

## ЧЕТЫРЕХЗЕРКАЛЬНЫЙ ОПТИЧЕСКИЙ ОБЗОРНЫЙ ТЕЛЕСКОП

С ДИАМЕТРОМ ВХОДНОГО ЗРАЧКА 8 м

**С**егодня в астрономии интенсивно изучается проблема космологической эволюции Вселенной. Ее решение требует глобального обзора звездного неба телескопами с метровыми входными зрачками и угловыми полями в несколько градусов. Однако предлагаемые схемы таких телескопов используют в оптическом тракте линзовые элементы, что сужает возможный рабочий спектральный диапазон. Автор предлагает вообще исключить эти элементы из тракта.

Итак, исследование Вселенной требует глобального обзора неба телескопами с большими входными зрачками и большими угловыми полями. В рамках наиболее выдающегося проекта такого рода – LSST (Large Synoptic Survey Telescope – *большой телескоп глобального обзора*) предполагается создать телескоп с входным зрачком 8,4 м и угловым полем ~10 квадратных градусов [1, 2]. Выбранная разработчиками этого проекта оптическая схема состоит из трех асферических зеркал (рис.1): первичного (M1, диаметром 8,4 м), вторичного (M2, диаметром 3,4 м) и третичного (M3, диаметром 5,0 м), после которого установлен трехлинзовый асферический корректор, обеспечивающий дополнительное исправление aberrаций в угловом поле зрения диаметром ~3,5 градуса (линейный диаметр изображения ~64 см).

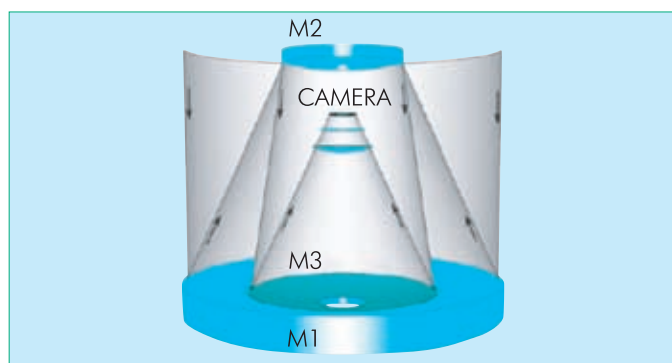


Рис.1 Оптическая схема телескопа LSST

Конструкция телескопа достаточно совершенна, однако наличие в оптическом тракте линзовых элементов неизбежно сужает возможный рабочий спектральный диапазон, поэтому в проекте LSST предусмотрено использование только кремниевых фотоприемника. Между тем, быстрый технологический прогресс в разработке новых типов фотоприемников побуждает искать оптические схемы, имеющие сравнимые с LSST технические характеристики, но не содержащие линзовых элементов.

В данной статье приводится оптическая схема, обеспечивающая достижение этой цели. Общий вид схемы приведен на рис.2.

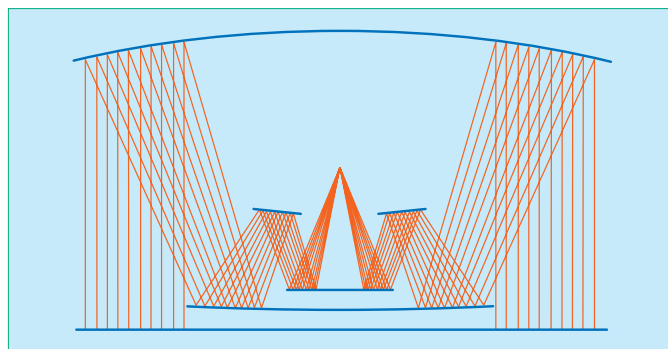


Рис.2 Оптическая схема чисто зеркального телескопа (номера поверхностей возрастают по ходу светового пучка: первый номер – поверхность объекта, последний номер – поверхность изображения)

Таблица 1. Параметры поверхностей

Поверхность	Тип поверхности	Радиус, мм	Расстояние, мм	Тип	Диаметр, мм	Коническая постоянная
Объект	Стандартный	Бесконечность	Бесконечность	–	0	0
Поверхность 1	Стандартный	Бесконечность	4500	–	8235,673	0
Поверхность 2	Четная асферика	-16000	-4200	Зеркало	8024,817	-8,420358
Поверхность 3	Четная асферика	650046,4	1442,746	Зеркало	4850,05	25199,64
Поверхность 4	Четная асферика	18108,17	-1161,224	Зеркало	2862,164	-188,8322
Поверхность 5	Четная асферика	94219,22	1867,711	Зеркало	1931,572	-12374,95
Изображение	Четная асферика	23053,88	–	–	535,2553	-3203,844

Ее структуру можно описать так. Первый каскад, состоящий из главного и вторичного зеркал, представляет собой приблизительный аналог известного предфокального апланатического решения Шварцшильда [3]. Второй двухзеркальный каскад (не имеющий прямых аналогов) является планстигматическим корректором. Дополнительные преимущества полученной схемы – малая осевая длина (~0,5 диаметра входного зрачка) и удобное положение изображения.

Ниже приведены краткие результаты расчета чисто зеркального варианта телескопа с диаметром входного зрачка 8 м, фокусным расстоянием 10,2 м, угловым диаметром поля зрения 3 градуса и среднеквадратичным угловым диаметром абберационного пятна менее 1/3 угловой секунды в пределах всего поля зрения.

**ОСНОВНЫЕ РАСЧЕТНЫЕ ДАННЫЕ ОПТИЧЕСКОЙ СХЕМЫ**

Общее число поверхностей.....	6
Действующая диафрагма.....	на поверхности 2
Диаметр входного зрачка.....	8000 мм
Фокусное расстояние .....	10199,98 мм
Расстояние от последней поверхности до изображения .....	1868,826 мм

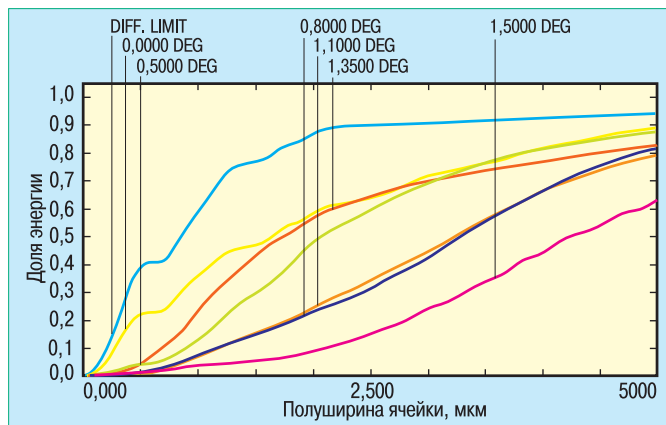


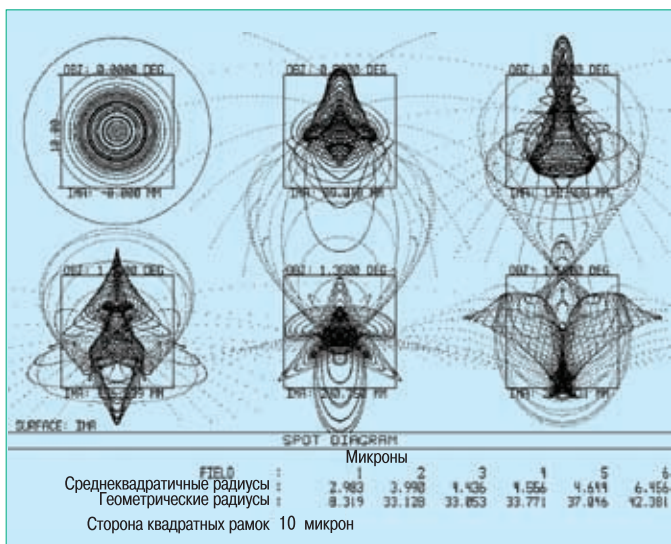
Рис.3 Концентрация энергии в единичной квадратной ячейке

Относительное отверстие ..... 1,274997  
 Угловое поле зрения..... ±1,5 градуса  
 Расчетная длина волны..... 0,55 мкм  
 Основные расчетно-конструктивные данные приведены в табл.1–2. Характеристики качества изображения приведены на рис.3 и 4.

На рис.3 показаны графики концентрации световой энергии в одну квадратную ячейку. Из них следует, что по всему изображению диаметром 535 мм, в ячейку со стороной 10 мкм фокусируется в среднем около 80% энергии от

**Таблица 2.** Коэффициенты уравнений четных асферик

Степени слагаемых	$r^2$	$r^4$	$r^6$	$r^8$	$r^{10}$	$r^{12}$	$r^{14}$	$r^{16}$
Поверхность 2	0	-1,2988828e-13	4,0660726e-21	-2,0511437e-29	-3,2505448e-36	2,9382323e-43	-1,0569476e-50	1,453959e-58
Поверхность 3	0	2,8864832e-12	-2,2105323e-19	1,368473e-26	-1,0232057e-34	-8,9835934e-41	7,6037387e-48	-1,6071666e-55
Поверхность 4	0	9,8517929e-12	-1,6775845e-18	1,8438942e-26	1,5573192e-31	-7,5864432e-38	1,4491692e-44	-7,4660846e-52
Поверхность 5	0	6,09768e-13	-2,2088935e-18	-2,2373843e-24	7,487085e-30	-9,7165658e-36	5,647548e-42	-1,0371674e-48
Изображение	0	2,4807339e-11	6,6830201e-17	0	0	0	0	0



**Рис. 4** Геометрические абберационные фигуры

точечного объекта, то есть во всем изображении содержится  $\sim 2,25 \cdot 10^9$  пикселов.

На рис.4 приведены геометрические абберационные фигуры, их среднеквадратичные радиусы находятся в интервале от 3 до 6 мкм. Весьма сложная структура этих фигур наглядно демонстрирует доминирующую роль аббераций высших порядков и, как следствие, необходимость использования соответствующих асферик.

При проведении расчетов автор использовал программный пакет компании ZEMAX (S/N 11130), за что выражает компании свою признательность.

### ЛИТЕРАТУРА

1. LSST Camera Optics. – Proc. of SPIE, 2006, v.6273, 62730Y.
2. [www.lsst.org/lstt\\_home.shtml](http://www.lsst.org/lstt_home.shtml)
3. **Максутов Д.Д.** Астрономическая оптика. – М.-Л.: ОГИЗ, 1946.