наиболее чувствительно. В зависимости от формы зеркала картинка внутри фокуса может быть слишком слабой для этого теста. На наружном фокусе вы увидите яркое, четкое кольцо по краям изображения, которое должно увеличиваться с увеличением фокуса. Яркое кольцо должно быть превосходной круглой формы без следов эллиптичности.

Неровности в округлой форме отверстия иногда маскируют проблемы в зеркале. Когда картинка в фокусе, она показывает форму отверстия, таким образом вы можете просто проверить округлость и гладкость отверстия. Если отверстие неправильной формы, подкорректируйте его.

Воздушные потоки могут помешать проведению астигматизма, поскольку они влияют на то, что изображение постепенно меняет форму. Если вы подуете сами или включите вентилятор, изображение будет меняться еще быстрее. Если вы не видите круглую картинку, убедитесь, что ваш окуляр точно расположен, затем поверните его, чтобы вдвойне убедиться, что это не его вина. Наклоните голову в сторону, чтобы убедиться, что неправильность формы не происходит от ваших собственных глаз. Если астигматизм происходит из-за окуляра или ваших глаз, поворот их может исправить положение.

Если вы проверили окуляр и глаза, сделайте пометку какую форму и ориентацию имеет проблема и с какой стороны фокуса появляется. Затем уберите зеркало с петли, а после без поворота, поставьте на место снова. Убедитесь, что оно держится свободно и находится против ковра. Снова проверьте картинку. Если проблема выглядит по-другому или устранена, тогда зеркало было не точно установлено на стенд.

Если картинка выглядит также, то поверните зеркало в петле на 45 градусов и снова посмотрите на внутреннем и внешнем фокусе. Если вы все еще видите астигматизм, но он не повернулся вместе с зеркалом, то вы видите астигматизм, причиной которого является сгибание зеркала в вертикальном положении. Вы вероятно получите разные варианты астигматизма в зависимости от того, как зеркало будет располагаться в петле. Изучайте техники для подвешивания диска на петле для минимизации эффекта и учите тому, как поступать в той или иной ситуации. Если же астигматизм будет одним и тем же в вертикальном и горизонтальном положении, вы должны уметь распознать это, чтобы данная бяка не влияла на дальнейшие зональные тестирования зеркала.

В случае с тонкими зеркалами данная проблема принимает схожую форму, но не вполне. Этот эффект назван «картофелиной» и появляется, когда сгибается лишь нижний конец зеркала, а верхний нет. Вы увидите круглое изображение приплюсненное снизу на внешнем и внутреннем фокусе, и нижняя часть будет сильнее освещена.

Даже если вы видите круглую картинку, которая очевидно свободна от астигматизма, поверните зеркало, чтобы убедиться что астигматизм от поддерживающей системы не маскирует астигматизм самого зеркала.

Плохо, если астигматизм вращается вместе с зеркалом. Если астигматизм очень небольшой или его трудно распознать, есть надежда, что его можно убрать полировкой. Однако я не рекомендую этого делать. Полировка астигматизма вручную может быть бесполезной и вы можете напрасно потратить кучу времени и сил. Сделайте одну последнюю проверку перед тем, как отчаиваться. Дайте зеркалу повисеть в петле 3 или 4 часа для достижения температурного равновесия

и затем проведите повторное тестирование. Некоторые иллюминаторные стекла становятся астигматичными во время охлаждения.

Если зеркало астигматично, решение состоит в том, чтобы вернуться к шлифовке №400 или 12-микронным абразивом, которые вы уже использовали и вновь провести тонкую шлифовку. Скрупулезно применяйте все меры предосторожности, что я описал выше, чтобы избежать астигматизма. Убедитесь, что задняя часть зеркала плоская. Если вы используете иллюминаторное стекло и не отшлифовали заднюю сторону до плоского состояния, сделайте это. Вы подстелили под низ ковер? Если инструмент истончался, то возможно был слишком тонок. Проверьте это при помощи техники вращения чтобы убедиться, что вы вращаете зеркало по случайному принципу и не повторяете положений.

Осторожно отмерьте и отметьте ось астигматизма на зеркале. Если астигматизм возвращается после шлифовки и полировки, вы сможете видеть, находится ли он на той же оси, как и в первый раз. Если это так, то это может указывать на плохое стекло, или, что задняя сторона зеркала не достаточно плоская. Даже если инструмент слишком плоский, астигматизм должен уменьшиться со второй попытки.

Конечно, вы можете установить зеркало в телескоп и проверить это, просто используя звезды. Диагональ добавляет другие неровности, поскольку порождает астигматизм, если зеркало не плоское. Изготовленные в домашних условиях 9-ти или 18-ти точечные плавающие системы, также могут быть причиной разных странных вещей, если они изготовлены не должным образом и использованы.

Главная сложность в тестировании зеркала на астигматизм в телескопе заключается в воздушной турбулентности. Она искажает картинку и скрывает астигматизм, если он не большой. Невидимые воздушные потоки в трубах телескопа могут быть причиной удлинения звездных изображений, поэтому вы будете рады использовать открытые трубы. Несмотря на все вышеописанное, нет более практичного теста на астигматизм, чем наблюдение звезд через мощный окуляр, ночью, когда воздух спокоен.

## **В.11. Формирование.**

Формирование состоит из смеси тестирования, тщательного обдумывания и хорошо продуманной полировки. Формирование это не только практическая работа. Существует множество способов вычислить какую форму будет иметь зеркало и также много способов сделать это на практике. Обдумывание это важная часть формирования. И поскольку, вы стали более знакомы с тестированием и интерпретацией результатов, вам будет проще находить решения проблем, которые могут возникнуть далее.

В целом вы обнаружите, что придать параболическую форму зеркалу намного проще, чем вы только могли себе представить — при условии, что вы владеете адекватным опытом использования оптического тестирования и при условии, что вы начали с гладких с почти сферических зеркал, прежде чем браться за большие тонкие зеркала. Дело обстоит так, что формирование зеркала просто может состоять из серий тестов и корректирующих штрихов. Если же вы не настолько удачливы — если у вас есть проблемные зоны — ваша стратегия должна состоять в том, чтобы сначала избавиться от этих проблем, фиксировать их, как только они появляются и получить гладкую нескорректированную кривую до того, как начать делать параболу.

### **В.11.1. Цели формирования.**

Я рекомендую вам делать ваше зеркало максимально хорошим, насколько вы вообще сможете это сделать. Возможно, я мог бы красиво сказать, что «зеркало должно быть по меньшей мере прекрасным», но это было бы и глупо и заносчиво. Лишь опытные оптики могут надеяться сделать подобное зеркало. Есть лишь один путь для вас в том, чтобы накопить опыт, чтобы сделать такое и вы никогда не сделаете его, если будете сбивы с толку обещанием, что можно сделать лишь превосходное зеркало. Изготовление зеркала изучается на практике — тут нет другого пути. Работайте до тех пор, пока не сможете обнаружить любых значительных дефектов в форме и только тогда сможете сказать, что работа сделана.

Любители телескопостроители часто хотят от меня, чтобы я рассказал им насколько хорошим должно быть зеркало — или скорее насколько плохим оно может быть — и при этом нормально функционировать в телескопе, но весь мой опыт говорит мне, что не существует реального ответа на подобный вопрос. Поэтому я не собираюсь говорить вам что-нибудь вроде того, что « $1/4$ -волновое зеркало достаточно хорошее» или « $1/4$ -волновое зеркало не достаточно хорошее», поскольку в этом случае существует слишком много неизвестных.

Самая большая неизвестная состоит в том, что будет ли предположение, что зеркало с  $1/4$ -волны действительно хорошим или плохим, как предполагает мастер. Почти невозможно для любителя сделать аккуратное измерение погрешностей фронта волны зеркала. Это не значит, что любители не аккуратны в своих действиях или такие не умелые, просто аккуратный анализ фронта волны требует обдуманного интерферометрического оборудования для тестирования, к которому имеют доступ всего несколько человек. Любителям астрономам нужно не просто совет по которому можно было бы судить о качестве зеркала, а практический совет: стандарты качества основаны на работоспособности.

### **В.11.2. Рейтинг телескопных зеркал.**

Как профессиональный оптик я оцениваю оптическую работу, исходя из аккуратных тестов, проделываемых с очень небольшими делениями световой волны. Как астроном любитель и телескопостроитель по выходным, я разделяю телескопные зеркала на пять категорий: превосходные, очень хорошие, хорошие, плохие и непригодные. Я определяю качество зеркал, используя звездный тест. Таким образом я протестировал сотни телескопов и с определенной степенью объективности я верю, что звездный тест это практичный и эффективный метод суждения о телескопах.

Превосходное зеркало не имеет заметных дефектов фокуса. Они были лишь в небольшом числе телескопов, которые я протестировал, даже изготовленных любителями и коммерческих.

*Очень хорошие* телескопы, которые показывают малое число ошибок фокуса, но эти ошибки не оказывают или оказывают незначительно влияние на разрешение. Возможно около 10% телескопов обладают такими зеркалами.

*Хорошие* зеркала бывают в телескопах, в которых ошибки фокуса ограничивают оптическое разрешение лишь в самом сильном увеличении. Большинство любителей имеют зеркала как раз подпадающие под это определение — и большинство никогда не проводят никаких проверок, поскольку не видят в этом большой необходимости, поскольку данная проблема им не мешает. Не все, но большинство. В тех телескопах, что я видел, большое неудовлетворение от качества картинки происходило от плохого расположения и/или турбулентности, которая является большой проблемой для плохой оптики.

*Плохие* зеркала ограничивают разрешение телескопа даже при небольшом увеличении. Телескопы этого калибра могут быть полезны для наблюдений неба там, где необходима мощность меньше 15-ти крат на дюйма апертуры. Для наблюдений за планетами и двойными звездами эти ограничения очевидны.

*Непригодные* зеркала я встречал не слишком часто и, когда я все же их видел, обычно это было результатом серьезной ошибки. Один из худших телескопов, что мне приходилось видеть был 10-дюймовый  $f/5$  телескоп от давно почившего всуе коммерческого производителя — и было забавно видеть, что телескопы могут случайно поставляться со сферическими зеркалами. Другой был сделан молодым изготовителем зеркал, который использовал Фокусный тест, но не верно рассчитал зональные показания и сделал зеркало в четыре раза больше от необходимых параметров. Как только ошибка была открыта, он переделал зеркало верно.

В заключении можно сказать, что телескопы, во всяком случае первых четырех разрядов могут быть использованы в астрономии. И их работоспособность может научиться определять каждый наблюдатель спустя какое-то время.

### **В.11.3. Делайте максимально лучшее, на что вы только способны.**

Даже для большинства опытных телескопостроителей, которые схватывают все на лету и могут точно полировать стекло, работа без тестирования является достаточно сложной, в отличие от применения экрана Рончи в 150 линий, используемого на звездном тестировании в фокусе телескопа, который помогает сформировать даже из плохого 16-дюймового зеркала хорошее. Это дает работающий телескоп, хотя с некоторыми ограничениями, а также опыт и мастерство, чтобы сделать еще лучшую работу в другой раз. Однако, я надеюсь, что большинство изготовителей зеркал, прочитав эти слова сначала сделают серию маленьких зеркал, а лишь затем, применив идеи представленные здесь, будут изготавливать зеркала без каких либо ограничений.

## **В.12. Методы тестирования.**

Существует несколько тестов, для проверки параболических телескопных зеркал. Каждый тест имеет сильные и слабые стороны. Поэтому, будет лучше использовать несколько методов тестирования, таким образом, при перекрестной проверке вы сможете найти все ошибки.

Авто-юстировочный тест использует оптическую плоскость того же размера или больше чем зеркало, чтобы отражать отъюстированный свет зеркала обратно зеркалу. Этот тест имеет много сильных сторон, возможно сильнее его только нуль-тест. Однако он труден для любителей, которым трудно получить и использовать подходящую плоскость, поэтому я не задержусь на этом тесте.

Фокусный тест имеет противоположную проблему. Довольно просто сделать установку для данного теста. В принципе каждая книга на тему телескопостроения имеет детальные инструкции как сделать тестер и как его использовать. Проблема заключается в параболе, фокусный тест это не нуль-тест. Вместо этого парабола видится как ошибка в оптической форме сферы. Данный тест рекомендуется для вычисления ошибок в сфере, и затем позволяет вычислить кривую. К счастью, это не непреодолимая проблема. Если зональные измерения сделаны аккуратно и близко к инструкциям, то вполне возможно сделать превосходное зеркало с фокусным тестом.

Звездный тест требует лишь телескопа и яркой звезды. Он имеет преимущество, как и нуль-тест для параболы. Если вы знаете, как применять этот тест и у вас есть прекрасная ночь с хорошим обзором, то вы можете незамедлительно оценить зеркало. Конечно, и тут есть свои проблемы — и самая большая из них это воздушная турбулентность, которая часто затрудняет оценку зеркала, затуманивая или искажая отражение в зеркале. А также данный тест возможен лишь ясными ночами. Но, несмотря на эти проблемы, звездный тест не плохой способ формировать зеркало. Я сделал несколько своих лучших работ, благодаря ему.

Лично мой самый любимый тест для формирования телескопных зеркал это нуль-тест Дэлла и его недавняя вариация нуль-тест Росса. Он сходен с фокусным тестом, за исключением того, что плосковыпуклая линза, сделанная из оптического кронгласа помещена впереди отверстия или щели. Свет возвращается от зеркала и словно перерезается ножом, просто как в фокусном тесте. Линза, названная «асферическим компенсатором» вводит аберрации в исходящий свет, который убирает ошибки параболы, которые обычно показываются в центре кривой. Если все сделано правильно, хорошая линза и установка, могут компенсировать параболическую аберрацию, сделав ее лучше чем одна-двадцатая волны. Проблема в обоих Дэловских и Россовских нуль-тестах заключается в изготовлении линзы. Не все телескопостроители могут сделать правильные линзы, и кроме того, линза может быть хорошей сама по себе или зеркало будет повторять все ее дефекты. Кроме того, пространство между отверстием и линзой должно быть установлено в две тысячных дюйма, которое требует доступа к микрометру или необходима очень аккуратная калибровка.

Доступны также множество других тестов, большинство из которых это усовершенствованные версии фокусного теста. Один из практически адаптированных к быстрым зеркалам это проводной тест, в котором возвращающийся свет отрезается в центре кривой при помощи провода. Я никогда не использовал его, но из того что я читал, можно заключить что данный тест довольно полезен. Однако, эти тесты все слишком часто зависят от мастерства персоны, проводящей их, мастерства, достигнуть которого можно лишь долгой и упорной практикой.



### В.12.1. Тестирование сферы.

Сферическая фигура это часть сферы. Главная ее характеристика в том, что из нашей точки зрения, как показано на Рисунке В.2.А, следует, что фокусные точки всего света, испускаемого от центра кривой прямо обратно к центру кривой, не отклоняются. Поэтому, при фокусном тестировании, край отрезает все лучи одновременно и зеркало темнеет. Фокусный тест это тот же нуль-тест, но для сферы, поскольку вы не видите отклонений от необходимой темноты.

Весь свет возвращается к центру кривой сферического зеркала. Поскольку поверхность зеркала в этом случае равномерно освещается, или что мы называем «нуль», форма сферического зеркала проверенная в центре кривой может быть выражена, как плоскость или прямой линией. (Рисунок В.2.В).

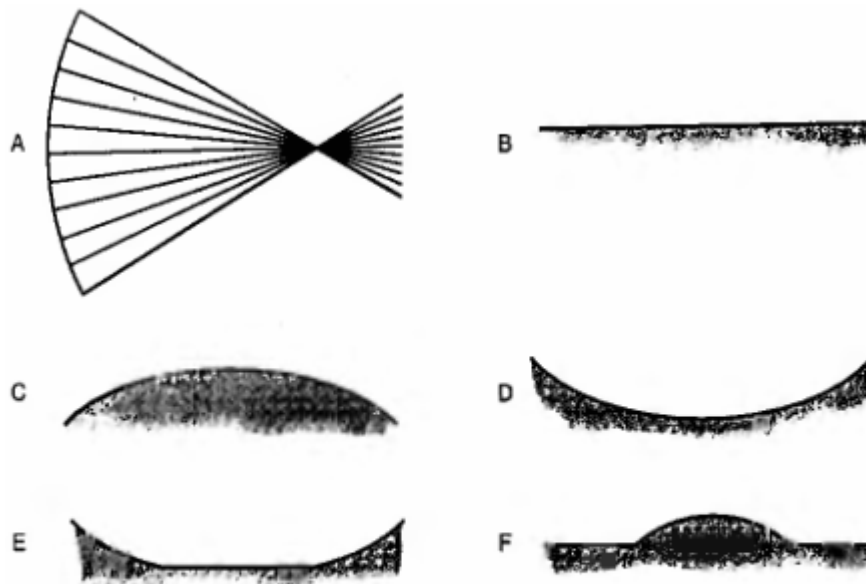


Рис. В.2. Когда тестируете сферу в центре кривой, расположение ножа относительно центра кривой определяет свойства зеркала. В центре кривой находится нуль зеркала и равномерно освещено (В). Если нож внутри центра кривой, то зеркало будет относительно выпуклым (С); и наоборот, будет относительная впадина когда нож снаружи центра кривой (D). Профили (Е) и (F) показывают зеркало с двумя зонами при разном положении ножа.

Любая другая фигура или расположение ножа не даст равномерной тьмы. На основании исключений из темной завесы, вы можете изучить картину кривой зеркала в уме. Затемнение обеспечивает доказательство — косвенное доказательство — по которому вы можете постараться вычислить нужную форму для зеркала, которую можно будет просто сделать полировкой.

Например, очень похожая вогнутая сфера, может быть представлена, как слишком вогнутая или слишком выпуклая если вы просто думаете о фокусировке, как «слишком длинная» или «слишком короткая». Тут вы должны быть осторожны, поскольку телескопостроительный жаргон может сбить вас с толка — вот что мы имеем ввиду это «относительно выпуклая» и «относительно вогнутая». Стандартное сравнение с другой сферой, чей радиус равен расстоянию между зеркалом и ножом. Если вы тестируем вогнутую сферу с радиусом кривой в 50 дюймов на расстоянии в 49  $\frac{3}{4}$ -дюйма от зеркала или  $\frac{3}{4}$ -дюйма внутрь — реальная точка фокуса, мы можем думать, что зеркало имеет слишком длинный фокус или имеет выпуклость относительно к сфере 49  $\frac{3}{4}$ -дюйма радиуса. (Рис. В.2.С).

Хотя мы знаем что зеркало вогнутое, с уважением к короткому фокусу «упоминаемой сфере», 50-дюймовый радиус зеркала относительно выпуклый.

С другой стороны, если тот же 50-дюймовый радиус зеркала протестировать в точке 50  $\frac{1}{4}$ -дюйма от зеркала или  $\frac{1}{4}$  дюйма вне фокуса, вы обнаружите вогнутость относительно 50  $\frac{1}{4}$  радиуса упоминаемой сферы. Заметим, что только упоминаемая сфера изменилась. Конечно, тестируемая сфера это углубление в зеркале, и в действительности вогнутость относительна упоминаемой сферы. Оптики выражают эту форму, как вогнутую.

Помните, что когда мы тестируем это же самое зеркало в этом фокусе, то можно подумать, что оно плоское.

Для оптика, который должен делать сферу точного радиуса это важно. Хотя мы можем получить 1/20-волновую вогнутую сферу, если радиус сферы слишком длинный, то можно подумать

о нем, как о слишком вогнутом. Однако, для любителей телескопостроителей, мелкие ошибки в радиусе фокусного расстояния зеркала не столь важны. Эта свобода менять радиус, в концепции и реальности, очень важна, когда у нас возникают проблемы с формированием и мы стараемся подкорректировать их.

Например, допустим что у нас есть зеркало, которое мы желаем сформировать в превосходную сферу. При тестировании мы определили внешние зоны зеркала как слишком короткий фокус. Следовательно, внешние зоны будут располагаться высоко, которые переходят в сферическую кривую в центре зеркала, которое мы имеем, решив, что оно плоское. Смотрите Рисунок В.2.Е.

Но та же самая кривая может выражаться и рассматриваться по-другому. Вместо того чтобы говорить о внешних зонах где фокус короткий, и следовательно находится слишком высоко, мы можем сдвинуть нож внутрь к нулевой отметке внешних зон. Мы можем сказать, что центральные зоны имеют длинный фокус и они слишком высоко находятся или слишком вогнуты. Смотрите Рисунок В.2.Е.

Это тоже самое зеркало, но мы меняли свое мнение о нем и желаемый радиус. С точки зрения стекольщика, намного проще отполировать или «уменьшить» центр, чем уменьшить весь край. С этой точки зрения, время, потраченное вами на обдумывание было ценным, поскольку спасло кучу времени на полировку.

### **В.12.2. Сфера и парабола.**

Рассмотрим теперь сферическое зеркало, фокусируя параллельный свет от звезд. Не важно как вы фокусируете, сферическое зеркало не сведет этот свет в единую точку. Данный эффект назван сферической аберрацией. Заметим по рисунку В.3.А, что центральные регионы зеркала имеют более длинный фокус.

Тестирование сферы при помощи параллельного света это не нуль-тест. Но параллельный свет, конечно же, это нуль-тест для параболы — желаемая кривая для Ньютоновского телескопа. Сфера не представляет собой прямой линии (т.е. плоскости), когда вы используете данный тест, который является нуль-тестом для параболы, поскольку сейчас парабола смотрится как прямая линия.

Поэтому, как выглядит сфера, когда парабола смотрится как прямая линия? В выбранном фокусе между центром и краем, со склонностью к параболе, сфера имеет центр и высокий край. Смотрите Рисунок В.3.В.

Фокусирование возле края сферы или короткий фокус, сфера отделяется от параболы, имея более высокий центр, как показано на Рисунке В.3.С.

Фокусируясь около центра сферы или длинный фокус, сфера отделяется от параболы, имея более высокий край, как показано на Рисунке В.3.Д.

Начиная от сферы, вы можете видеть, что существуют три основных способа превратить сферу в параболу. Первый, вы можете уменьшить и край и центр, сохраняя тот же самый фокус; второй, вы можете уменьшить центр и укоротить окончательный фокус; и третий, вы можете уменьшить край и удлинить окончательный фокус.

Маленькие зеркала обычно параболизируют первым способом. Большие зеркала, особенно с большой сферой, параболизируют, используя преимущественно второй способ.

Давайте вернемся к тесту центра кривой, где сфера дает нуль. Относительно сферы, парабола дает классическую округлую кривую, Рисунок В.3.Е., когда фокус сферы выбран к нулю параболы 0,7071 расстояния между центром и краем. Это радиус, для которого край и центр равны по площади и таким образом для сферы, которая по большому счету равна параболе.

Возможно лучший способ понять это, математический. Рассмотрение кривых, используя конические сечения или функции  $x$ ,  $y$  и  $z$  может помочь вам понять математически, что происходит. Но с практической точки зрения, эта информация уже описана во множестве книг на тему изготовления зеркал.

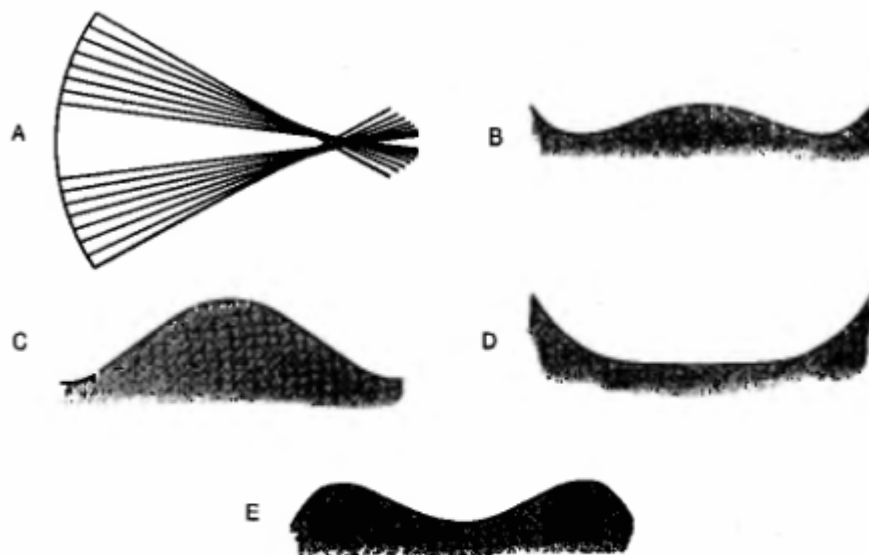


Рис. В.3. Тестирование сферы при помощи параллельного света (А) позволяет рассмотреть, как сделать из сферы параболу. Профиль (В) показывает маленькую установку в 70% зоне с ножом в центре. Профиль (С) показывает нуль на наружной зоне, с высоким центром (D) показывает высокие края с нулевым центром. Профиль (Е) показывает как парабола появляется, когда тестирование проходит в 70%-но зоне.

### В.12.3. Звездный тест.

Звездное тестирование является нуль-тестом для параболы. Когда оптика хорошая, изображение тоже хорошее. Но ограничения очевидны — вы должны тестировать ночью, по меньшей мере в финальной стадии тестирования. Однако, множество более ранних стадий формирования может быть сделано в дневное время, используя лучи солнечного света, отраженные от блестящих мощных проводников или отражение деревьев на нескольких сотен ярдах от зеркала.

Самая большая проблема это турбулентность. Воздушные потоки искажают звездную картинку и делают иногда звездный тест очень трудной задачей. Это еще более мешающая проблема, чем оценка телескопа на практике на звездной вечеринке. Когда вы формируете зеркало, то работаете сами по себе, но когда вы проверяете телескопы, вам вероятно придется пойти на звездную вечеринку, туда, где самое лучшее темное место для наблюдений. И хотя вам не нужен превосходный вид для звездного теста, все же лучше избегать плохого обзора.

Для наших целей необходимо провести исследования картинок на внешнем и внутреннем фокусе. Хотя, можно получить довольно много ценной информации из изображения в фокусе, большинство полезной информации получается из внешнего и внутреннего фокуса. Причина того, что аберрации имеют более длинные или более короткие фокусные расстояния в том, поэтому свет концентрируется в зоне или достигает фокуса внутри и снаружи главного фокуса. Затем, то что вы будете видеть на звездном тесте, это будет распределение света внутри и снаружи от главного фокуса.

В идеале, для превосходного телескопа внутренний и наружный фокус должны давать одинаковую картинку. В Добсониянцах обе картинки будут круглые и ровно освещенные с дифракционными кольцами, которые должны состоять из настоящего света и темных участков в центре соответствующая вторая преграда. Самое дальнее кольцо звездной картинки и первое кольцо вокруг диагонального отверстия в центре должны быть яркими. Эффект дифракции может быть отделен от дефектов формирования, поскольку эффект дифракции одинаковый с обеих сторон фокуса, а дефекты формирования отличаются.

И так, проходя от внутренней к наружной зоне фокуса с зеркалом, которое хуже чем превосходное, вы можете заметить разницу, от недостаточно освещенных зон до слишком освещенных. Свет от части зон может связываться с одной стороны фокуса и рассеиваться с другой.

Надлежащим образом проведенная диагностика позволяет выявить проблемы в зеркале, и вы поймете, как лучи от различных зон себя ведут и как они проходят через фокус. Затем, когда вы действительно будете наблюдать эффекты зон, вы будете способны оценить, где зона, а где радиус слишком короткие или слишком длинные.

Когда вы посмотрите на Рисунок В.5, где сравнивается превосходное зеркало с одним из тех, что имеют сферическую aberrацию, то заметите, что некоторые лучи света достигают внутреннего фокуса, при этом имея короткий фокус с краю. Где лучи пересекают этот край, свет более сконцентрирован и вы бы увидели яркие кольца. Наружный фокус, где лучи распределяются снаружи, покажет замутнение на звездном диске.

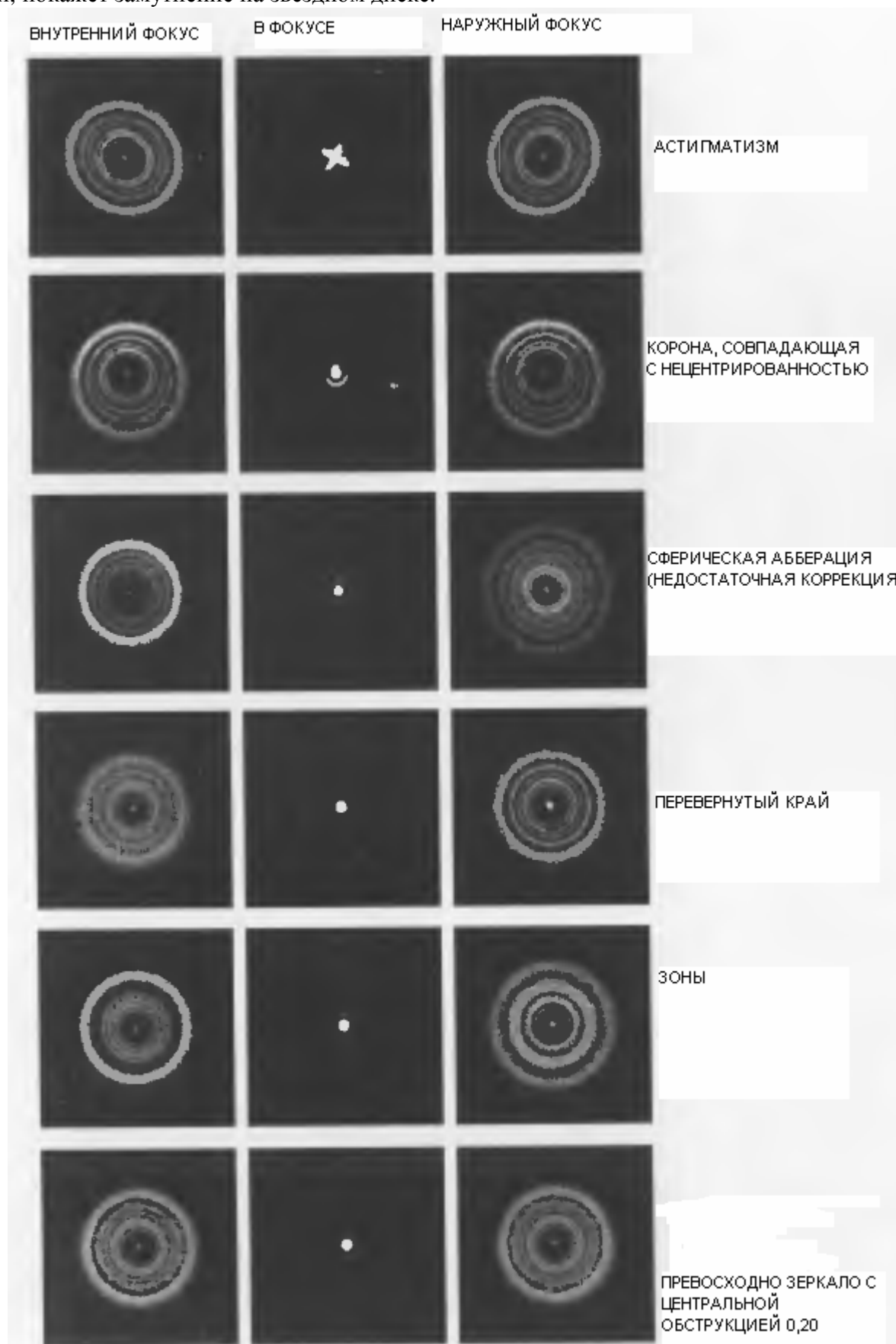


Рис. В.4. Компьютерно-симулированный звездный тест, внутренний фокус (слева), в фокусе (по центру) и наружный фокус (справа). От верхнего ряда: астигматизм, корона и нецентрированность, сферическая aberrация (не скорректировано), перевернутый край и плохие зоны. Нижний ряд представляет превосходное зеркало. Все системы имеют 20% центральной обструкции. Предоставлено Г.Р.Сьюитером.

### В.12.3.1. Проведение звездного теста.

А теперь давайте займемся непосредственно самим тестированием. Первый шаг к этому, правильно отъюстировать телескоп.

Затем, найдите яркую звезду, величиной в одну вторую или ярче. Стеклоанная поверхность не аллюминизированного зеркала отражает около 4% света, который на нее падает, поэтому отражающая способность такого зеркала составляет 20% от апертуры телескопа. Чтобы протестировать аллюминизированное зеркало вам понадобится звезда шестой величины.

Увеличение, которое вы используете зависит от того насколько плохое у вас зеркало и от такого ограничивающего фактора, как турбулентность (см. Рисунок 4.5). Я обнаружил, что большинство полезных увеличений лежит между 6х и 25х на дюйм апертуры. Когда вы впервые тестируете зеркало во время полировки или на ранних стадиях формирования вы возможно увидите ошибки в коррекции зеркала с небольшим 6х на дюйм апертуры увеличением. С увеличением качества зеркала, мощность в 15х на дюйм становится более полезной. Увеличение свыше 25х на дюйм не часто используется для больших зеркал, поскольку возникает проблема турбулентности — и то, что вы увидите в любом случае будет воспринято в 25х на дюйм.

При увеличении меньше чем 10х на дюйм апертуры или с окуляром длиннее чем 25 мм фокуса, сферическая aberrация вашего глаза или окуляра может быть причиной ошибок на зеркале. С увеличением выше 10х на дюйм данный эффект становится незначительным. Согласно моему опыту Келнер, Ортоскопический и Плессльские окуляры с фокусным расстоянием в 25 мм не создают aberrацию которая бы могла повлиять на свет в звездном диске.



Рис. В.5. Звездный тест показывает, как свет от зеркала проходит через фокус. В превосходном зеркале (А) вы видите равномерное распределение света на внутреннем и внешнем фокусе. В зеркале со сферической aberrацией (В), распространение света меняется со сменой фокуса. Дифракционные круги упрощенно показаны на этой картинке.

Ваши собственные глаза могут быть причиной данной проблемы, если вы обладаете астигматичным зрением. Не важно, близорукость или дальнозоркость, этого вполне достаточно для искажения картинки, несмотря на то, что вы начинаете наблюдения с максимально уменьшенным зрачком. Даже с маленьким зрачком может появляться астигматизм. Вы можете решить данную проблему при помощи специальных стекол, хотя это может представлять из себя проблему, когда вы ведете наблюдения через коротко фокусный окуляр. Если вы видите астигматизм на звездном тесте, проверьте поворачивается ли он вместе с поворотом головы.

### В.12.3.2. Интерпретация звездного теста.

Давайте начнем с основного недокорректирования, самого распространенного типа сферической aberrации. Вспомним, что недокорректированная парабола имеет коротко фокусный край и длинно фокусный центр. Начиная с внутреннего фокуса и перемещая окуляр наружу по направлению к фокусу, вы увидите, как край вне фокусного диска становится ярче и более выраженным, тогда как центр постепенно теряет освещенность. Начиная с наружного фокуса и двигаясь внутрь по направлению к фокусу, вы увидите, как центр наполняется светом, а край становится туманным и плохо освещенным. Очень близко к фокусу или слегка вне его, темное пятно являясь центральной обструкцией, полностью исчезает.

Компьютерно смоделированные лучи света на рисунке В.6.А показывают, как свет от 16-дюймового f/5 зеркала скорректирован на 90% фокуса полной параболы, типа  $\pm 0,4$  мм вокруг лучшего фокуса. Конечно, градус коррекции определенно пропорционален эффектам в этом тесте.

На сверх скорректированном зеркале, с коротким фокусом в центре и длинным с краю, будут показаны те же образцы, но с противоположной стороны фокуса. Наружный фокус, как показано на Рисунке В.6.В распределяет энергию с краю, а внутренний фокус, концентрирует ее в центре.

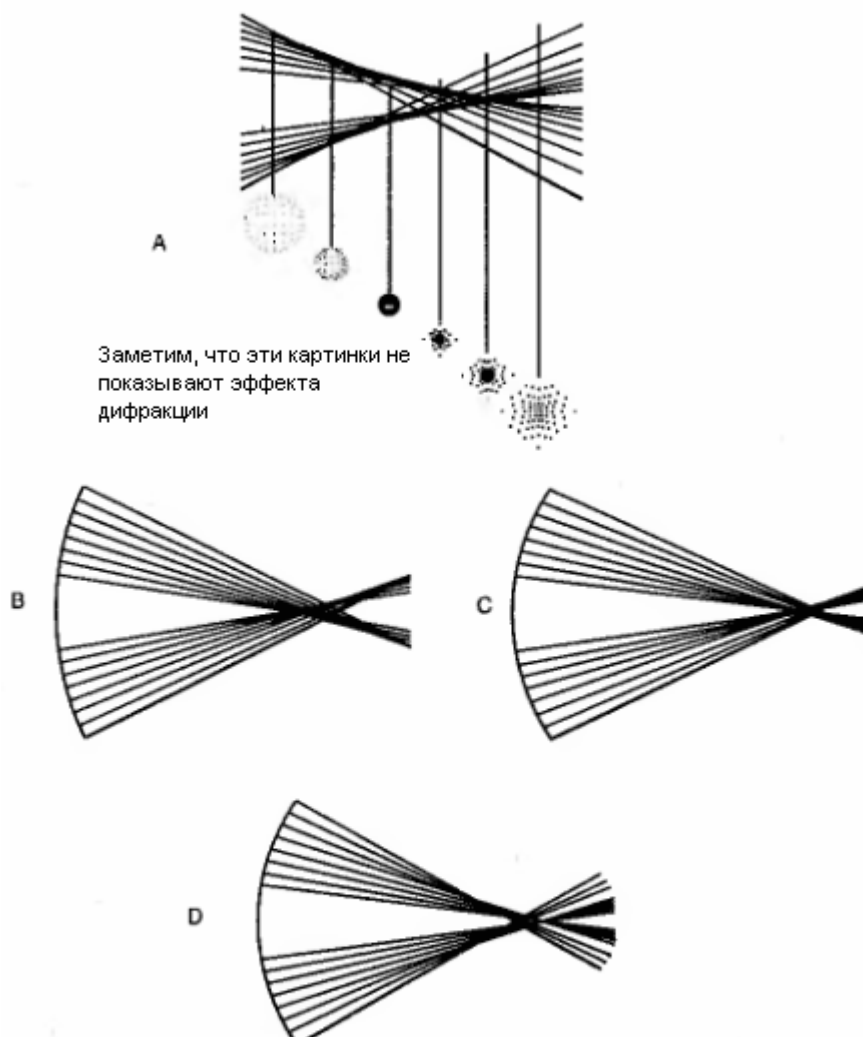


Рис.В.6. На недокорректированном зеркале (А) показан характерный рисунок освещенного края внутреннего фокуса и яркий центр наружного фокуса. На перекорректированном (гиперболическом) зеркале (В) показана обратная ситуация. Профили С и D показывают зеркала с дефектной внешней зоной. Перевернутый вниз край (С) дает «волосяной край», эффект на внутреннем фокусе, тогда же перевернутый в верх край (D) дает «волосяной край» на внешнем фокусе.

Сверх коррекцию и недокоррекцию довольно легко интерпретировать. Даже когда они очень небольшие, их можно увидеть очень близко к фокусу, причем достаточно отчетливо. Температурные изменения в зеркале могут показать ошибки коррекции, также сверх или недостаточное, в зависимости от направления температурного изменения. Интерпретация ошибок коррекции должна проводиться только тогда, когда зеркало достигнет температурного равновесия с окружающей средой, особенно, если зеркало сделано из листового стекла.

Что делать, если проблема не устраняется коррекцией? Допустим у вас есть параболическое зеркало с высоким или коротко фокусным краем. Если проблема находится лишь с краю, а остальное зеркало параболической формы, то вы увидите эффект с краю, который будет выглядеть, как недостаточная коррекция. Если вы видите изменения центральной части звездной картинке, хотя вы видите, что она в правильном фокусе, тогда проблема заключается в высоком крае, а остальная поверхность в порядке.

Закрученный или перевернутый край имеет очень четкое отображение на звездной картинке. Край имеет плохой наклон и поэтому он будет быстро выходить из фокуса, как вы видите на Рисунке В.6.С. Самое внешнее кольцо на звездной картинке будет ярким на внешнем фокусе, но эффект на внутреннем фокусе будет драматичным. Вокруг края диск будет загрязняться паразитным светом. Данный эффект иногда называют «волосяным» краем. Завернутый край дает «волосяной край» на внешнем фокусе.

Если завернутый вниз край находится на недокорректированном зеркале, то внутренний фокус, который обычно имеет яркое внешнее кольцо, будет иметь грязноватое пятно света вокруг него. Наружный фокус, где край будет отображаться довольно слабо из-за недокорректированного зеркала, звездный диск будет иметь тонкое, яркое внешнее кольцо.

Если увести из фокуса достаточно далеко, зоны на зеркале покажутся, как яркие кольца в соответствующих частях дефокусированного диска на стороне фокуса и темными участками с другой стороны. Там, где зоны будут иметь короткий фокус, яркое кольцо будет внутри фокуса. Длинно фокусные зоны предстанут, как яркое кольцо наружного фокуса. На меньшем дефокусировании дифракционные эффекты разных зон будут смешиваться и становиться трудно интерпретируемыми.

Не стоит отчаиваться, если все это трудно рассмотреть — если вы запомните основы и поймете, как работает тест, вы узнаете все эти вещи, когда столкнетесь с ними. Существует один недостаток звездного тестирования, он заключается в том, что, когда вы можете точно сказать, что есть проблемные зоны, то не так просто бывает сказать, насколько они большие. Решение заключается в помещении ленты на зеркало или установке диафрагменных колец. Несколько диафрагменных колец разного внутреннего диаметра, позволят вам изменять апертуру зеркала, что поможет вам изолировать зоны.

Полезное приспособление для звездного теста это экран Рончи. Он позволяет вам видеть границы зон, как выгибы и скручивание на полосах Рончи. Используемый с диафрагменными кольцами или лентой на зеркале, тот Рончи нуль-тест очень помогает отметить проблемные зоны. Экран Рончи также является полезным тестом для проверки гладкости и корректности формы. Используйте его в сочетании со звездным тестом для проверки и оценки ваших интерпретаций. Это просто отличная идея проверять результаты одного теста при помощи другого.

Турбулентность также мешает на проведение звездного теста вблизи фокуса. Вредная турбулентность обычно дает впечатление, что зеркало лучше чем есть на самом деле и нет возможности при этом увидеть проблемные зоны или изменения на внешнем и внутреннем фокусах. Опытный звездный тестер может сказать, когда это случается, но все же это может сбить с толку любого и в любое время, поэтому старайтесь этого избегать.

Теплый воздух внутри закрытой трубы может сосредотачиваться вверху и в таком случае звезды будут выглядеть, как капли. Все слишком часто спешат винить в этом оптику. Другой эффект, который мне приходилось наблюдать состоит в том, что воздух кружится внутри трубы, имея разную плотность в центре и с краю, делая коррекцию хорошего зеркала не верной. В случае с каркасной трубой, воздушные течение в трубе не представляют проблемы, но вы можете наблюдать некоторые интересные эффекты, прежде чем зеркальная коробка охладится или когда теплый воздух от вашего тела входить в световой поток.

Если вы формируете зеркало при помощи звездного теста, то время от времени проверяйте центр кривой при помощи фокусного теста или экрана Рончи, чтобы убедиться, что поверхность гладкая. Формирование гладкой поверхности, очевидно нужно делать дома.

Когда вы решите, что завершили формирование, протестируйте зеркало вновь на вторую ночь. Вы можете по ошибке завершить или захотеть завершить зеркало, которое до этого скрывало от вас свои проблемы, или что зеркало, особенно из листового стекла, было недостаточно охлажденным в первый ночь. Помните, что после стадии полирования листового стекла необходимо не менее трех часов на охлаждение. Пирексу нужно по меньшей мере час на охлаждение и вы должны дать ему остыть, прежде чем проводить какие-либо проверки.

Не регулярные или астигматичные звездные картинки, которые были обсуждены выше, как мы видим идут от центра кривой. Ключ к интерпретации нерегулярных изображений заключается так или иначе в нерегулярном вращении зеркала. Также проверим диагональ зеркала — если в ней есть проблемы, то это может быть причиной появления звезд странной формы.

## **В.12.4. Применение нуль-теста.**

Как упоминалось ранее, я предпочитаю Дэлловский и Россровский нуль-тесты для формирования моих собственных телескопных зеркал. Они имеют огромное преимущество, как звездный тест, но при этом вам не нужно ждать ясной ночи, звезд, окончания постройки телескопа и хорошего обзора. Кроме того, тесты проводимы в помещении позволяют добиться лучшего контроля воздушной турбулентности.

Их единственный реальный недостаток заключается в том, что вам нужно сделать и прекрасно сформировать и установить плоско-выпуклую линзу. Несмотря на то, что сделать линзу относительно не сложно, есть не так много умелых телескопостроителей, способных на это. Вам также потребуется измерить расстояние между смотровым отверстием и линзой в 0,001-дюйма, и в данном случае проблема состоит в доступе к хорошему штангенциркулю. Есть статья Дэвида Штольца и Маркуса Хэтча о работе Дэлловского нуля-теста, которую можно найти в «Небо и Телескоп» за сентябрь 1976 года, страница 210. Также можно найти статью Штольца и Питера Сераволо относительно Россовского нуля-теста в «Изготовление телескопа» № 39 и программное обеспечение для расчета необходимых параметров, данное Дугом Джорджем в «Изготовлении телескопа» № 45.

Кроме того нуль-тест требует достаточного пространства, но не слишком большого. Например, для проведения Дэлловского нуля-теста на 25-дюймовом f/6 зеркале используется нуль-линза с фокусным расстоянием в 10 дюймов, фокусное расстояние линзы должно быть известно с точностью до 0,1 дюйма. Ошибка в 0,005 дюйма в расположении смотрового отверстия и линзы вполне допустима, как и ошибка в  $\pm 1/4$  дюйма в расположении опорной призмы.

В конструкции тестера я обнаружил, что маленькая щель работает лучше чем отверстие. Щель позволяет пропускать больше света, но она должна быть узкой, иначе теряется чувствительность. В самом тесте я использую оба инструмента, опорную призму и экран Рончи для анализа аббераций обратного луча. Я обнаружил, что получаемая таким образом информация является очень полезной.

Проблема, с которой вы скорее всего столкнетесь в тесте Дэллы заключается в юстировке. Даю вам описание того, как ее провести. Начнем с размещения зеркала, таким образом, чтобы центр кривой был над тестовым столом. Используя тестер Рончи, определим точное расположение центра кривой на тестовом столе и нанесем отметку на стол; это будет необходимо, чтобы поместить опорную призму в пределах  $1/4$ -дюйма от этой отметки. Теперь поместим Дэлловский нуль-тестер в собранном виде для зеркальной коррекции на стол и нацелим его в центр зеркала. Определим отражение от зеркала, двигая тестер из стороны в сторону, пока изображение не осветит щель. Найдем точный фокус для экрана Рончи, двигая тестовую единицу взад и вперед, пока фокус не будет лежать над оригинальным центром отметки кривой, сделанной вами на столе.

Теперь приступим к самой трудной части: юстировке тестера до тех пор, пока линии экрана Рончи не пойдут равномерно через зеркало. Если линии сгибаются в сторону, поворачивайте тестер влево и вправо, пока не исчезнет кривизна. Скорректируйте линии таким образом, чтобы они равномерно и ровно проходили сверху вниз. Этот шаг напоминает юстировку очень быстрого телескопа.

Вы ускорите тестирование, если будете помещать зеркало каждый раз в одно и то же место, чтобы не тратить каждый раз время на определение центра кривой на столе. Однако, время от времени, все же проводите проверки точности расположения центра, поскольку зеркало при формировании склонно менять радиус.

Как только вы закончите юстировку зеркала, положите проблесковый маячок на тестовый стол в том месте, где он больше не будет убираться (или положите его в V-образный блок, где он не будет убираться и точно удаляться), таким образом, чтобы он освещал зеркало. Прикрепите тестовый экран к тестовому столу и, когда тестер будет установлен должным образом, отметьте точное расположение на экране, где изображение нити на зеркале будет в фокусе. Каждый раз при установке зеркала на стенд, располагайте его так, чтобы картинка освещенной нити падала на отметку на экране. Это помогает точно располагать зеркало в нужное положение, поскольку нуль-тестер должен быть очень точно настроен. Однажды отметив с помощью маячка данную линию, я могу перекорректировать тестер менее чем за минуту.

## **В.12.5. Чтение экрана Рончи.**

Тест Рончи очень удобен, относительно прост для интерпретации и хорошо служит для перекрестной проверки других тестов, в особенности, если у вас есть сомнения в их значении. Экран Рончи это кусок стекла (предпочтительно), пластика или экран с равно чередующимися широкими, не прозрачными и прозрачными линиями на поверхности. Количество линий на дюйм обычно лежит между 50 и 500. Экран со 150-тью линиями на дюйм подходит для большинства операций по тестированию зеркал.





Рис.В.7. С помощью этого простого устройства можно проводить тест Рончи, тест, который особенно полезен для проверки зон. Когда полосы Рончи представляют из себя гладкие кривые, поверхность свободна от плохих зон; если же полосы резко спадают или имеют внезапные изменения в кривизне, это указывает на проблемные зоны.

Тест Рончи проводится следующим образом. Ваш глаз получает луч от небольшого источника света, пока вы смотрите через экран Рончи, подобно фокусному тесту. Вы увидите темные «полосы» на зеркальной поверхности. Источником света может быть звезда для нуль-тестирования в телескопе или для тестирования в помещении, смотровое отверстие, щель или свет, который проходит через одну сторону экрана сам по себе.

Вы увидите освещенную зеркальную поверхность, как в фокусном тесте, но с добавлением темных полос проходящих сверху вниз. При движении экрана относительно фокуса в ту или иную сторону, вы увидите более узкие или широкие линии на зеркале. Чем дальше вы будете двигать экран от фокуса, тем больше линий увидите.

Чем более аккуратно будет настроен экран на фокус, тем более прямо будут выглядеть линии. Зеркало с превосходной сферой тестируется в центре кривой, а парабола тестируется в телескопе под звездами, которые дают превосходные прямые линии. Однако, если вы тестируете параболическое зеркало в центре кривой или сферу в фокусе телескопа, то увидите, как линии сгибаются наружу и внутрь. Тест Рончи позволяет прочесть ошибки наклона на зеркале, которые влияют на фокус в разных частях зеркала, а затем, напротив, влияние прямых линий на тест.

Для интерпретации данного теста вам нужно лишь помнить, что с приближением фокуса любой данной зоны линии становятся все дальше и вы можете увидеть меньше линий. Вы также должны знать, где вы проводите наблюдения, вне или внутри фокуса. Это может прозвучать слишком просто для тех, кто уже знаком с данным тестом, но это не так. Тест может стать слишком труден для интерпретации, когда существует несколько разных смешанных проблем и вы будете вынуждены сделать множество разных тестов более высоких или низких зон.

Давайте рассмотрим несколько примеров. Если вы тестируете сферу в центре кривой с экраном на внутреннем фокусе, а зеркало имеет углубление (регион с коротким радиусом) в центре, то вы увидите прямые линии по всей площади зеркала, за исключением дефективного центра, где линии будут изгибаться наружу. На внешнем фокусе вы увидите прямые линии везде, за исключением центра, где линии будут изгибаться внутрь.

Причина, по которой линии выгибаются от центра на внутреннем фокусе в том, что сфера имеет углубление в центре, которое делает фокус центральной зоны коротким, а это значит, что экран находится ближе к фокусу центра, чем остального зеркала. Вследствие близости к фокусу линии становятся дальше — точно то, что мы видим, когда линии разделяются в центре.

Внешний фокус, экран находится дальше от центра фокуса, чем от фокуса остального зеркала, поэтому линии сходятся вместе в центре. Если зеркало имеет возвышенность (участок с длинным радиусом) в центре, а не углубление, то в целом картинка будет обратной. Внутри фокуса экран будет дальше от фокуса центра и линии будут сходиться вместе.

Зеркало с хорошей формой за исключением завернутого края на тесте внутреннего фокуса покажет прямые линии пересекающие большую часть зеркала, но они будут сгибаться внутрь в месте дефекта. Фокус дефектного края находится дальше от экрана чем остальное зеркало. Наружный фокус, где край ближе к экрану чем остальное зеркало покажет, как линии изгибаются наружу от центра.

Интерпретация средних зон зеркала довольно сложна, но к ней применимы те же правила. Представьте сферу с высокой зоной в половину края. Высокая зона имеет более короткий фокус на стороне по направлению к центру и длинный фокус к краю. На внутреннем фокусе экран покажет внутреннюю зону, которая будет ближе чем остальное зеркало, поэтому линии будут сгибаться наружу от центра. На наружном крае зоны экран Рончи будет располагаться дальше, показывая, как линии будут сгибаться обратно к центру. Конечно это повторится с точностью наоборот на другой стороне фокуса.

Следует упомянуть еще один пример, который может стать большим сюрпризом для тех, кто тестирует впервые. Допустим, у вас имеется зеркало, которое имеет зоны с разным фокусным расстоянием, но каждая зона имеет сферическую форму. В тесте Рончи зеркало в целом покажет прямые линии, но линии в разных зонах будут располагаться на разном расстоянии. Эти зоны будут отделены промежуточной зоной, где линии будут располагаться как положено.

С передвижением экрана ближе к фокусу, чувствительность теста Рончи возрастает. Для нуль-тестирования поместите экран, чтобы он показывал одну из пяти линий поперек зеркала. Для зеркал с большим отклонением от сферической формы — например парабола в центре кривой — линии изгибаются так сильно, что будут нужны много линий.

Тестирование параболического зеркала в центре кривой показывает зеркало с чрезвычайно изогнутыми линиями. Несмотря на то, что мы не сможем просто определить точность коррекции по этим изогнутым линиям, все же по ним можно судить о гладкости самого зеркала, в зависимости от того насколько гладкие линии. Вы также можете судить о том насколько кривая «выглядит правильно», по местам, кривой, где линии могут выглядеть более четко, нежели в остальных местах. Однако данное мастерство обретается лишь после того, как вы протестируете множество зеркал.

Астигматизм также влияет на линии Рончи. Если астигматизм значительный линии будут поворачиваться по часовой или против часовой стрелки, когда вы двигаете Рончи через фокус. Если на зеркале будет всего одна линия, она будет искажена S-образно, а если будет несколько линий и астигматизм будет в разных точках, они все будут S-образными. Если линии Рончи совместить со осью астигматизма, то эффект становится менее заметным.

Вы увидите множество других интересных оптических феноменов в тесте с экраном Рончи. Данные эффекты становятся заметнее с увеличением количества линий на дюйм. Большинство из них являются следствием дифракции и интерференции. Научитесь понимать с каким эффектом вы имеете дело и вы не будете обескуражены, когда столкнетесь с ними вновь при тестировании.

### **В.13. Искусство формирования.**

Формирование требует разработки определенной стратегии. Стратегия постепенно переходит в игру решений как вы должны решать текущую проблему. Хитрость заключается в том, что при разных измерениях зеркало может иметь разный радиус.

Началом формирования, идеальной стартовой точкой является сфера. На параболических стадиях формирования «недокоррекция» или «сверх коррекция» понимается относительно параболы, а не сферы, поэтому сфера это всего лишь недокорректированная парабола. Чтобы придать сфере параболическую форму, вы можете углубить кривую в центре при помощи коррекционного круга. Если штрихи для этого сделаны точно и не получилось сверх корректированного зеркала, а это вполне возможно, хотя не слишком подходяще, то для приведения зеркала к параболической форме не понадобятся никакие другие стратегии. Та же самая истина состоит в том, чтобы начать с любой гладкой недокорректированной формы.

К сожалению, вы имеете зеркало, которое не является недокорректированной параболой и даже не является коническим. Однако, мы начнем с описания базовых «параболических» штрихов, которые увеличат коррекцию зеркала.

В формировании вы работаете с лицевой стороной зеркала. Начните с нанесения полировального агента на центр и разотрите по площади большей, чем ваш коррекционный круг.

Поместите круг на 5 минут на зеркало под пресс в 10 или 15 фунтов. Начинайте каждый этап формирования с этого для обеспечения хорошего контакта между инструментом и стеклом.

### **В.13.1. Высокий, низкий, длинный, короткий.**

Когда вы тестируете зеркало способами, которые обычно доступны любителям — фокусный, Рончи тест и звездный тест — вы не можете увидеть высокие и низкие зона прямо на зеркале, вместо этого вы видите где они меняют фокус. Хотя разные фокусные точки происходят по причине высоких и низких зон на поверхности зеркала, важно понимать разницу между высоким и низким и длинным и коротким.

Когда край зеркала имеет более длинный фокус, чем остальное зеркало, он называется длинный краем или низкой зоной. Когда центр зеркала имеет длинный фокус в отличие от остального зеркала, это называется длинным центром и рассматривается, как высокая зона.

Почти каждый, кто интересуется изготовлением зеркал имел с этим проблемы, но невозможно найти более значимого понятия. Когда вы имеете какую-либо неподдающуюся проблему и тратите часы на бесполезное формирование, часто нужно просто необходимо объяснить себе еще раз, почему зеркало ведет себя так, что лучи света отраженные от кривой представляющей зеркальную поверхность выглядят так, словно свет отражен от разных ошибок.

Несмотря на то, что данная концепция кажется элементарной, очень важно понимать, что когда вы тестируете зеркало, вы измеряете уклоны зеркальной поверхности, а не высоты и впадины, которые бывают на уклонах.

Избегайте называть их вершинами и впадинами. Четверть волновая высокая зона которая достигает пика медленнее, может выглядеть менее серьезной, чем восьми волновая зона, которая достигает пика ненормально. В итоге это порождает ошибки при нормальном фокусе, которые искажают конечную картинку звезды или планеты в вашем телескопе.

### **В.13.2. Формирующий круг.**

Маленькие зеркала обычно параболизуются при помощи кругов полного размера. Длинные W-штрихи обычно влияют на центр и уменьшаются к краю позволяют переделать сферу в параболу. С 6-дюймовым f/8 зеркалом параболизирование может потребовать не менее 100 штрихов.

Большие зеркала обрабатываются намного дольше чем маленькие — достаточно сказать, то, что параболизирование кругом полного размера может стать просто разочарованием. Пока 8-дюймовое f/6 зеркало будет иметь подходящую сферу около половины волны на 70% зоны, то 16-дюймовое f/5 будет около 1 ½-волны. Поскольку полноразмерный круг имеет изначальную тенденцию к созданию сферической поверхности, то это тенденция работает против вас. Тем не менее довольно просто с полноразмерным кругом деформировать форму 8-дюймового f/6 зеркала до гладкости ½ волны. И, противоположно ему, требуется очень агрессивные штрихи с полноразмерным кругом, чтобы деформировать 16-дюймовое f/5 сферическое зеркало до гладкости в 1 ½ волны.

Когда я впервые начал делать большие зеркала, я параболизировал их при помощи кругов полного размера. И это продолжалось до тех пор пока у меня не начались трудности в получении нужной коррекции и гладкой кривой на 16-дюймовом f/5 зеркале, которое я обработал, используя 8-дюймовый круг. Необыкновенно быстро оно стало параболическим и действительно гладким. Для следующего зеркала 16-дюймового f/6, я начал прямо с круга в 8 дюймов. Зеркало перешло от сферического к хорошо скорректированному параболическому, и для этого не потребовалось ничего больше, чем 8-дюймовый круг и штрихи. После этого я стал почти повсеместно параболизировать большие или быстрые зеркала маленькими кругами.

Маленькие круги используются в асферической коррекции и для формирования зон на зеркале, как мы обсудим чуть позже. Маленькие круги бывают самых разнообразных типов, но для наших целей необходимы две главные формы, звездный круг и фестончатый круг. Оба эти круга имеют «суженные» края, что позволяет равномерно распределять корректирующую смесь по зеркалу. Маленькие круги часто оставляют зеркало с грубой текстурой поверхности.

Для увеличения или уменьшения коррекции зеркала, должен использоваться круг в половину диаметра зеркала или менее. Для 16-дюймового f/5 или f/6 зеркала я бы использовал 8-дюймовый

фестончатый круг для большей части коррекции. Для быстрого 16-дюймового зеркала я бы переключился на 8-дюймовый пятиточечный звездный круг, поскольку он бы углублял кривую более быстро и точно. Для 25-дюймового зеркала 10-дюймовый фестончатый или звездный круг дали бы хорошие результаты. Для зеркала данного размера до  $f/5$  они дали бы более глубоких и не очень срезов необходим звездный круг. Ваш собственный опыт и техника рано или поздно научат вас тому, что нужно применять в той или иной ситуации.



Рис.В.8. Звездный круг используется для коррекции зон и для формирования зеркал с быстрым диафрагменным числом. Это 4-дюймовый звездный круг, он может быть использован в работе над зеркалами между 16 и 24 дюймами. Заметим что «звездная» форма зарифлена не по центру.

Для формирования зон на зеркале все еще необходимы маленькие круги. Эти круги лучше корректируются звездной формой, за исключением очень маленьких, для которых необходим фестончатый или круглый диск для обработки края зеркала — но мы коснемся этого подробнее немного после. Невозможно сказать насколько маленький круг вам нужен для коррекции зон, поскольку все зависит от самой зоны, которую вы обрабатываете, но начинайте с 4-дюймового звездного круга. Он может сделать почти ту же работу, что и 8-дюймовый или 10-дюймовый круг, которые слишком большие чтобы держать их рукой.

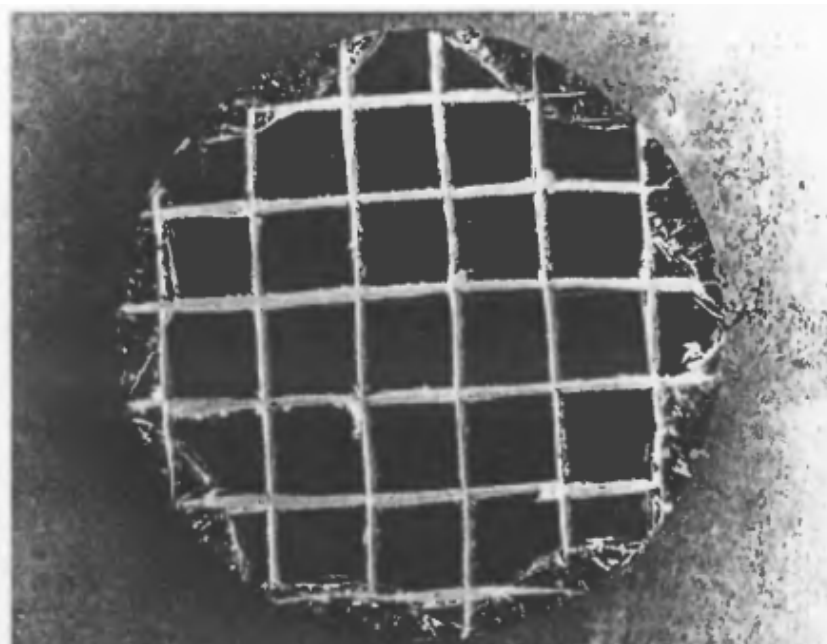


Рис.В.9. Этот не полного диаметра 8-дюймовый полировальный круг имеет суженные края, которые позволяют добиться гладкости. Круг подобный этому может использоваться для коррекции зеркала. Круг подобного размера может быть использован на зеркалах от 16-ти до 20-ти дюймов.

Я обычно делают маленькие круги из стекла или иногда толстого алюминия. Смола для этих кругов не должна быть слишком твердой или они будут слишком грубо делать свое дело. Я настоятельно рекомендую использовать смолу Адольф Миллер №73, тот же материал я использую

для изготовления полноразмерных кругов. Рифление больших маленьких кругов 8 или 10 дюймовых можно сделать по стандартному шаблону, а маленькую звезду можно зарифлять парой дугообразных кривых.

### **В.13.3. Формирующие штрихи.**

Я многое мог бы сказать о формирующих штрихах, но что-либо действительно полезное из этого вы можете постичь для себя лишь из непосредственной практической работы. Однако я приведу некоторые главные принципы, на которых основаны формирующие штрихи. Вы будете делать частые короткие сессии работы — всего несколько поворотов зеркала. Очень важно, равномерно распределять полирующее действие по всему зеркалу, быть последовательными и беспристрастными. Если ваши штрихи будут неравномерными по всему зеркалу, то результатом этому станет неверная форма зеркала. Сохраняйте давление штрихов, длину штрихов, тип штрихов и положение штрихов постоянными.

Также важно возвращаться к месту откуда вы начали, и не начинать каждый раз из нового места. Даже если вы сделали несколько этапов штрихов, убедитесь что вы останавливаете последний штрих точно в том месте, где штрихи начинались. Если например вы делаете два с половиной поворота вокруг зеркала, то с одной стороны вы получите на 25% коррекции больше чем с другой. Убедитесь в том, что вы сделали два или три полных оборота. В итоге, начинайте каждую новую сессию формированию в новом, случайно выбранном месте, что в среднем позволит вам добиться равномерного качества.



Рис. В.10. Используйте длинный прямой штрих, чтобы уменьшить высокий центр недокорректированного параболоида.

#### **В. 13.3.1. Длинный, прямой, центральный штрих.**

Первый штрих, который используется для коррекции с кругами неполного диаметра это прямой штрих, проходящий почти через центр зеркала. Вы толкаете круг почти через центр и продолжаете движение до тех пор, пока он не достигнет верхнего края, затем вы тяните его назад, проходя почти через центр, до тех пока он не достигнет края возле вас и затем вы снова толкаете его вперед почти через центр — все это время вы медленно ходите вокруг зеркала. Место, где круг достигает края должно быть в нескольких дюймах в стороне от последнего штриха. Я предпочитаю сдвигаться на один диаметр круга при каждом штрихе, таким образом я избегаю повторения прохода по обработанной площади зеркала в следующий раз.

Длинный, прямой штрих работает на недокорректированной параболе, таким образом, как если бы она было сфокусирована и все ошибки были в центре (Рисунок В.10.). На быстрых зеркалах этот штрих имеет тенденцию концентрировать работу в центре и давать краю меньше нагрузки, если нужен эффект высокого края.

Длинный, центральный штрих обычно не проходит прямо через центр, вместо этого он идет примерно в дюйме или около того рядом с ним. Так же происходит по сторонам, но не следует уделять больше внимания той или иной стороне. Если штрихи проходят прямо через центр, тогда данная площадь будет иметь тенденцию к переработке и в результате в центре получится углубление. С другой стороны если штрихи проходят слишком далеко от центра из-за этого получается плоский или высокий центр. У вас есть множество способов контролировать это, так используйте их. Для уменьшения высокого центра вы можете захотеть применить штрихи прямо через центр. Чтобы уменьшить высоту в центре вам нужно все еще применять штрихи в 3-х или 4-х дюймах от центра. Однажды усвоив то, как это все работает, в дальнейшем вы сможете сами легко контролировать штрихи.

### В.13.3.2. W-штрих.

Второй главный корректирующий штрих для больших кругов не полного диаметра это W-штрих. Он начинается с одной стороны зеркала, с кругом, размещенным в 2-3 дюймах от края и идет вперед и назад, пересекая зеркало к другой стороне. Каждый полный W-проход занимает 4 – 5 штрихов, с кругом, слегка не достающим до края в конце каждого штриха. Все это происходит в то время как вы ходите вокруг зеркала (Рисунок В.11).

W-штрих уменьшает края почти также, как и уменьшается центр. Для лучшего эффекта избегайте усиленного штрихования свыше 70% зоны, поскольку это уменьшает нужный эффект. Однако, не стоит обрабатывать меньше 70% зоны, но работа с W-штрихом дает вам более быстрое пересечение, чем в других зонах. Кто-то, кто может наблюдать за вами, когда вы делаете штрихи, может даже не заметить, что 70% зоны требует меньше работы.

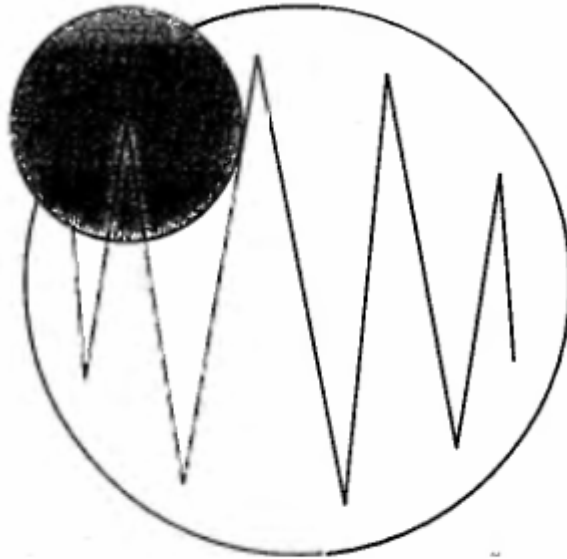


Рис. В.11. W-штрих может уменьшить и центр и край, поэтому для обработки остается лишь 70% зоны, чтобы уменьшить сверх скорректированную параболу. Однако, варьированием пространства между штрихами, можно при помощи W-штриха сделать множество разных вещей.

Я использую оба вида штрихов и длинный центральный и W-штрих, когда обрабатываю зеркало вручную. Как быстро эти штрихи меняют зеркало зависит от дюжины различных факторов и техник, применяемых каждым телескопостроителем. Я бы начинал с 15-минутной сессии, чтобы получить критерий по которому можно было бы судить о скорости работы. Особенно с быстрыми зеркалами, вы можете работать все напряженнее и напряженнее, чтобы достичь полной коррекции, поскольку такие зеркала труднее изменяют форму от сферической до параболической, поэтому штрихи могут быть менее эффективны.

### В.13.3.3. Штрихи по касательной.

Чтобы провести уменьшающую коррекцию вы должны уменьшить 70% зоны. Помните, что сверх скорректированное зеркало имеет 70% высокой зоны относительно парабалоида. (Смотрите рисунок В.12).

Если у вас есть полноразмерный круг, то полируйте коротким W-штрихом: это обычно приводит к тому, что сверх скорректированное зеркало становится очень гладким. Если ваш главный инструмент круг малого диаметра, будьте осторожны в применении W-штрихов, так как они могут очень быстро сплющить центр, оставляя край без обработки, а данную проблему следует избегать.

Полезная альтернатива этому состоит в применении касательного штриха прямо на 70%-ах зоны. Начиная с центра 70%-но зоны, толкайте вперед и назад круг по прямой линии, пока ходите медленно вокруг зеркала. Этот штрих должен оставаться касательным — не обрабатывайте зону кривым штрихом. Касательный штрих уменьшает 70%-ную зону и в то же время правильно

обрабатывает край. Если зеркало сильно сверх скорректировано, обработка края будет проблематичной, и мы обсудим техники обработки в этом случае ниже.



Рис. В.12. Сверх скорректированный параболаид имеет 70% высокой зоны. Вы можете уменьшить ее, используя короткий W-штрих или касательный штрих.

Если на основании тестирования вы видите, что в центре формируется выпуклость, добавьте длинных штрихов в центре к касательным штрихам. После 3 – 4-х касательных штрихов, поворачивайте и проводите круг прямо через центр зеркала, затем возвращайтесь к касательным штрихам.

#### **В.13.3.4. Штрихи для маленьких полировщиков.**

Для обработки зон при помощи маленьких полировальных кругов обычно используются полировальные штрихи, штрихи по касательной, и вариацию, которую иногда называют касательным «деревянным» штрихом или V-штрихом. Касательный штрих применяется в виде прямых штрихов, сосредоточенных в зоне, которую вы хотите уменьшить, пока медленно ходите вокруг зеркала. Смотрите Рисунок В.13.

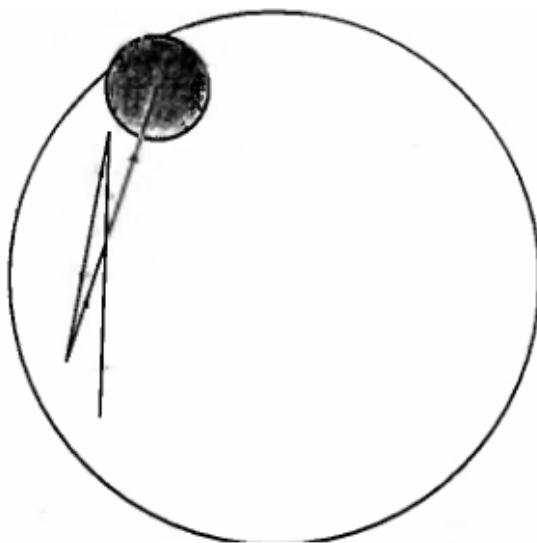


Рис. В.13. Касательные штрихи работают прямо на 70%-ной зоне. Изменяя длину штриха вы можете фокусировать работу на более узких зонах или смешивать их с более широкими участками.

Штрих производится толканием круга вперед, а затем назад по прямой линии, в то время как вы делаете шаг вокруг зеркала. В зависимости от точки коррекции и ваших личных предпочтений вы можете двигаться менее чем на 1 дюйм вокруг зеркала с каждым штрихом или можете двигаться на несколько дюймов. Длина касательного штриха может меняться в зависимости от условий и места обработки. Короткие штрихи срезают более узко и оставляют крутые уклоны, тогда как длинные имеют склонность смешивать смежные зоны и оставлять менее крутые уклоны с краю области коррекции. Смотрите Рисунок В.14.

V-штрихи можно применять слева или справа от касательного штриха. Это позволяет вам углублять и смешивать области обработки круга. Применение таких штрихов по направлению к центру ведет к тому, что край становится более крутым, а центр менее. Вы можете расширять каждый штрих, расширять через один или каждый третий штрих — как того требует та или иная проблема. Просто убедитесь в том, что не пропустили ни одной проблемной зоны зеркала. Другой штрих, который служить для расширения действия маленького круга это W-штрих в центре зоны.

Я использую эти штрихи с полировальными кругами от 1 до 16 дюймов на оптике от 16-ти о 36-ти дюймов в диаметре каждый день в своей работе. Результат, даже после тяжелой ручной работы удивительно гладок даже при тестировании с очень чувствительным интерферометрическим оборудованием.

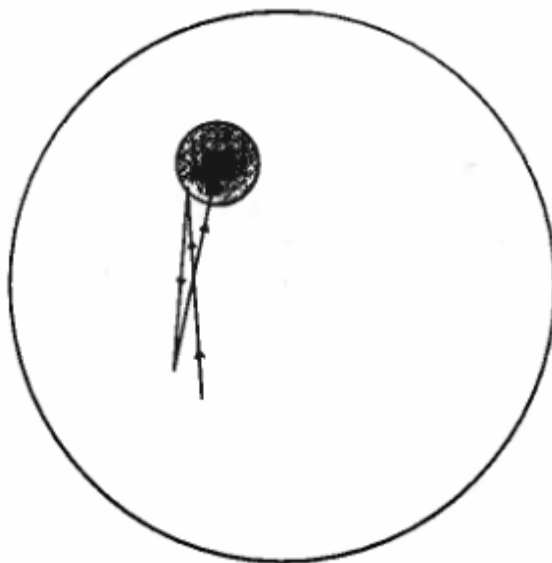


Рис. В.14. Здесь показан относительно длинный касательный штрих, который используется для уменьшения 40%-ной зоны и смешивания ее с поверхностью. Штрих «длинный» поскольку он покрывает широкое пространство относительно центра зеркала.

#### В.13.4. Коррекция низкого края.

Низкий край или длинный край, будь он в пол дюйма шириной или в четыре дюйма, представляет одну и ту же диллему — вам нужно добавить стекло. А поскольку добавить стекло невозможно, то вам нужно удалить стекло где-нибудь еще на зеркале или смешать с существующей кривой края, таким образом исправив фокус. Во втором случае работы намного меньше.

Если край недокорректирован относительно окончательного варианта, то вы можете игнорировать длинный край. Вы просто примените штрихи чтобы уменьшить коррекцию, до тех пор, пока центр не будет соответствовать краю. Однако, когда край сверху скорректирован, или длинный, вы должны обработать его до того как начать параболизацию.

Как упражнение, рассмотрим 18-дюймовое зеркало, которое примерно на 50% параболизировано, с зоной края на 2 дюйма шире чем необходимо. Один способ обработать край состоит в использовании 3 или 4-х дюймового звездного круга для уменьшения региона только внутри круга. При этом применяются касательные штрихи на центре пика. Начинаем с хорошо прижатого маленького звездного круга. Толкаем круг назад и вперед касательно центра зеркала, пока ходим вокруг зеркала и оставляем 1 или 2 дюйма между каждым штрихом. При уменьшении зоны внутреннего края, зона становится частью сферы с длинным радиусом, как показано на Рисунке В.15. После того как проблема определена, зеркало корректируется штрихами, которые также сводятся в любых зонах, генерируемых маленьким кругом с краю.



Рис. В.15. Ключ к решению проблемы коррекцией заключается в просмотре поверхности таким образом, чтобы ошибка могла быть исправлена, удалением стекла, затем штрихами удаляется высокая зона. В этом случае зона внутри края уменьшена при помощи V-штриха, а затем смешана.

Если край не завернут слегка, то простыми касательными штрихами часто не получается сделать всю работу. Вы должны свести уменьшению по направлению к центру, используя V-штрих в сочетании с касательным. Вы начинаете с обычного касательного штриха вперед и назад, затем добавляете штрих по направлению к центру на 1,2,3 или более дюймов, в зависимости от того как много сведения нужно. Насколько часто вы добавляете боковые штрихи и добавляете вы его через каждый штрих или через один, определяется только на основании оценки проблемы зеркала. V-



штрих может сделать зону, над которой он работает менее крутой, а это именно то, что необходимо в данном примере.

Сколько работы это потребует? Это определяется тестированием и оценкой прогресса. Обычно один круг вокруг зеркала для очень небольшой зоны находится в пределах 30 минут напряженной работы с применением сглаживания больших зон полировальным кругом.

С сильно завернутым краем вам может потребоваться срезать около дюйма с края при обработке. Для этого нужен 2-дюймовый фестончатый круг, особенно если край запаздывает при обработке. Применяйте фестончатый круг с круговым штрихом, позволяющим кругу выступать за край в пределах  $\frac{1}{4}$  или  $\frac{1}{2}$  дюйма. Всегда выдвигайте круг на равное расстояние за край — и знайте, что эта работа приводит к горизонтальному уклону края вверх, а также оставляет длинную зону парой дюймов шириной внутри края, которую вам нужно будет обработать чуть позже. Используйте круговые штрихи экономно, на ранних стадиях формирования, поскольку неразумное применение данного штриха может привести к опасному повреждению края.

Если у вас перевернутый край, который не нависает над нескорректированной кривой, применяйте те же техники, за исключением того, что применяйте их также и на центр зеркала. Обработывайте край, как описано выше, но выводите кривую намного дальше к центру. Затем, окончательная доводка центра может быть проведена с кругом не полного диаметра. После обширной работы с маленьким формирующим кругом, проведите сглаживающую обработку при помощи полировального круга или большого не полного диаметра корректирующего круга, что является действительно необходимым.

### **В.13.5. Коррекция перевернутого края.**

Перевернутый край намного страшнее, или «ПК», как описано в «Любителе Телескопостроителе 1», представляет собой длинный край от  $\frac{1}{4}$  до  $\frac{1}{2}$  дюйма шириной. Вы должны исправлять эту погрешность сразу же как только заметите, поскольку формирование всего зеркала может пострадать от починки данной неисправности на поздних стадиях.

Полноразмерный круг может иногда устранить данную проблему, если вы используете короткие штрихи взад и вперед без боковых движений. Круг размеров в серебряный доллар также может быть использован тем же способом, как 3 – 4-дюймовый звездный круг использовался для сходной проблемы широкого низкого края. Приложите круг на край на расстоянии около  $\frac{1}{4}$  дюйма и пройдите им круговыми движениями вокруг зеркала. Помните, что при круглом штрихе, круг должен выходить за край на  $\frac{1}{4}$  дюйма. Обычно это позволяет подкорректировать данную проблему за короткое время, поскольку, даже не смотря на то, что завернутые края имеют резкий уклон, они часто представляют собой узкие зоны и поэтому не распространяются далеко вниз. Эта техника оставляет низкую зону внутри края, которую вы должны будете сгладить большим кругом — а данная проблема намного менее серьезная, чем завернутый край.

Если край трудно поддается корректировке, не следует гробить все остальное формирование зеркала, чтобы устранить это. Работайте до тех пор, пока он не будет  $\frac{1}{4}$  дюйма шириной, а потом забудьте о нем — вы просто можете замаскировать такой край. В работающем телескопе намного важнее иметь гладкую правильную поверхность, чем дополнительные  $\frac{1}{2}$ -дюйма апертуры.

### **В.13.6. Коррекция высоких зон.**

Высокие зоны могут быть устранены прямо при помощи касательных штрихов. Хитрость заключается в том, чтобы определить точную форму зоны и применить нужные штрихи, чтобы удалить ее. Если у вас получилась высокая зона, крутая на центральной стороне, но постепенно снижается по направлению к краю, удалите ее с помощью касательных штрихов на гребне зоны с дополнительными V-штрихами по направлению к краю на каждый другой штрих. Эта работа на гребне, в то время когда применяются и другие штрихи по направлению к краю, будет работать на широкой территории.

В тех случаях, когда высота зоны шире чем ваш звездный круг, вы можете расширить действие звездного круга, используя V-штрихи в зоне слева и справа. Будьте осторожны, не

перестарайтесь, срезав узкую низкую зону в центре широкой высокой зоны, поскольку вы можете недооценить действенность вашего маленького круга.

Центральные возвышенности лучше устранять при помощи W-штрихов, пока вы ходите вокруг зеркала. Конечно, размер круга и длина штриха зависят от высоты возвышенности. И снова вспомните о том, что нужно чередовать работу. Общепринятая ошибка заключается в том, что люди делают небольшое углубление в центре центральной возвышенности. Будьте осторожны не следует недооценивать диаметр возвышения.

### **В.13.7. Коррекция низких зон.**

Коррекция низкой зоны происходит за счет уменьшения главной формы зеркала на противоположной стороне от низкой зоны, затем вся поверхность сглаживается при помощи большого круга. Это очень эффективно. Для небольшого углубления в центре, обработайте стороны углубления до тех пор, пока оно не сведется с остальным зеркалом. При сглаживании большим кругом или «обновлении кривой», небольшое углубление в центре может почти полностью исчезать, так словно вы чудесным образом добавили еще стекла.



Рис. В.16. Мастер собственной персоной, Джон Добсон, работает стеклом в 1994 году на Риверсайдском Съезде Телескопостроителей. По образцу Добсона делаются классические зеркала во всем мире.

## **В.14. Несколько слов напоследок.**

Позаботьтесь о том, чтобы зеркало правильно висело на петле, когда вы тестируете его. Проверяйте его регулярно на астигматизм. Проверяйте, чтобы ковер под зеркалом не стирался и не становился слишком жестким. Аккуратно работайте кругами. И держите ваше место работы в чистоте — вы же не хотите, чтобы зеркало поцарапалось на последних стадиях формирования.

Формирование больших зеркал иногда идет гладко, а иногда нет. Не отчаивайтесь. Но если все идет не так все время, как вы работаете, то убедитесь, что верно интерпретируете результаты тестирования, довольно просто получить высокие-низкие и длинные-короткие зоны вокруг и более глубокие зоны, которые вы стараетесь устранить. Если у вас возникают сомнения, используйте несколько тестов перед тем как что-то делать. Думайте стратегически — а это также важно, как и сама полировка.

В начале я полагал, что внешние ¼-дюйма будут потеряны на зеркале с краю. Если это предсказание стало правдой и ваши тесты подтверждают это, не волнуйтесь. Профессиональные магазины обычно выписывают большее значение края, поскольку требуется довольно много времени и усилий, чтобы сделать зеркало превосходным с краю.

Проверяйте результаты ваших тестов. Если вы полагаетесь на результаты тестов в помещении, вроде фокусного и Рончи теста все время, то кладите не аллюминизированное зеркало время от времени в телескоп, чтобы удостовериться лишний раз, что все идет как нужно. Просмотр звездных изображений является превосходным реальным тестом. Если вы что-то пропустили в своей работе, звездный тест покажет вам это.

Когда же можно считать, что зеркало готово? Я полагаю, что вы должны формировать зеркало до тех пор, пока не останется никаких заметных проблем. Причина этого в том, что большинство опытных телескопостроителей, после того как аллюминизировало зеркала, видело проблемы, которые становились просто ужасными, и которые не были столь значительными во время обработки. Лучше всего устранить все ошибки, какие вы сможете только обнаружить, даже не смотря на то, что расчеты могут показать, что данная ошибка не является слишком серьезной. Кроме того, это спасет вас от плохих воспоминаний, когда вы можете сказать «Да, я помню, это был день, когда мне нужно было переделывать это проклятое зеркало».

## **Приложение С.**

### **Цифровые установочные круги.**

Цифровые установочные круги это относительно новый феномен, но возможно один из первых, который получил такое широкое распространение в любительской астрономии в наши дни. Вы используете цифровые круги, чтобы обнаружить объекты в небе без необходимости сверяться со звездной картой. В этом приложении мы расскажем вам, что они такое и как работают, а затем расскажем, как установить цифровые круги на ваш Добсониянец.

#### **С.1. Немного истории.**

Установочные круги были обычным решением для экваториальных платформ на протяжении сотен лет. Поскольку звездная система координат требовала точного подъема и опускания по соответствующим осям движения экваториального основания, данная проблема решалась прикреплением установочных кругов к основанию и вы могли ориентировать телескоп на небесный объект двигая его до тех пор, пока показания на установочных кругах не совпадали с координатами объекта. Установочные круги это в конечном счете прославленные транспортиры, которые измеряют угол ориентации телескопа. Аккуратные цифровые круги действительно работают очень хорошо, но множество любителей никогда не использовали их, поскольку не знали как.

Затем случилась Добсониянская революция. Поскольку телескоп больше не двигался параллельно стандартным небесным координатам, установочные круги были бесполезны. Однако, вскоре любители адаптировали Телрад, простое и не дорогое обзорное устройство, которое сделало наведение на звезды в стиле «наведи и снимай, быстрым и простым. Данное нововведение было великолепным, однако данное действие требовало также того, чтобы вы помнили расположение сотен небесных объектов или же вы надолго зависали с фонариком и звездной картой, а лишь после этого находили объект. Множество людей нашли третий вариант: они просто наблюдали за тремя дюжинами объектов снова и снова, таким образом зная, как их найти.

Затем пришли микропроцессоры и карманные калькуляторы. Хотя и не будучи первым, любитель астроном Билл Бартон приобрел 35\$ программируемый карманный калькулятор от Радио Шэк, прикрепил топографический компас и угломер к осям своего, заботливо сделанного 17 /2-дюймового Добсониянца и убедил Джона Кернса написать программу для калькулятора, которая бы конвертировала точную высоту и положение небесных координат в высоту и азимут телескопа. Поскольку топографический компас читал азимут, куда телескоп был на правлен, а угломер показывал высоту, Билл смог легко находить новые объекты.

В начале программы Билл вводил свои долготу и широту, дату и время дня в калькулятор. Затем, чтобы найти объект, он просто вводил правильную высоту, положение и текущее время плюс 30 секунд — поскольку примерно это время требовалось на то, чтобы калькулятор рассчитал новые координаты и Билл смог ориентировать свой телескоп.

И так, это работало, и работало очень хорошо. Далее, поскольку Билл описал свою технику в статье журнала «Астрономия», тысячи людей осознали насколько просто теперь стало находить объекты с большими Добсониянцами. Таким образом эта идея поселилась в массах.

Незадолго до этого инженер электрик Рик Мак Вильямс, разработал перепрограммируемый компьютер «черная коробка» для использования с цифровыми датчиками. Когда это устройство было представлено в 1989 году, оно имело встроенную базу данных звезд и небесных объектов и красные индикаторы. МакВильямс продавал свой продукт только через других производителей и поставщиков, и спустя несколько лет было уже пол дюжины подобных фирм, продававших под своей маркой разные версии устройства МакВильямса.

#### **С.2. Как работает цифровой круг.**

Цифровые установочные круги это удивительный инструмент для наблюдателя. И что самое приятное, как любое электронное устройство, они становятся лучше с каждым годом. Бесполезно

даже пытаться описать весь список устройств, который все растет и растет, поэтому давайте рассмотрим основной тип цифровых установочных кругов.

Ключевой элемент данной системы это компьютер. Это домашний микрокомпьютер, клавиши которого говорят компьютеру что делать дальше, чипы памяти этой машинки хранят информацию по расположению объектов, а чипы интерфейса «говорят» что делать датчикам высоты. Также для системы нужны обычные аккумуляторы.

Наблюдатель использует клавиши, чтобы выбрать желаемый объект. Компьютер сверяется со своей базой данных и выдает информацию, где должен находиться искомый объект. В зависимости от устройства, вы можете вручную двигать телескоп, пока на дисплее не покажется, что вы достигли желаемого положения или в новейших устройствах вы можете дать команду моторам самостоятельно ориентировать телескоп в нужную точку.



Рис.С.1. Том Дэй был одним из первых, кто установил альт-азимутные установочные круги на свой 17 1/2-дюймовый Добсоанианец. Дэй использовал программируемый калькулятор для перевода звездных координат в альт-азимутные координаты.

Чтобы настроить систему в начале ночи вы должны идентифицировать две или три разных звезды и ориентировать на них телескоп. Система отследит автоматически путь движения телескопа и настроится, затем на дисплее будет высвечиваться точная информация по положению телескопа.

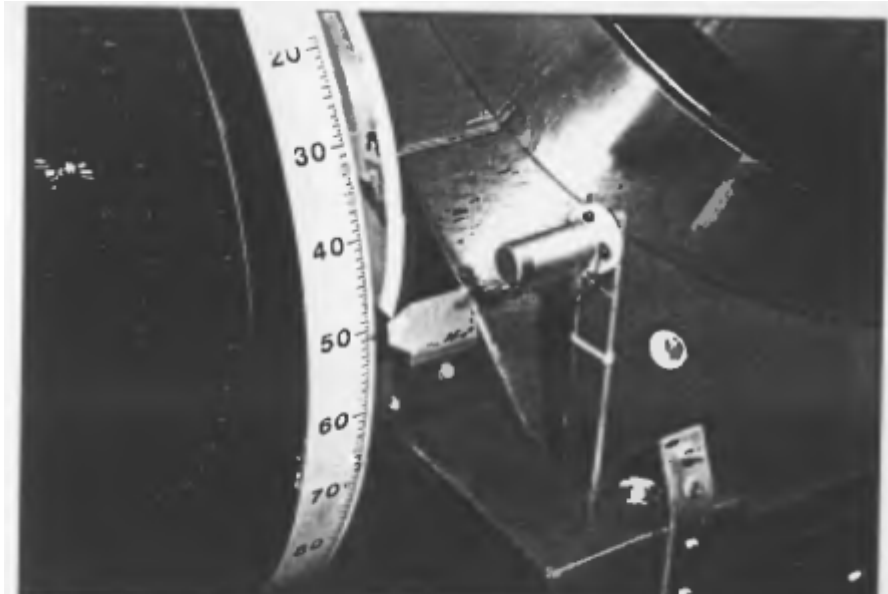


Рис.С.2. Узнав соответствующие координат, Дэй мог нацеливать свой телескоп на желаемый небесный объект. Его большие цифровые круги были также точны, как современные датчики положения.

Компьютер узнает о том, куда направлен телескоп по двум цифровым датчикам положения, установленных на телескопе. Один датчик прикреплен к центру бокового держателя, а другой к центру азимутного держателя. Металлические защелки держат одну часть датчика в статичном положении, тогда как другая вращается вместе с держателем телескопа. Оптические датчики

передают измерения угла вращения индикатору. Датчики, используемые в телескопах сегодня делят окружность на 4096, 8192 или 16384 участков при вращении, это означает, что круг в 360 градусов делится на 4096, 8192 или 16384 частей. Разрешение самого распространенного типа датчиков составляет 4096 частей, это около 1/10-градуса, а это вполне достаточная точность, чтобы найти любой маломощный объект.



Рис.С.3. Бил Бартон читает азимут на своей системе установочных кругов. Это можно сделать смещая магнит от севера. Все инструменты поблизости от магнита сделаны из латуни, а электричество для освещения идет на основе волоконной оптики. Альтиметр установлен на распорке. Фото Роберта Банжа.

### С.3. Точные круги требуют точного телескопа.

Цифровые установочные круги не могут быть точнее телескопа, на котором они установлены. Чтобы цифровые круги правильно работали оси телескопа должны быть под правильными углами одна к другой, а датчики должны быть установлены точно на осях вращения. Когда все эти условия в точности выполнены, цифровые установочные круги будут точны по всему небосводу. На плохо сделанном Добсоновском телескопе, цифровые установочные круги могут дать вам приемлемую точность на некоторой части неба, но не по всей ширине.

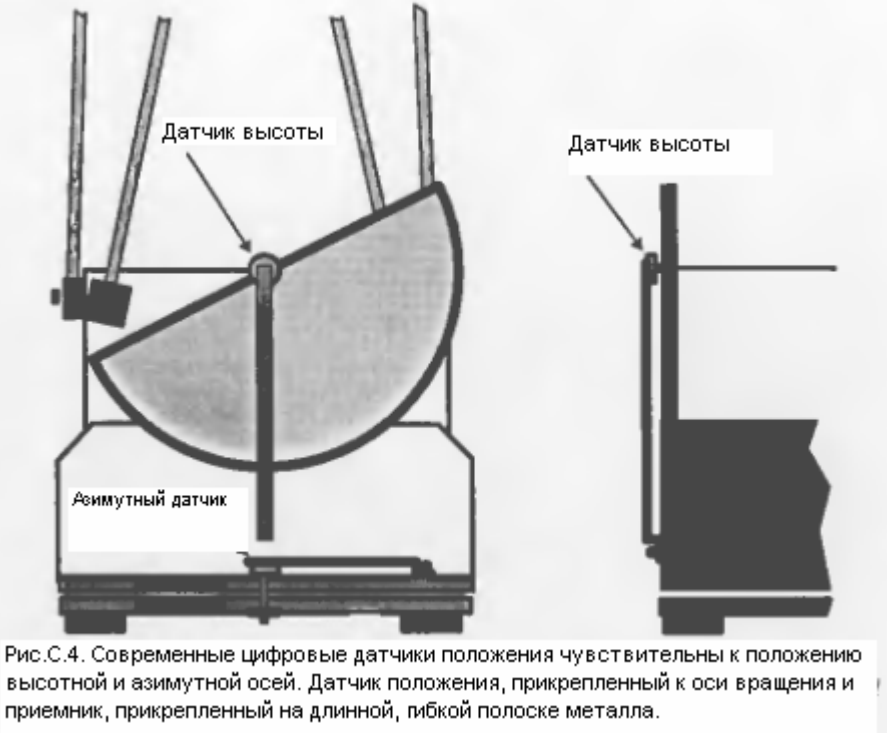


Рис.С.4. Современные цифровые датчики положения чувствительны к положению высотной и азимутной осей. Датчик положения, прикрепленный к оси вращения и приемник, прикрепленный на длинной, гибкой полоске металла.

Это означает, что на Добсонианце, оси вращения качалки (азимут) и зеркальной коробки (высота) должны быть строго перпендикулярны. Азимутный болт вращения должен быть установлен в мертвом центре и перпендикулярен оси болта. Высотный датчик должен быть в мертвом центре оси вращения бокового держателя. Вихляющие из стороны в сторону оси будут вредно влиять на всю систему. В итоге, датчики должны быть установлены достаточно прочно, чтобы они не вихляли, но при этом были достаточно свободны и не зажаты.

Однако, не отчаивайтесь. По мере развития опытности, когда вы устанавливаете датчики положения, вы сможете обнаружить множество интересных вещей, даже с некорректно установленными датчиками на не точно построенном телескопе. Вам придется перенастраивать телескоп, каждый раз, когда вы ориентируете телескоп на звезду под градусом большим чем 45, но все равно они позволяют увеличить скорость поиска новых объектов. Установка датчиков аккуратно на аккуратно сделанный телескоп дает вам все вышеперечисленное, плюс к тому, они будут работать точно по всему диапазону неба. Мы думаем, что усилия по точной установке датчиков будут вознаграждены с торжеством.

Какие цифровые круги следует заказать? Для начала вспомним, что большинство цифровых установочных кругов на рынке это системы на основе МакВильямса, поэтому внутреннее они будут удивительно похожи. Разница будет заключаться лишь в том, насколько большим каталогом объектов обладает память компьютера — 500, 4000, 16000 или 65000 объектов — и может ли компьютер рассчитывать положение планет и астероидов. Компьютеры самой высокой квалификации могут даже установить программу наблюдений, как только вы находите один объект, компьютер уже готов ориентировать телескоп на другой согласно программе.

И так, какую систему следует выбрать? Помните, что поскольку электронная революция продолжается, любая система будет «устаревать» в течении года, поэтому выбирайте систему с разумными характеристиками по разумной цене. Любое устройство в наши дни позволяет обеспечить услуги, которых вам хватит на всю оставшуюся жизнь. Если вы думаете, что вы исчерпаете базу данных в 8000 объектов очень быстро, то вам лучше позвонить в НАСА и устроиться к ним на работу.

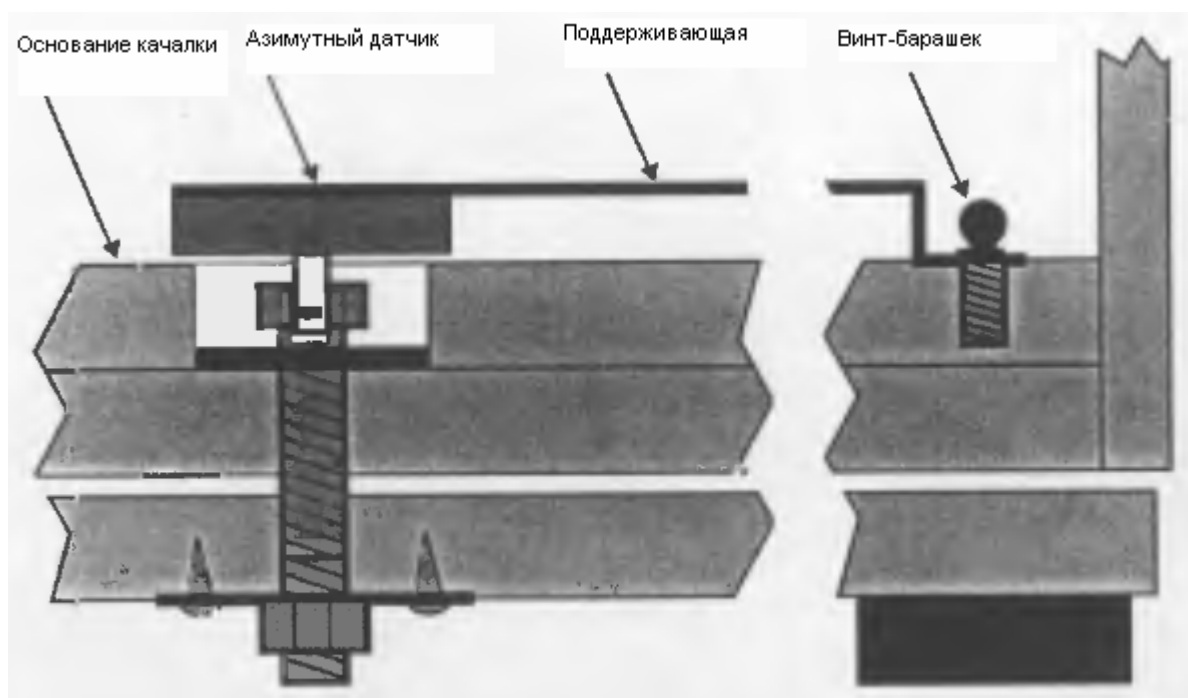


Рис.С.5. Здесь детально показано, как азимутный датчик положения держится на болте вращения и приемник, как предотвращается вращение металлической полоски прикрепленной к качалке. Болт вращения сам не вращается, поскольку он надежно держится запирающей гайкой под платформой основания.

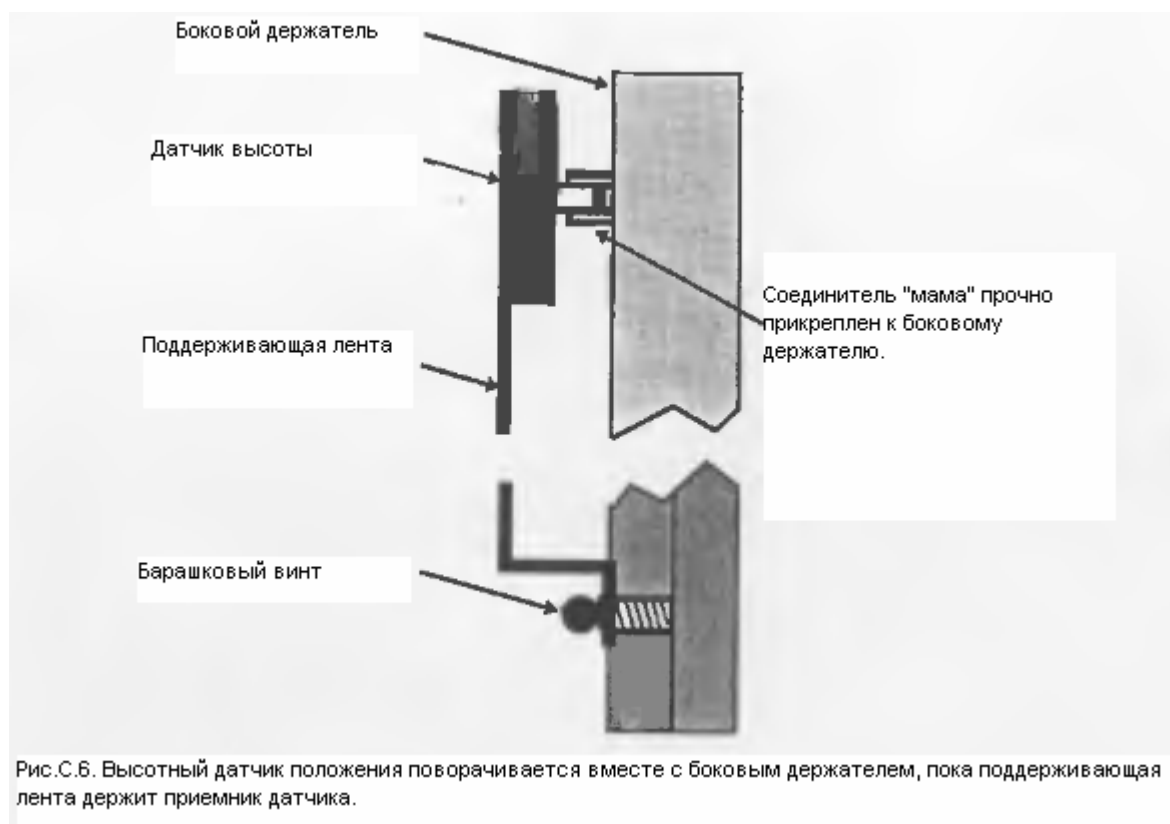
#### С.4. Установка.

Прежде всего, допустим у вас уже есть построенный *квадратный* Добсонианец. «Квадратный» это столярный термин, означающий, что вы уделили должное внимание измерениям. Это конечно идеал, который вы вряд ли сможете добиться, но будем надеяться, что вы были внимательны и построили нечто очень близкое к идеалу. Стороны зеркальной коробки и качалки квадратные, не 21

5/8 дюйма с одной стороны и 2 ½ дюйма с другой. Зеркальная коробка не должна вихлять в качалке. Стороны качалки перпендикулярны основанию, не под углами 89,5 или 90,5 градусов. Боковые держатели имеют одинаковый диаметр, превосходную круглую форму и точно установлены по отношению один к другому. Дуги, вырезанные в качалке концентрической формы, и Тefлоновые подушки все лежат относительно воображаемое цилиндра точно.

Если вы не смогли сделать ваш телескоп действительно «квадратным», то установочные круги будут работать в пределах 30 – 60 градусов неба, однако с большей аккуратностью вы можете добиться и большего. Не волнуйтесь, вам просто нужно «пересинхронизировать» телескоп на паре звезд в том месте, где вы хотите наблюдать и все станет нормально.

Когда вы устанавливаете датчики, очень важно чтобы датчики положения были установлены точно в центре осей вращения держателя. Если вы установите датчики не точно в центре, то каждый раз, как вы будете ориентировать телескоп, то датчик будет двигаться с усилием. Рано или поздно датчик просто выйдет из строя. Для предотвращения этого мы рекомендуем вам купить дополнительное основание под датчики. Конечно, довольно интересно самому сделать вашу собственную схему установки, однако это не стоит сломанного датчика. Прочитайте инструкции, которые идут с датчиками и внимательно им следуйте.



#### С.4.1. Установка азимутного датчика.

Азимутный датчик достаточно легко установить. Тело датчика устанавливается в углубление, просверленное в азимутном болте вращения в основании качалки. Болт вращения устанавливаете через основание качалки и постоянно закрепляется цельно металлической запирающей гайкой и платой, которую вы прикрепляете к платформе основания. Все это можно приобрести в наборе монтажных инструментов от производителя.

О-кольцо на теле датчика обеспечивает аккуратное совмещение с болтом вращения. Таким образом датчик может быть установлен или удален простым нажатием.

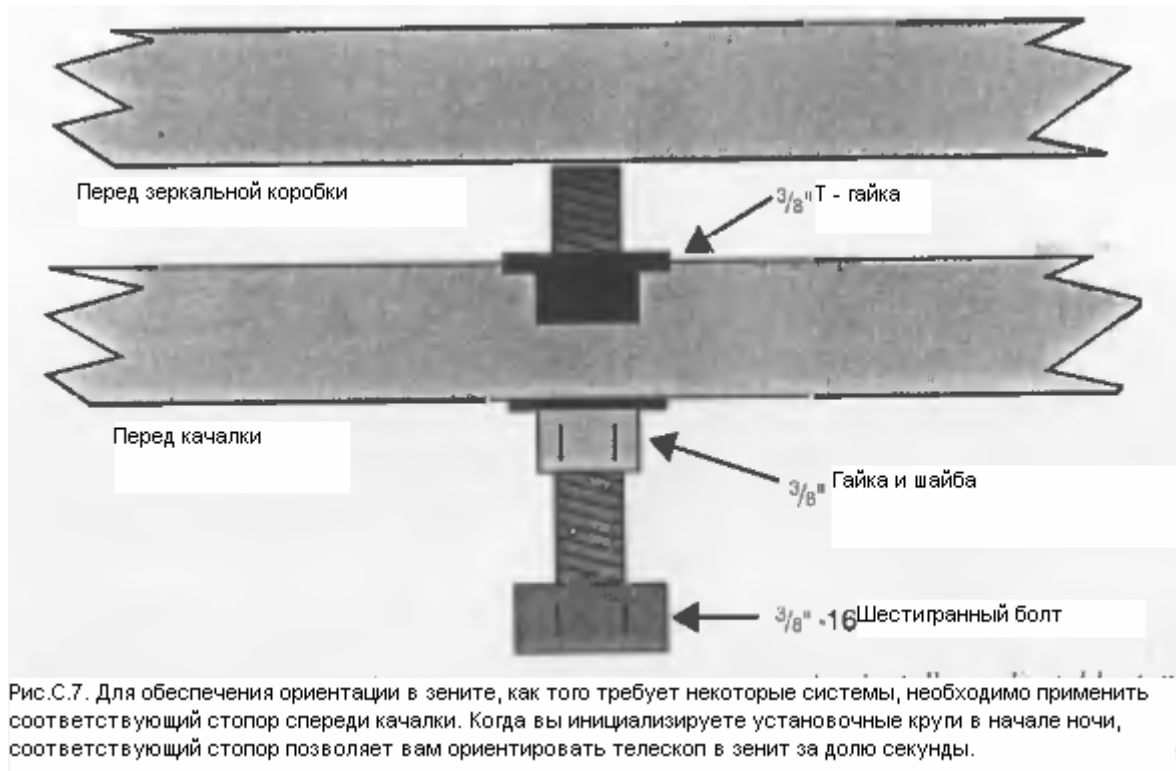
Отверстие, которое вы просверливаете через низ качалки для азимутного болта, должно соответствовать трем условиям:

1. Оно должно быть в центре качалки. Располагайте болт, там где будут пересекаться линии от углов качалки, прорисованный карандашом.
2. Оно должно быть точно перпендикулярно основанию качалки. Используйте специальные приспособления для сверления, чтобы сделать точное отверстие.



3. Оно должно быть того же размера, как и диаметр болта. Качалка не должна вихлять на болту. Если вы просверлили отверстие большего диаметра, то необходимо применив гайку, зафиксировать болт. Данная гайка обеспечивает надежное крепление болта, которое предотвращает качалку от вихляния.

Датчики бывают около  $\frac{1}{2}$  - дюйма толщиной. Убедитесь, что у вас есть как минимум дюйм свободного пространства между зеркальной коробкой и верхом низа качалки, где телескоп будет поворачиваться по высоте.



Это позволяет оставить достаточно пространства, если вы не захотите держать датчик в болте вращения все время. Последняя вещь, которая вам нужна, это чтобы хвостовые врата или главное зеркало сломали азимутный датчик.

Постоянно крепится к датчику поддерживающая лента, около 10-дюймов длинной. Прикрепите свободный конец ленты к низу качалки, при помощи двух винтов, так, чтобы вы могли удалять ленту и датчик для транспортировки. Пропустите барашковые винты в пару латунных винтовых вставок внизу качалки.

Лента широкая, поэтому датчик эффективно защищен от вращения при небольшом сдвиге, но при этом достаточно длинная и тонкая, чтобы датчик мог двигаться вверх и вниз. Никогда не устанавливайте датчик прочно; если крепление качалки на платформы основания ослабнет и болт вращения будет двигаться вверх и вниз, это может привести к повреждению датчика. Установка его на длинной, тонкой ленте и аккуратна и безопасна.

#### С.4.2. Установка высотного датчика.

Высотный датчик установить намного сложнее. Тело высотного датчика должно быть установлено точно в центре вращения бокового держателя и должно соответствовать оси вращения. Если датчик смещен от центра, то вы получите не точные данные относительно положения телескопа, а если тело будет установлено под углом, датчик можно повредить.

Как мы делали для азимутного датчика, высотный датчик также устанавливается на длинной ленте. Установочная лента может слегка сгибаться, следуя за боковым наклоном зеркальной коробки с качалкой, но она не должна вращаться, иначе будут не верные данные.

Верхний конец ленты держит соединитель «мама», который прикреплен к телу высотного датчика. Соединитель «мама» имеет внутреннее О-кольцо, которое одевается на тело датчика. (Вы

можете прикрепить соединитель «мама» на сторону держателя а датчик на ленте прикрепить к качалке, если хотите).

Нахождение центра вращения бокового держателя требует определенной хитрости. Просверлите сходное отверстие в 2 на 4 доске и пропустите остро наточенный карандаш через отверстие. Временно прикрепите эту доску к стороне качалки. Пока вы наблюдаете за карандашом, попросите друга подвигать трубу телескопа вверх и вниз. Придержите рукой в точке, которую оставит карандаш точно в центре вращения. Прижмите карандаш, чтобы отметить это положение. Тело датчика должно быть точно в этой точке.

Прикрепите нижний конец высотной поддерживающей ленты к стороне качалки парой барашковых винтов через латунные винтовые вставки, как вы делали ранее с азимутным датчиком. После того как датчик и лента будут установлены, соедините их вместе и проверьте работу. Попросите друга подвигать телескоп вверх и вниз, а сами в это время понаблюдайте взаимодействие соединителя мамы с телом датчика. Если соединитель «мама» вихляет, то это не настоящий мертвый центр и вы должны будете вновь искать его. Когда вы аккуратно найдете точку вращения и прикрепите датчик, работа будет сделана. Соберите соединитель вместе и прикрепите нижний конец ленты барашковыми винтами.

Оставьте обе ленты и высотного и азимутного держателя свободными. Не следует слишком затягивать гайки. Лента должна иметь возможность слегка двигаться, тогда как телескоп может под своим весом сместить или сдавить тела датчиков, что может привести к ошибкам или повреждениям самих датчиков.

### **С.4.3. Установка компьютера.**

Установка компьютера может показаться довольно простым делом, в отличие от предыдущего, но это не так. Когда вы ведете наблюдения с телескопом, который выше вас, вы скоро обнаружите, что хотите, чтобы компьютер был в двух разных местах. Когда ваши ноги на земле и вы направляете телескоп на новый объект, вам захочется иметь компьютер внизу на зеркальной коробке или в руках, где вы можете читать показания и нажимать кнопки.

Однако, стоит только вам ориентировать телескоп на желаемый объект, как вам тут же захочется иметь компьютер рядом с окуляром. Вам может захотеться узнать величину объекта или описание, или вы можете захотеть установить объект точно по центру и обновить компьютерные данные, чтобы он точнее искал в следующий раз. Все это должно быть сделано около окуляра.

Решение состоит в прикреплении компьютера на длинный шнур, что придаст ему определенную мобильность. Когда вы нацеливаете телескоп, располагайте компьютер на зеркальной коробке. Когда вы вскарабкаетесь на лестницу, возьмите компьютер с собой и прикрепите его к визирной доске, где он будет под рукой.

Прикрепите полоски липкой бумаги на заднюю стенку компьютера и вы можете крепить его как угодно. (И на протяжении всей ночи люди будут слышать явственный звук отрывания ленты, каждый раз как вы будете спускаться или подниматься на лестницу). Или, если хотите, можно не применять липкую бумагу, а прикрепить небольшие металлические крюки и подвешивать компьютер на них.

### **С.5. Главный совет.**

Цифровые круги намного более деликатны в обращении, чем другие части телескопа. Убирайте датчики перед транспортировкой. Азимутный датчик особенно чувствителен, если ведущий край платформы основания перемещается на полу трейлера. Конечно, он не пострадает в первый раз, однако это произойдет рано или поздно. Высотный датчик прикрепляется сбоку телескопа и может ударяться, когда вы едете по кочкам. Если же вам очень сильно повезет, то вы избежите повреждения датчиков.

Также для предотвращения несчастных случаев, удаляйте поддерживающие ленты и датчики, когда вы завершаете наблюдения. Отсоедините эти деликатные компоненты и положите их в коробку. Если вы будете ждать утра, чтобы удалить их, то скорее всего забудете об этом и — ёбс — идите покупать новые датчики.

## Приложение D.

### Экваториальные платформы.

Добсонские телескопы имеют один существенный недостаток, они не отслеживают путь звезд. Не важно как гладко телескоп двигается, все равно объекты смещаются и вам снова нужно ориентироваться на них. Это делать скрупулезное изучение сложным и делает обзор слабо видимых объектов хитрым трюком, особенно при постороннем освещении.

Множество наблюдателей, таких, которые любят прыгать от объекта к объекту по всей странице Уранометрии 2000.0, охотятся за галактиками и планетными туманностями. Без отслеживания приходится слезать с лестницы, чтобы сверяться с диаграммами, затем забираться обратно и – ага – вот оно! Затем подбор разных лестниц под разные окуляры, возможно быстрая сверка с диаграммами, чтобы проверить слабую галактику, затем обратно вверх по лестнице, суэта при нахождении объекта, подключение нового окуляра, затем бесконечные сдвиги телескопа, чтобы проследить за объектом. Как хорошо было бы, если бы объект просто остановился!

Отслеживание также открывает восхитительный потенциал для астрофотографии и компьютерным изображениям для владельцев Добсонов. Ваше большое зеркало отражает так много света, что длинные экспозиции и трудные техники больше не нужны, по крайней мере для самых ярких объектов. Прекрасные картины могут быть «сняты» за 5 или 10 минут на быструю цветную пленку, поскольку выдержки такого короткого периода не слишком сложная работа. При помощи компьютерной съемки, центральная звезда в Кольцевой Туманности может быть снята при выдержке в 1 секунд, а в течении 60-ти секунд можно снять звезды от четвертой до пятой величины.

Существует лишь одно решение Добсонской диллемы, это экваториальная платформа. Французский астроном любитель Адриен Понсет продемонстрировал 1977 году низкую платформу, точка вращения которой имела две точки вращения на плоскости и вращалась вокруг своей оси перпендикулярно плоскости. Если эта платформа была моторизована и плоскость соответствовала полю небесного объекта, то мотор мог соответствовать вращению земли. Для телескопа, установленного на такую платформу, звезды больше не двигались бы.



Рис.D.1. Том Мартинес построил одну из первых экваториальных платформ, которая была достаточно крепкой, чтобы выдержать вес большого Добсона. Однако, поскольку двигающие ролики были установлены под наклоном, тяжелая нагрузка слегка сбила платформу.

Оригинальный дизайн Понсета нашел свое применение в небольших телескопах и камерах, платформа просто не скользила, если на ней был большой вес. Однако, замена Понсетовских роликов на шарикоподшипники обеспечила меньшее трение и возможность нести большую нагрузку. В 1980 году группа людей в Англии сделала небольшую обсерваторию на экваториальной платформе. В 1983 году любитель из Канзаса Том Мартинес был среди первых, кто продемонстрировал практическую экваториальную платформу, которая могла вынести вес больших Добсоновских телескопов без тряски.

В этом современном воплощении экваториальная платформа основывалась на моторизированной платформе основания. Телескоп поворачивался на модифицированной платформе основания, так, словно всегда это делал. Единственная разница в этой платформе основания было то, что она реально отслеживала движение звезд. Цена за это устройство было относительно небольшой в сравнении с тем, что больше не требовалось лишний раз взбираться на лестницу.

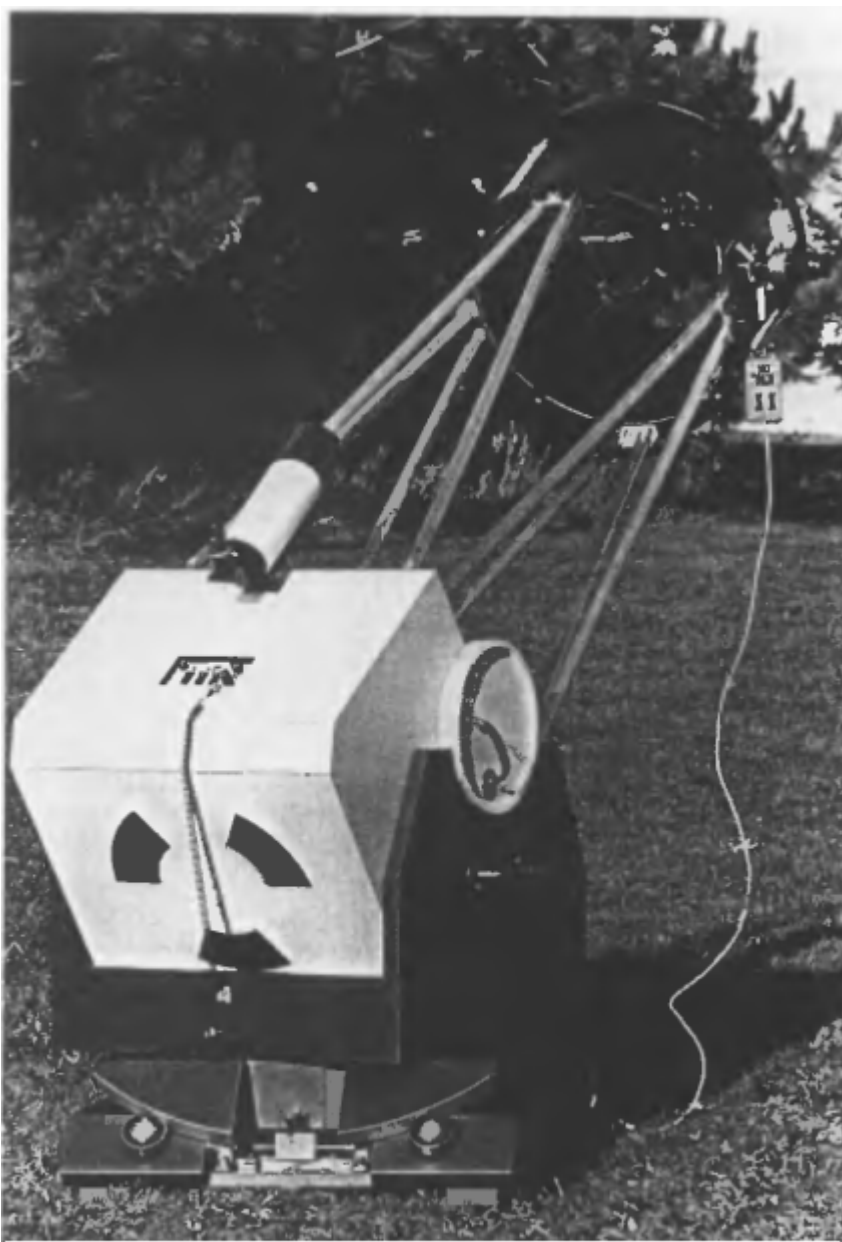


Рис.D.2. В экваториальной платформе Питера Шмитка, стационарные ролики поддерживают арку цилиндрического диска. Эта конструкция может вынести более тяжелые телескопы, чем другие предшественники, но основная нагрузка все равно сосредоточена на роликах.

Вообще-то, есть множество разных способов построить экваториальную платформу, однако все платформы должны иметь три основных компонента:

1. Поддерживающая плата.
2. Качающаяся плата.
3. Система управления.

Поддерживающая плата остается на земле, качающаяся плата находится сверху, а моторы в системе управления двигают качающуюся плату. В разных дизайнах, детали вращения, шарикоподшипники, сегменты полюсных дисков, наклонные плоскости, устройства и ролики различаются. Они могут устанавливаться на поддержку или внизу качалки.

Например, оригинальный дизайн Понсета имел центр вращения и наклонные плоскости, но в 1988 году другой французский любитель, Жорж де Отум продемонстрировал платформу без центра

вращения, которая поворачивалась на держателях, которые держали концентрические конусы, установленные снизу платы качалки. Любитель астроном Энди Саулайтис создал компанию DIG Inc, для изготовления собственного варианта платформ без центра вращения.

Другой астроном любитель, Том Осиповски, потратил много лет, чтобы совместить дизайн Понсета с достоинствами, предложенными Аланом Ги. Дизайн Ги имел центр вращения и два держателя, установленных на поддерживающей плате, а полюсная ось и сегмент полюсного диска установлена внизу платы качалки. Дизайн Осиповски подходил для управления большими и тяжелыми телескопами с высокой точностью. На механических принципах платформы Ги, как подковообразность, был установлен телескоп 200-мм телескоп Хэйл на горе Паломар. Подкова это урезанная снизу до арки и прикрепленная внизу платформы — этого вполне достаточно, чтобы получить один час точных наблюдений. Остальная структура была не заимствована, и перешла в Добсониянцы, где стала поддерживать качалку.

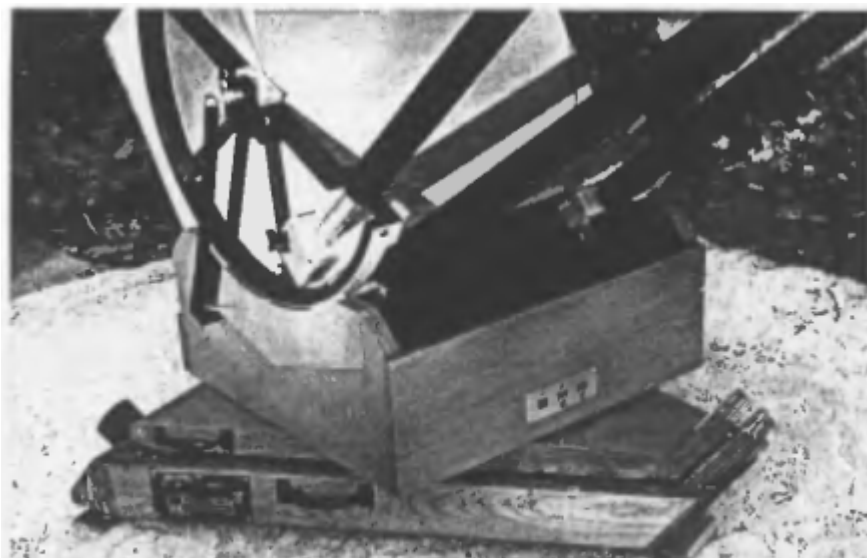


Рис.D.3. В дизайне Тома Осиповски, коническая поверхность держателя движется на горизонтальных роликах. Это позволяет разместить устройство более низко и ближе к земле. Этот дизайн способен нести тяжелую нагрузку и точно отслеживать объект в течении часа.

В дизайне Осиповски, поддерживающая плата находилась на земле, как обычная платформа основания Добсониянца. В северном конце были два роликовых держателя, установленных под углом высоты, в южном конце, один держатель, для вращения, для оси полюса. Вместе, эти держатели несли на себе качающуюся плату. Качающаяся плата вращалась вокруг южного держателя. Два северных держателя двигались частично по подкове, прикрепленной внизу платы качалки.

Качающаяся плата двигалась на поддерживающей плате. Кривой сектор, прикрепленный к качающейся плате был наклонен под углом высоты, сектор это все, что осталось от подковы. Вращающаяся плата поворачивалась под углом в 15 градусов, что обеспечивало один час наблюдений.

Осиповски использовал систему управления, основанную на трении. Оставшийся сегмент подковы имел радиус в 25 дюймов и находился на двух роликах. Для достижения высокой точности отслеживания, использовались два мотора с уменьшенной скоростью с зубчатой передачей, предварительно нагруженной при каждом новом повороте ролика, на которых находилась подкова. Шаговые моторы управлялись небольшим компьютером, вмонтированным в небольшое углубление поддерживающей платы. Компьютер управлял моторами с разной скоростью в соответствии с вручную установленными данными.

Для достижения точности перемещения, необходимой для астрофотографии Осиповски установил небольшой мотор, который поднимал или опускал южную Тefлоновую подушку. Это позволяло двигать телескоп при небольшом наклоне в 20 градусов с каждой стороны меридиана, что как раз необходимо для управляемой фотографии с длинной выдержкой.

Конструирование экваториальных платформ это не тривиальный проект. В идеале вы должны быть опытным мастером по работе с деревом и при этом иметь хорошо экипированную мастерскую, где должны быть по меньшей мере, циркулярная пила, фрезерный станок, мощная сверлильная установка и ножовка. Пока экваториальная платформа остается сложной в изготовлении, но все же моторизированная платформа стоит того. Для любого, кто проводил наблюдения с большим

Добсоньянцем в полную силу будет шоком впервые увидеть, что объекты не двигаются и находятся неподвижно в центре поля зрения. Затем начинает приходить мысль: «Эй, а я ведь теперь могу расслабиться и действительно начать наблюдения!»



Рис.D.4. Том Осиповски сделал эту фотографию, используя собственную платформу, 16-дюймовый f/5 Ньютонанец, 5 минут (неуправляемой) выдержки на пленке Эктар 1000. Заметьте, насколько правильной формы звезды.

## Послесловие.

С тех пор, как Джон Добсон сконструировал свой первый телескоп, Добsonianец прошел действительно замечательную эволюцию. Телескопы, которые мы описали в этой книге обладают выдающимися характеристиками и вмещают в себя все лучшее, что было придумано поколением астрономов любителей. Любой, кто будет строить телескоп, основываясь на идеях, описанных в этой книге, обязательно будет рад результату. Однако, мы понимаем, что эволюция еще не завершилась и будет продолжаться в будущем. Неизбежно, астрономы любители будут улучшать свои телескопы и экспериментировать, открывать новые способы постройки лучших телескопов. Экзотические материалы могут лучше подойти чем Пирекс, все диэлектрические высоко отражающие поверхности могут стать нормой, а пластики с низким трением и лучшей способностью прилипать чем то, что мы имеем сегодня могут изменить наши представления о Stardust-Тефлоновых держателях. Однако, как мы думаем есть пять основных направлений любительского телескопостроения, которым любители должны уделить максимальное внимание: большие апертуры, новые оптические системы, автомобильные зеркала, улучшение дизайна зеркальной клетки и компьютерное управление основанием телескопа.

### Послесловие 1: Большие апертуры.

Спустя несколько лет, после открытия концепции, большие телескопы Добсона перешли через до-Добsonianский «16-дюймовый барьер» и достигли неслыханной апертуры в 24 дюйма. Когда Добsonianец лишился своей сплошной трубы, пик апертур достиг 30-ти дюймов, затем 36-ти, и в итоге достиг оптического лимита любительских телескопов в 40 – 41 дюйм. При этом размере возникает много скрытых факторов: сложность найти большие заготовки для стекла, время и стоимость шлифовки зеркала, растущая проблема веса и длины и сложность установки и использования законченного телескопа.

Есть одна потенциальная дорога, по которой можно пойти это быстрые зеркала. Мы можем видеть любительские или коммерческие попытки сделать зеркала с диафрагменным числом в  $f/3.5$  и даже  $f/3.0$  — диафрагменное число, которое уже устарело десятилетия назад в больших профессиональных телескопах. Всего несколько любителей пытались пройти через «40-дюймовый барьер», поскольку такие зеркала довольно сложно сделать, но само осознание владением 50-ти дюймовым Добsonianцем может стать сильным стимулом. Число инструментов, которые изобретаются для больших апертур бесконечно, смотрите за теми любителями, которые изучают как делать быстрые зеркала.

### Послесловие 2: Новые оптические системы.

Желание наблюдать при помощи большого телескопа и при этом стоять на земле заставляет многих любителей искать новые варианты оптического дизайна. Например, в свернутой постройке Ньютонианца в поздних 80-х Лос Анджелеским Астрономическим обществом использовалась 10-дюймовая плоскость чтобы доставить изображение до окуляра этого 31-дюймового телескопа вниз к уровню глаз. Астрономы любители традиционно предпочитают избегать формирования, установки и настройки Кассегриановских или Грегориановский вторых зеркал — даже удобное расположение окуляра не окупает всех сложностей. Представьте себе, что вы смотрите через 40 мм Паноптический окуляр, расположенный в фокусе Нэйсмита 40-дюймового  $f/8$  Кассегриана, наслаждаетесь видом звезд при 200 кратном увеличении и выходном размере зрачка всего в 5 мм! Несмотря на все сложности, по этой причине хочется верить, что не все будущее Добsonianца станет Ньютонианским.

### Послесловие 3: Автомобильные зеркала.

Сегодняшние большие Добsonianцы имеют тонкие главные зеркала, поскольку толстые зеркала весят слишком много для портативных телескопов. Однако, эти тонкие зеркала очень эластичны. Если его не установить должным образом на плавающую зеркальную клетку, эти зеркала

сгибаются под собственным весом. Однако, изготовление зеркал из соответствующих «автомобильных» заготовок может позволить достичь того, что зеркала будут более легкими и прочными чем нынешние зеркала. Один астроном любитель, который сделал телескоп с автомобильным стеклом это Джон Вогт. Он обработал, отполировал и сформировал свое пионерское 30-дюймовое f/4 зеркало из заготовки, произведенной Корпорацией Хекс-Тек. Зеркало толщиной в 4 дюйма весит всего 40 фунтов, поэтому оно намного прочнее, чем типичные «тонкие» зеркала. Передняя и задняя поверхности зеркала 1/2-дюйма толщиной, а внутренность заготовки имеет клеточную структуру с 3/8-дюйма толщиной. Углубления в центральной клетке позволяют воздуху циркулировать, поэтому зеркало быстро охлаждается.

Как пионер в работе с подобным материалом Джон столкнулся со множеством значительных трудностей в формировании зеркала, поскольку эластичная структура имела тенденцию «отпечатывать» тонкую переднюю сторону заготовки. Однако он упорно преодолел все сложности и заставил зеркало превосходно работать в своем телескопе. Хотя быть может мы и забегаем вперед, но автомобильные заготовки для более легких и прочных зеркал это другая сторона для исследований.

#### **Послесловие 4: улучшение дизайна Зеркальной клетки.**

Плавающая зеркальная клетка относит нас еще к 1830-ым и 40-ым годам, когда великий Английский астроном любители Лорд Росс и Уильям Лассел строили большие телескопы. Лассел использовал рычаги для управления своими зеркалами. Величайший триумф Лассела был в известном 48-дюймовом рефлекторе, установленном на острове Мальта в 1861 году. Аналогично Лорд Росс установил зеркальный телескоп на 72 дюйма в замке Бара на 81-точечную клетку, а один из его 36-дюймовых телескопов выглядит удивительно похожим на 27 точечную клетку, описанную в этой книге. Однако, для американских телескопостроителей, статья Джона Хиндла, озаглавленная «Механическое плавание зеркал», стало источником самых частых консультаций телескопостроителей. В статье Хиндл указывает: «Зеркало должно лежать на саморегулируемых поддерживающих устройствах, геометрически симметричных ... каждая одинаковой формы и веса». Это было основным пониманием того, что зеркало должно разделяться на зоны равной площади и, как следствие, равные по весу.

За почти сорок лет эта формулировка оставалась неизменной, пока астроном любитель Ричард Шварц не начал моделировать зеркальные клетки, используя дешевую студенческую версию, программы математического анализа. Он скоро открыл, что площади, веса и удерживающие силы не должны быть равны и затем, он обнаружил, что инженерные испытания, проведенные в 1982 году на 10-метровом телескопе Кека доказали его предположения.

Вскоре Шварц обнаружил, что он может разработать клетку, которая будет превосходить клетки, основанные на формуле Хиндла и, что он может разрабатывать превосходные клетки, которые имеют другие точки чем у Хиндла. Несмотря на то, что плавающая клетка, основанная на формуле Хиндла работала вполне отлично, он был лучшим из возможных. Когда эта книга готовилась в печать новый дизайн еще не был построен и поэтому не проверен, но доказательство того, что зеркальная клетка может иметь новый дизайн должно привлечь на себя внимание.

#### **Послесловие 5: Компьютерно контролируемые основания.**

Контроль телескопов при помощи компьютера, едва ли является новой идеей. После 1930-го года, каждый, уважающий себя профессиональный телескоп был оснащен определенным автоматическим контролем, хотя и при помощи старых инструментов, данный вариант был аналогом современных компьютеров. Широкое распространение компьютеров последовало после представления DEC PDP-8, «недорогого» миникомпьютера с 100 Кгц Процессором и 4 килобайтами постоянной памяти. Двадцать лет спустя, всего лишь несколько профессиональных телескопов остаются не компьютеризированными.

Компьютерно контролируемый Добсониянец вошел в любительскую астрономию в конце 80-х годов. Выдающийся ранний пример этому был Дэвид Гедалия с 10-дюймовым f/4.5 телескопом, управляемым Atari 800XL, компьютером, представленным в 1987 году на Ривесайдской конференции телескопостроителей. При помощи Атари, управляющим высотным и азимутным моторами,



телескоп способен был автоматически настраиваться по координатам, введенным с клавиатуры компьютера. Дэвид был студентом третьекурсником инженером, когда сделал этот телескоп.

Затем, в 1989 году «Небо и Телескоп» опубликовало краткую статью о японском любителе по имени Тошими Таки, который придумал новый метод ориентирования телескопа поиском двух звезд. Программное обеспечение Таки использовало матричный метод, для представления координат, убирая таким образом значительное математическое препятствие, которое мешало многим кто хотел бы сделать компьютерно управляемый телескоп. Совсем недавно любитель астроном Мэл Бартелс показал способ полного компьютерного контроля, распространив свои идеи в Интернете с другими астрономами по всему миру. В прототипе Мела, построенным в домашних условиях 20-дюймовом Добсоньянцев, ноутбук управляет шаговыми моторами по высоте и азимуту с точностью до 1 арксекунды, которая точно соответствует требованиям необходимым для фотографии.

Поскольку весь проект целиком — включая механический дизайн, электронную начинку и программа — были «опубликованы» в Интернете, Мел получил совет и помощь от электронщиков и экспертов программистов, как улучшить основной дизайн. Довольно ясно, что компьютерный контроль Добсоньянцев в будущем станет повсеместным и будет развиваться дальше. Даже если в эту технологию будет вовлечено не много любителей, то в конце 90-х ситуация изменится, микрокомпьютеры станут дешевле и доступнее.

В одиночку мы, любители телескопостроители не продвигаем искусство телескопостроения слишком значительно. Однако общие усилия астрономов позволили сильно изменить любительскую астрономию за последние два десятилетия. Эта книга является неизбежным отпечатком времени, описывающая телескопы на текущей стадии развития. И, несмотря на то, что никто не может предсказать, что будет, я уверен, что Добсоньянцы будут продолжать развиваться и все мы будем участвовать в этой революции.