

Д.Д. Максудов

**Теневые методы
исследования оптических
систем**

**Москва
«Книга по Требованию»**

УДК 52
ББК 22.6
Д11

Д11 **Д.Д. Максutow**
Теневые методы исследования оптических систем / Д.Д. Максutow – М.: Книга по Требованию, 2024. – 170 с.

ISBN 978-5-458-37427-9

Настоящая работа рассматривает своеобразный метод оптического исследования, предложенный 75 лет тому назад Л. Фуко. За это время этот метод не только не устарел, но оснатился различными видоизменениями и усовершенствованиями и пустил корни во многие прикладные области знания. С течением времени сфера применения теневого метода расширяется: в теневом методе может быть заинтересовано не только оптическое производство, но и оптическое стекловарение, и аэродинамика, и метеорология, и теплотехника, и баллистика, и другие специальные отделы техники и науки. По причинам, простительным для узкого специалиста, я собираюсь излагать материал лишь применительно к области исследований оптического производства, да и здесь я буду ближе всего касаться вопросов исследования астрономической оптики, наиболее мне близкой. Все же я хотел бы надеяться, что и физик, и техник, и работник той или иной заводской лаборатории, и астроном смогут отсюда извлечь, если и не исчерпывающие сведения, то хотя бы некоторые намеки и указания для своих работ.

ISBN 978-5-458-37427-9

© Издание на русском языке, оформление
«YOYO Media», 2024

© Издание на русском языке, оцифровка,
«Книга по Требованию», 2024

Эта книга является репринтом оригинала, который мы создали специально для Вас, используя запатентованные технологии производства репринтных книг и печати по требованию.

Сначала мы отсканировали каждую страницу оригинала этой редкой книги на профессиональном оборудовании. Затем с помощью специально разработанных программ мы произвели очистку изображения от пятен, клякс, перегибов и попытались отбелить и выровнять каждую страницу книги. К сожалению, некоторые страницы нельзя вернуть в изначальное состояние, и если их было трудно читать в оригинале, то даже при цифровой реставрации их невозможно улучшить.

Разумеется, автоматизированная программная обработка репринтных книг – не самое лучшее решение для восстановления текста в его первозданном виде, однако, наша цель – вернуть читателю точную копию книги, которой может быть несколько веков.

Поэтому мы предупреждаем о возможных погрешностях восстановленного репринтного издания. В издании могут отсутствовать одна или несколько страниц текста, могут встретиться невыводимые пятна и кляксы, надписи на полях или подчеркивания в тексте, нечитаемые фрагменты текста или загибы страниц. Покупать или не покупать подобные издания – решать Вам, мы же делаем все возможное, чтобы редкие и ценные книги, еще недавно утраченные и несправедливо забытые, вновь стали доступными для всех читателей.

ПРЕДИСЛОВИЕ.

Настоящая работа рассматривает своеобразный метод оптического исследования, предложенный 75 лет тому назад Л. Фуко. За это время этот метод не только не устарел, но оснастился различными видоизменениями и усовершенствованиями и пустил корни во многие прикладные области знания.

С течением времени сфера применения теневого метода расширяется: в теневом методе может быть заинтересовано не только оптическое производство, но и оптическое стекловарение, и аэродинамика, и метеорология, и теплотехника, и баллистика, и другие специальные отделы техники и науки.

По причинам, простительным для узкого специалиста, я собираюсь излагать материал лишь применительно к области исследований оптического производства, да и здесь я буду ближе всего касаться вопросов исследования астрономической оптики, наиболее мне близкой.

Все же я хотел бы надеяться, что и физик, и техник, и работник той или иной заводской лаборатории, и астроном смогут отсюда извлечь, если и не исчерпывающие сведения, то хотя бы некоторые намеки и указания для своих работ.

15/IX 1933 г.
Государственный
оптический институт.

Д. Максutow.

в виде точки же, так как в силу диффракции точечное изображение обращается в кружок, окруженный кольцами быстро убывающей интенсивности; при этом размеры диффракционного изображения и определяемая ими разрешающая сила системы прежде всего зависят от длины волны лучей, создающих изображение, и от апертуры системы.

Эта теоретическая разрешающая сила системы снижается в большей или меньшей степени аберрациями. Пока аберрации велики, т. е. пока мы далеки от получения диффракционной картины изображения, — уменьшение аберраций влечет за собою соответственное повышение разрешающей силы системы; но когда поперечные аберрации достигают того же порядка, что и поперечник диффракционного кружка, мы начинаем асимптотически приближаться к теоретической разрешающей силе системы, и наступает такой момент, когда практически нельзя уже обнаружить снижения разрешающей силы из-за остающихся неисправленными аберраций. В этом случае система может быть названа *первоклассной*, и замечательно то обстоятельство, что при этом ошибка волновой поверхности (отклонение волновой поверхности от сферы), измеренная в долях той световой волны, в которой мы наблюдаем изображение, оказывается величиной постоянной независимо от диаметра и фокусного расстояния системы.

Само собою понятно, что момент наступления практического совершенства изображения в действительности является интервалом, в достаточной мере субъективным и растяжимым; а потому и критерий первоклассной системы не может быть задан некоторой строго определенной величиной ошибки волновой поверхности: его величина будет зависеть от нашего условия, какое качество изображения считать практически совершенным.

Государственный оптический институт установил своим

критерием первоклассной оптической системы наибольшее отклонение волновой поверхности от сферы равно 0,1 световой волны:

$$\Delta h = 0,1 \lambda, \quad (1)$$

Это значит, что для первоклассных зеркал допустимо максимальное отклонение формы их поверхности от заданной теоретической: $\Delta h = 0,05 \lambda$; для преломляющей поверхности, с показателем преломления среды $n = 1,5$, $\Delta h = 0,2 \lambda$. Далее, при переходе от лучей одной длины волны к лучам другой длины волны определение класса данной системы изменяется.

Из приведенных выше рассуждений следует, что исследование и контроль полируемых оптических поверхностей производится с исключительно высокой точностью. Если мы желаем измерять ошибки поверхности зеркала в $0,05 \lambda$, то наш метод исследования должен обладать еще большей чувствительностью. Я в своих работах стремлюсь их измерять с точностью до $0,01 \lambda$, что в переводе на метрические меры соответствует чувствительности измерения ошибок поверхности зеркала в $0,000005$ м.м для лучей зеленого цвета.

Достигнув подобий исключительно высокой чувствительности оптического исследования, мы разрешаем проблему получения первоклассных систем лишь наполовину, предоставляя вторую половину искусству мастера, полирующего поверхности под контролем того или иного высокочувствительного метода испытания. Совершенно очевидно, что, как бы ни было высоко искусство мастера-оптика, получение первоклассных оптических систем оказалось бы невозможным без наличия соответственной методики их исследования.

Эти исследования необходимы не только для контроля уже готового оптического изделия, но в них прежде всего нуждается мастер в процессе исправления ошибок по-

верхностей (ретушь). Подобные рабочие испытания производятся многократно в течение каждого дня работы, а потому методика исследования должна быть весьма простой, скорой и наглядной для лица, производящего ретушь.

Если исследование сравнительно небольших оптических изделий в достаточной степени обеспечено принятой в производстве методикой, то с исследованием крупной оптики, в частности астрономической, далеко не так благополучно. В этой области еще не наметилось строго установленной методики. Так как крупные астрономические инструменты являются своего рода униками и их изготовлением занят весьма ограниченный круг специалистов, то и методика исследования подобных инструментов носит в большинстве случаев индивидуальный и субъективный характер.

Излагая в настоящей работе сущность теневых методов, я имею прежде всего в виду их приложение к исследованию крупной оптики, в частности астрооптики. В этой области теневые методы имеют целый ряд несомненных преимуществ перед другими методами исследования, с чем, кажется, вполне солидарно большинство крупных мастеров последнего времени. В качестве рабочего метода испытания теневой метод является прямо таки незаменимым, так как дает мастеру исчерпывающую, весьма наглядную картину полируемой поверхности и позволяет быстро и уверенно исправлять наблюдаемые ошибки, о ничтожно малой величине которых мы уже говорили выше. .

У теневого метода есть еще одно необыкновенно ценное преимущество: он позволяет нам наблюдать форму оптической поверхности тотчас же после полировки, пока стекло еще не остыло. При этом мы наблюдаем, как отдельные участки поверхности или зоны, охлаждаясь постепенно, оседают всё ниже и ниже их прежнего уровня, как поверхность на наших глазах меняет свою форму

и после полного остывания (отстойки) приобретает некоторую постоянную форму, часто ничего общего не имеющую с той первоначальной, которую мы наблюдали тотчас же после полировки. Такая игра остывающей на наших глазах поверхности позволяет нам судить о полировальном режиме, т. е. о температурных распределениях на полируемой поверхности, об интенсивности полировки на отдельных участках и зонах полировальника, о рациональности избранных нами движений (штрихов) на станке и т. д.

Поэтому опытному мастеру нет необходимости всякий раз выжидать полной отстойки, что измеряется для больших линз и зеркал многими часами. Наблюдая картину первоначальных видоизменений формы поверхности, опытный мастер может экстраполировать эту картину, достаточно хорошо предсказать конечный результат после отстойки и, во всяком случае, почувствовать, в каком направлении следует изменить режим полировки, чтобы ошибки поверхности уменьшались. Только при самых последних штрихах ретуши мастер дает стеклу полную отстойку, после которой производит исследование, по существу скорее контрольное, нежели рабочее.

Такое преимущество теневого метода ценно по двум причинам: во-первых, получается большая экономия во времени, во всяком случае на том этапе работы по ретуши, когда ошибки поверхности еще достаточно велики; во-вторых, имеется возможность быстро возобновлять полировку еще не остывшим и не успевшим деформироваться полировальником: полировальник, так сказать, притерт еще всю поверхность к стеклу, он еще достаточно эластичен, на нем еще не образовались отдельные морщинки и бугорки, которые в случае остывшего полировальника первыми начинают полировать стекло, производя на нем трудно изгладимые борозды и повышая риск получения царапин.

В настоящей вводной части мы, пока-что бездоказательно, привели несколько преимущественных свойств теневого метода и сделали, опять-таки бездоказательно, ту предпосылку, что теневой метод является наилучшим методом исследования крупной оптики (астрооптики).

Весь дальнейший материал посвящен изложению основ теневого метода, его видоизменений и усовершенствований, и его приложения к исследованию оптических зеркал, линз, объективов и оптического стекла.

Глава 2.

МЕТОД ФУКО.

В 1858 году Леон Фуко предложил новый оптический метод исследования *. Этим открытием великого физика было положено начало расцвету крупной и точной астрономической оптики, который привел нас к гигантским телескопам последнего времени до $2\frac{1}{2}$ м в диаметре и к смелым планам самого последнего времени—постройки еще более мощных инструментов 5- и даже 10-метрового поперечника.

Телескопы диаметром в 1 м и более существовали и ранее, однако качественно они были невысоки.

Такие мастера-художники, как В. Гершель, Дрэпер, Лассел и Росс, шлифовали и раньше большие параболические зеркала для телескопов, но при этом они располагали весьма несовершенной методикой исследования, а потому у них были чрезвычайно малые шансы на получение первоклассного инструмента. Зеркало могло оказаться первоклассным лишь в результате счастливой случайности. К сожалению, мы не располагаем материалом количественного исследования зеркал старых мастеров. Есть основания утверждать, что их зеркала были далеки от требуемого совершенства формы поверхности.

Первой причиной к тому являлось отсутствие надлежащей высокочувствительной методики исследования. Старыми мастерами широко практиковалось исследование по звездам зеркала телескопа или объектива рефрактора. Однако, строго говоря, оно не может считаться

* *L. Foucault, Ann. de l'observ. Paris, V, 1858.*

рабочим исследованием, так как на выжидание спокойных изображений неминуемо должны тратиться многие недели и месяцы, а при плохих изображениях, т. е. при неблагоприятных атмосферных условиях, невозможно заключить о качестве инструмента: в этом случае чувствительность исследования слишком мала, и ошибки оптики изучаются на фоне быстро сменяющихся искаженных картин волновой поверхности, вызванных проходящими на пути лучей атмосферными волнами с переменным показателем преломления.

Периоды хороших изображений для больших телескопов настолько редки и непродолжительны, что, если базироваться на них для целей рабочего исследования оптической системы по звездам, — работа по ретуши подобной системы неминуемо должна затянуться на долгие годы или, вернее, на время совершенно неопределенное. Кроме того, при этом может оказаться, что атмосферные условия того пункта, где производится полировка оптических деталей, вообще никогда не бывают хорошими и даже удовлетворительными. Наконец, при исследовании оптической системы по звездам мы лишаемся возможности производить исследование при постоянной температуре. Непостоянство температуры влечет за собою деформации стекла, что заметно снижает качество изображения.

Все это приводит нас к необходимости производить исследования в лабораторной обстановке и получать в такой обстановке первоклассные системы независимо от того, как они поведут себя в условиях практической работы.

Здесь нам могут возразить, — такие возражения делались неоднократно, — что, если земная атмосфера является таким серьезным препятствием для получения хороших изображений, то быть-может и не следует стремиться к осуществлению первоклассной оптики в больших теле-

скопах. Может-быть условия практической работы больших инструментов таковы, что первоклассная их оптика является излишней, не оправдывающей себя роскошью?

Такую точку зрения приходится отвергнуть и притом самым категорическим образом. Во-первых, для больших инструментов подыскиваются на земном шаре пункты с наилучшими атмосферными условиями (во всяком случае, как правило, лучшими, нежели атмосферные условия того пункта, где расположены оптические мастерские, занятые выполнением и исследованием оптики будущего инструмента). Кроме того, с течением времени может быть найден пункт с еще более совершенными атмосферными условиями, куда есть основания перенести инструмент лишь в том случае, если оптика его достаточно совершенна. Во-вторых, пусть в избранном для обсерватории пункте хорошие изображения чрезвычайно редки... Но хоть раз в месяц, хоть раз в год, хоть раз в десять лет может же встретиться хотя бы и весьма короткий отрезок времени, в течение которого состояние атмосферы будет „первоклассным“. За этот небольшой промежуток времени мы можем лишь у первоклассного инструмента использовать всю его разрешающую силу, получить изображения, недоступные по качеству другим менее совершенным инструментам, и хотя бы за самый короткий миг успеть приподнять завесу над вопросами, до сих пор не разрешенными. Одна минута подобных наблюдений может оказаться значительно более ценной и плодотворной, нежели долгие годы наблюдений при посредственных изображениях. Такую минуту мы должны предусмотреть и для этого выполнять оптику инструмента первоклассной.

Особо важный смысл приобретают такие минуты при изучении деталей планет. При составлении карты паутинных деталей на Марсе Скиапарелли и Ловел пользовались именно этими краткими мгновениями хороших изображений. Оставляя в стороне вопрос о сущности, кивован

Марса и не вдаваясь в критику наблюдений Скиапарелли, Ловела, Антониади и др., мы можем только пожалеть, что они не располагали мощными первоклассными инструментами, так как большие рефракторы при современном положении вещей не могут быть выполнены в виде первоклассной оптической системы. Спор об истинной сущности образований на поверхности Марса ждет еще своего

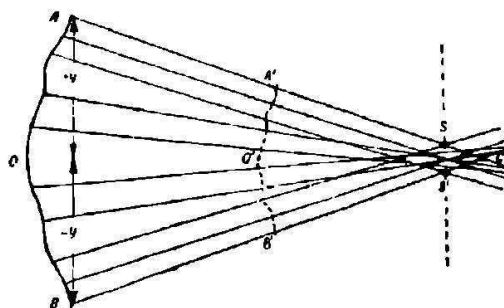


Рис. 1.

разрешения с помощью большого рефлектора, обязательно первоклассного и работающего хотя бы в течение отдельных мгновений в первоклассных атмосферных условиях.

Подобное заключение приводит нас к необходимости исследовать крупные оптические детали в лабораторной обстановке, применяя при этом методы высокой чувствительности, наглядные, быстрые и позволяющие мастеру уверенно и в кратчайший срок исправлять наблюдаемые ошибки полируемых поверхностей.

Таким методом, на наш взгляд, является теневой метод, т. е. метод Фуко вместе со всеми усовершенствованиями и надстройками, которыми он оброс к настоящему времени.

Метод Фуко, или метод точки и ножа, чрезвычайно прост по своему принципу:

Представим себе (рис. 1), что от некоторой светящейся точки (искусственной звезды), на рисунке не изображен-