



# Внеосевые параболические зеркала

Из всех типов асферических отражателей наиболее часто в оптических приборах используются именно параболические зеркала. Они лишены сферических aberrаций, поэтому фокусируют параллельный пучок лучей в одной точке или проецируют точечный источник в бесконечность.



Многие оптические системы не требуют использования осесимметричной апертуры. Более того, для некоторых устройств категорически недопустимо затенение траектории лучей центральной частью зеркала. Использование в таких системах внеосевых зеркал вместо осесимметричных обладает несомненными преимуществами.

Внеосевые параболические зеркала в основном применимы в следующих устройствах:

- системы моделирования объекта;
- коллиматоры;
- системы измерения и другие оптические контрольные приборы;
- спектроскопические системы и системы с нарушенным полным внутренним отражением (НПВО, МНПВО);
- радиометры;
- расширители луча;
- системы измерения расхождения лазерных лучей.

## Основные преимущества внеосевых параболических зеркал

Использование приборов с внеосевой оптикой позволяет добиться следующих преимуществ:

- сократить размеры системы;
- сократить массу системы;
- использовать зеркала как клиновидной, так и равнотолщинной конфигурации;
- сократить стоимость системы.

Таким образом, возрастает эффективность и конкурентоспособность приборов.

## Основные параметры внеосевого параболического зеркала

В настоящий момент не существует единой системы обозначений для специфицирования внеосевых параболических зеркал. Различные производители используют различную терминологию для описания одних и тех же параметров изделия. Для вашего удобства мы приводим схематический эскиз внеосевой параболы с используемыми нами условными обозначениями.



Рис. 1 Схема внеосевого параболического зеркала.

## Пояснения

Истинное фокусное расстояние (PFL) - это фокусное расстояние истинной параболы. Форма поверхности параболы определяется как  $Z=R^2/4*PFL$ , где R - это радиальное расстояние от вершины параболы, а Z - сакитальное отклонение поверхности.

Наклонное фокусное расстояние (SFL) - это расстояние между геометрическим центром внеосевого параболического зеркала и фокусом параболы. Эта величина рассчитывается на основании значения истинного фокусного расстояния и наоборот, PFL можно рассчитать, исходя из значения SFL.

Оптическая ось внеосевого параболического зеркала - это линия, параллельная оптической оси истинной параболы и проходящая через геометрический центр оптической поверхности внеосевого параболического зеркала.

Зональный радиус (ZR) - это расстояние между оптической осью истинной параболы и оптической осью внеосевого параболического зеркала.

Внеосевое расстояние (OAD) - это расстояние между оптической осью истинной параболы и внутренним краем внеосевого параболического зеркала. Эта величина рассчитывается, исходя из значения зонального радиуса, и наоборот - значение ZR можно рассчитать, исходя из величины OAD.

К внеосевой параболы может быть прикреплено юстировочное плоское зеркало. Оно крепится перпендикулярно к оптической оси истинной параболы и, соответственно, оптической оси внеосевого параболического зеркала. Его наличие упрощает процедуру юстировки внеосевого параболического зеркала в составе оптической системы.

## Спецификация внеосевого параболического зеркала включает 5 основных параметров:

- PFL (или SFL) - истинное (или наклонное) фокусное расстояние;
- ZR (или OAD) - зональный радиус или внеосевое расстояние;
- CA - световой диаметр;
- SA - точность поверхности зеркала;
- SQ - класс чистоты поверхности.

## Вспомогательные параметры:

- предпочтительные диаметр и толщина - по умолчанию мы принимаем диаметр и толщину = 1/8 диаметра;
- предпочтительный материал - по умолчанию мы предлагаем оптическое стекло ЛК-7 (российский аналог Pyrex);
- тип покрытия - по умолчанию предлагается алюминий с защитой.

## Основные характеристики производимых нами внеосевых параболических зеркал:

- стандартный материал - ЛК-7; по запросу могут быть использованы другие материалы, например, материал Supremax33 (SHOTT), астроситалл (аналог Zerodur), кварцевое стекло или стекло K8 (аналог BK7);
- стандартная точность обработки поверхности составляет: полный размах ошибки (PV) - /8 на 633 нм, среднеквадратическое отклонение (RMS) - /40. Поверхности с большей точностью производятся по запросу;
- стандартное покрытие: защищенный Al; прочие виды металлических покрытий: серебро или золото, а также диэлектрические покрытия наносятся по запросу;
- внеосевой угол составляет до 45 градусов. Типичная величина -5-30 градусов;



# Внеосевые параболические зеркала

- фокусное расстояние - от 150 мм до 12 метров. Типичная величина - 0,5-2метров;
- световой диаметр - до 640мм. Типичная величина - 100-400мм

Все эти параметры взаимосвязаны. Так, большее фокусное расстояние позволяет достичь более высокой точности поверхности зеркала SA, а больший зональный радиус ZR, наоборот, приводит к более низкой точности поверхности SA.

## Документация

К каждому изделию прилагается сертификат, в котором указаны результаты тестирования точности поверхности зеркала SA, чистоты поверхности SQ, данные измерений фокусного расстояния (истинного PFL и наклонного SFL) и внеосевого параметра (зонального радиуса ZR, либо внеосевого расстояния OAD - по желанию заказчика), а также геометрические размеры. К сертификату прилагаются: интерферограмма поверхности, вычисленный профиль ошибок поверхности, а также спектр отражения покрытия. Ниже приводятся типичная интерферограмма поверхности, профиль ошибок поверхности и спектр покрытия (Al+SiO) для зеркала со световым диаметром 8" (204 мм), зональным радиусом 7" (179,6 мм) и фокусным расстоянием 40" (1016 мм).

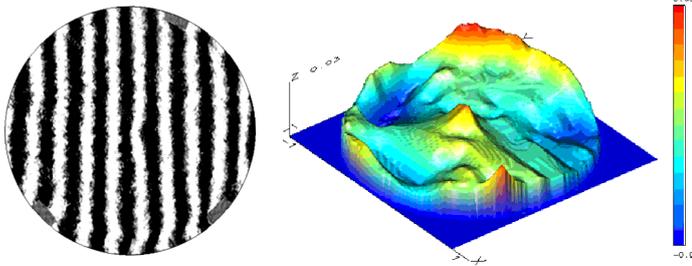


Рис. 2, 3. Типичная интерферограмма внеосевого параболического зеркала. Реконструкция профиля ошибок поверхности.

## Анализ волнового фронта

Единицы измерения деформации: микроны

Длина волны: 0.633

Опорная поверхность: сфера

Неучитываемые aberrации:

Форма зонального распределения: Полиномы Цернике

## Параметры регулярных ошибок

$D = -0.000$   $L_x = 0.000$   $L_y = -0.000$   $C = 0.000$   $RMS(W) = 0.009$   
 $A = 0.013$   $FIA = 41.300$   $PV = 0.025$   $RMS(W-A) = 0.007$   $FA = 0.361$   
 $B_0 = 0.007$   $PV = 0.011$   $RMS(W-Z) = 0.008$   $FZ = 0.137$   
 $B_2 = -0.043$   
 $B_4 = 0.043$   
 $C = 0.020$   $FIC = 5.327$   $PV = 0.013$   $RMS(W-C) = 0.008$   $FC = 0.074$

## Местные ошибки

$PV = 0.037$   $RMS(M) = 0.006$

## Характеристики волнового фронта

RMS	MIN	MAX	PV	STRL	STRH
0.009	-0.023	0.032	0.055	0.998	0.999

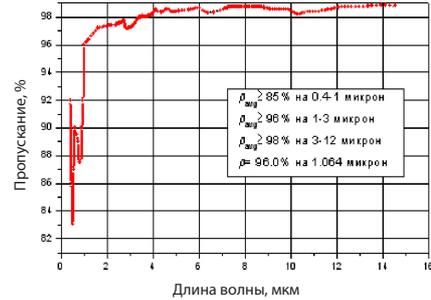
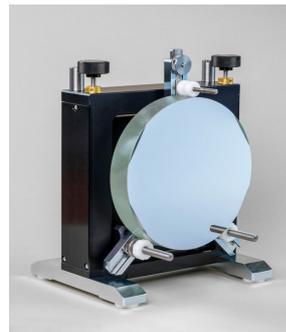


Рис. 4 Типичный спектр отражения для покрытия с защищенным алюминием (Al + SiO).

## Краткое описание и основные преимущества наших технологий

На производстве применяется технология, разработанная в целях поставки больших объемов недорогих внеосевых параболических зеркал и последующего их использования для нужд оборонной промышленности. Традиционно внеосевые параболические зеркала изготавливаются с помощью полировки и разрезания больших осесимметричных параболических зеркал. Этот метод требует необоснованных затрат, особенно, если нужно изготовить всего 1-2 зеркала. Кроме того, в этом случае устанавливаются жесткие ограничения на сочетание фокуса, диаметра и внеосевого расстояния. Другой традиционный способ изготовления - алмазное точение. Его основными недостатками являются ограниченный набор материалов подложки (обрабатываются только металлы), а также низкие класс чистоты и точность поверхности.

Вместо вышеупомянутых методов производства внеосевых параболических зеркал в нашем случае внедрена модернизированная, управляемая компьютером технология полировки и локального ретуширования ошибок поверхности. Она сочетает преимущества обычной полировки (гладкая поверхность и возможность использования обычного стекла в качестве материала подложки) и алмазного точения (возможность производить зеркала без полировки полной параболы). Обработка оптической поверхности проходит в несколько этапов (итераций). После каждой итерации производится интерферометрическое измерение формы поверхности, что обеспечивает точное определение характера и расположения имеющихся ошибок поверхности внеосевого параболического зеркала. Затем информация из интерферометра поступает в компьютеризированное устройство управления полировочной машиной. Оно рассчитывает оптимальные траекторию и скорость вращения/перемещения компактной полирующей головки для ретуширования отдельных участков поверхности. Обычно выполняется около 10 циклов интерферометрических измерений с последующим ретушированием. Безусловно, сложные зеркала требуют значительно большего числа циклов.



## Механические оправы и держатели для внеосевых зеркал

В комплекте к зеркалам предлагается ряд высокоточных держателей и оправ, которые позволяют надежно и точно размещать оптику в рабочей схеме или приборе. Все держатели доступны как в механической, так и в моторизированной версиях. В зависимости от требований заказчика могут быть предложены более точные под-



## Внеосевые параболические зеркала

вижки и винты, стопорные механизмы. По запросу проводится сборка и юстировка зеркала в оправе, контроль точности поверхности без оправы и в ней. В зависимости от размера оптического элемента предлагаются различные типы держателей. Каждый тип оправ и держателей также доступен в вакуум-совместимом исполнении.

**Для зеркал диаметром от 50 до 152 мм** предлагаются оправы с подвижками в горизонтальной и вертикальной плоскостях. Держатели выполнены из стали или алюминиевых сплавов, имеют несколько отверстий М6 для крепления на оптическом столе. Тefлоновые вставки и фиксирующий винт предотвращают повреждение оптики при монтаже и использовании.



Диаметр оптики, мм	50,8	76,2	101,6	152,4
Диапазон юстировок, угл. град.	8	6	5	4
Чувствительность подвижек, угл. сек.	6-3,4	5-2,3	4-1,8	3-1,5

**Для зеркал диаметром до 250 мм** рекомендуется кинематическая прецизионная оправа с трехточечным креплением. Удобно расположенные ручки винтов позволяют поворачивать зеркало в вертикальной и горизонтальной плоскостях. Диапазон поворота  $\pm 1,5^\circ$ , чувствительность 0,5 угловых секунд. Рельсовая система крепления надежно удерживает оптический элемент, а также дает возможность регулировать высоту оптической оси.



**Для оптики размером от 250 мм до 500 мм** предлагается модификация держателя, позволяющая закреплять зеркала весом до 30кг. Диапазон вертикального вращения  $\pm 1,52^\circ$ , горизонтального -  $\pm 1,55^\circ$ . Чувствительность подвижек 1,5 угловых секунд.



**Для крупногабаритных зеркал диаметром свыше 500 мм** разработан специальный поворотный держатель. При отпущенных стопорных винтах оправа имеет возможность поворота зеркала на 360 градусов как вокруг горизонтальной, так и вокруг вертикальной оси. Поворотный столик имеет точную шкалу, что значительно упрощает грубое позиционирование. Для более тонкой настройки предусмотрены высокоточные винты с диапазоном вращения  $\pm 4^\circ$  и разрешением до 3 угловых секунд в обеих плоскостях. Система крепления обеспечивает разгрузку зеркала и не вносит искажения в отраженный волновой фронт. Также данная оправа может быть использована для крупногабаритной астрооптики и оптики высокомоощных лазеров диаметром до 1000 мм.



Благодаря уникальной технологии производства, наша фирма может предложить вам точные оптические компоненты по вполне конкурентным ценам.