

Всероссийская астрометрическая конференция «Пулково-2015»

Пулково, Санкт-Петербург

21– 25 сентября 2015 г.



ОРБИТАЛЬНАЯ ЗВЕЗДНАЯ СТЕРЕОСКОПИЧЕСКАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ — ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ И ПРИКЛАДНЫЕ ЗАДАЧИ НАУЧНОЙ ПРОГРАММЫ, СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ОЦЕНКИ ПРОЕКТА

М.С.Чубей, В.В.Куприянов (ГАО РАН), А.В.Бахолдин (НИУ ИТМО), В.Н.Львов,
С.Д.Цекмейстер (ГАО РАН), С.В.Маркелов (САО РАН), Г.В.Левко (НИИТВ)

E-mail: mschubey@gmail.com; V.K@bk.ru; bakholdin@ifmo.spb.ru;
epos-gao@mail.ru; markel@sao.ru; levgen@mail.ru

I. Проектируемые конфигурация, оснащение, возможности и состояние проекта

II. Научная программа

- 1. Астрометрия, звездная астрономия и астрофизика*
- 2. Небесная механика и задачи астероидно-кометной опасности*

III. Дискуссия и выводы

- 1. Смысл проекта и «выход», сопоставление*
- 2. Специализация задач*

IV. Заключение

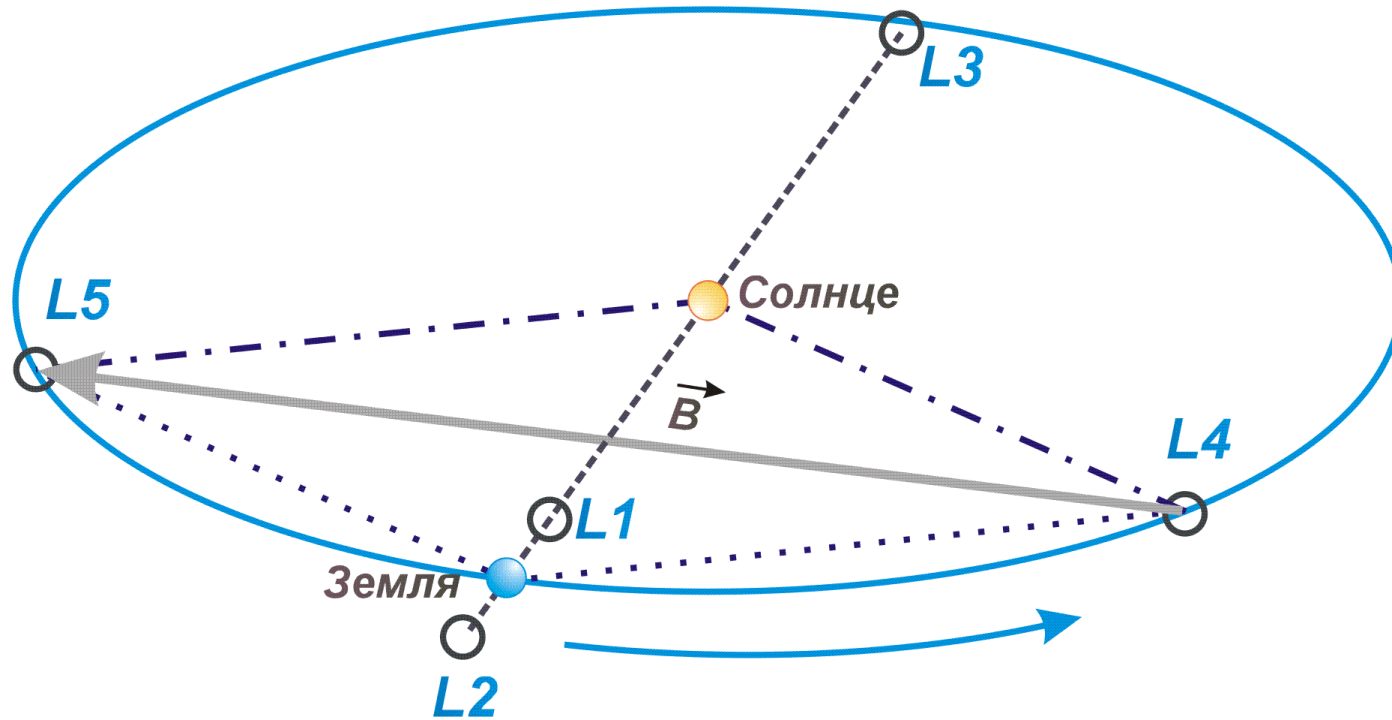


Рис.1. Эксцентриситетные и либрационные вариации (Δ) базы B :

$$B = \sqrt{3} \text{ а.е.} = 259\,807\,621.14 \text{ км}$$

$$\Delta = \left(\frac{1 - \sqrt{1 - e^2}}{\sqrt{3}} + \text{tg } 100'' \right) \text{ а.е.} = 85\,172 \text{ км} = 0.033\% \text{ от базы}$$

Допуски на установку КА: $\Delta RL \leq 1000 \text{ км}$, $\delta VL \leq 0.1 \text{ м/с}$, $\Delta L \sim 30\,000 \text{ км}$
 Контроль вектора базы B радиолучом телеметрии, идущей по сторонам
 $L4 - \text{Земля}$, $L5 - \text{Земля}$, с ошибкой $\sim 1 \text{ км}$, и измерением угла $L4 - \text{Земля} -$
 $L5$ с ошибкой $\sim 0''.003$. Гомановские орбиты перехода. Устойчивость движений
 космических аппаратов в окрестности тригональных центров либрации на интервале в
 160 лет в $10\times$ перекрывает время бортового ресурса.

СТИМУЛЫ

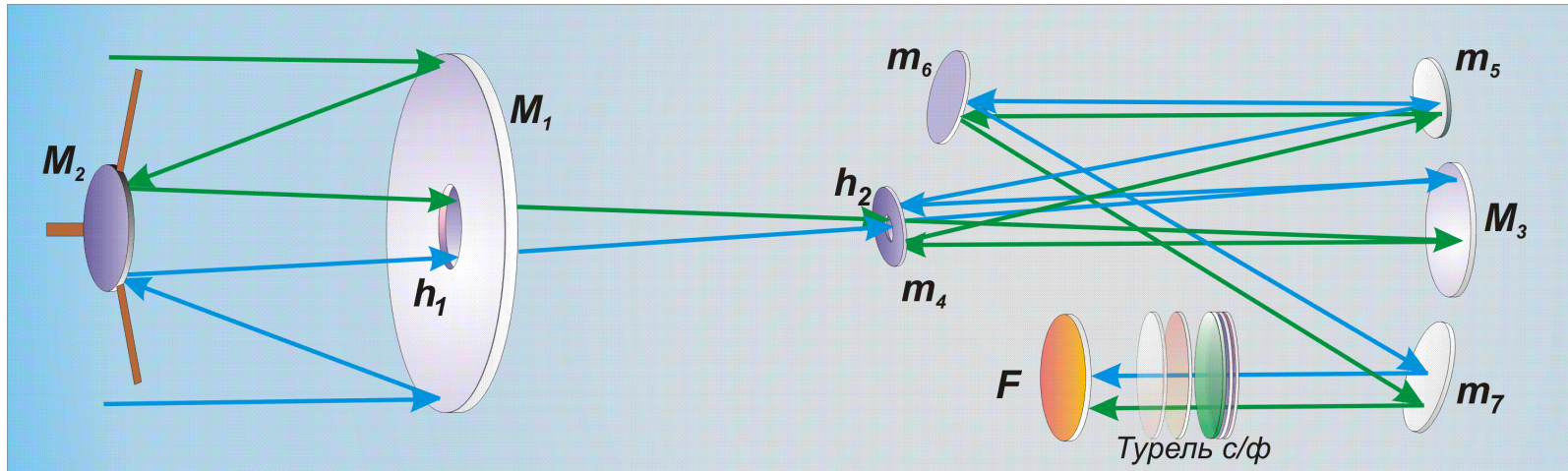
Исходной истиной, движущей разработкой проекта, является факт: более двух веков основные астрономические данные собирались в первую очередь с помощью астрографов различных конструкций.

Выбор инструмента особо важен.

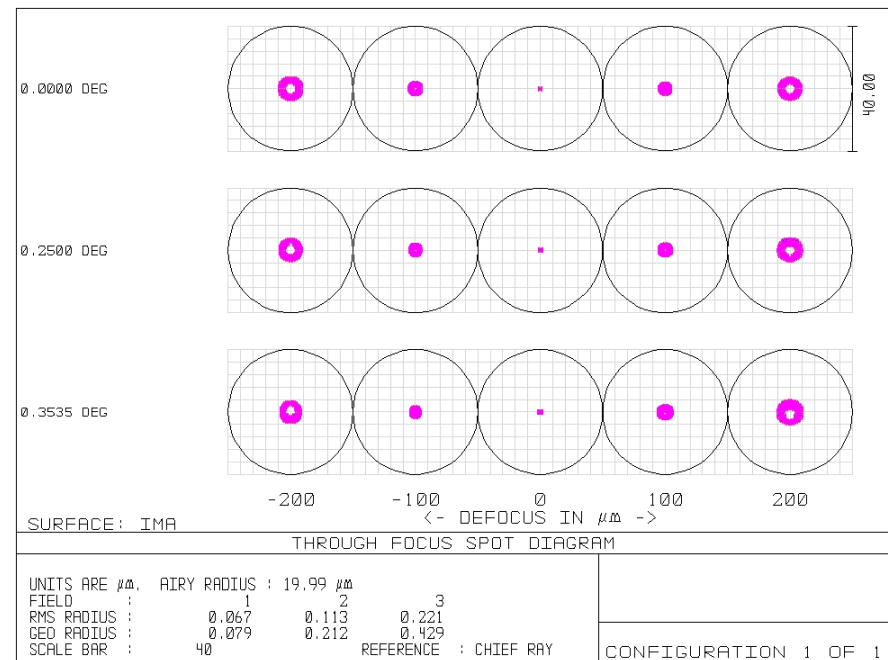
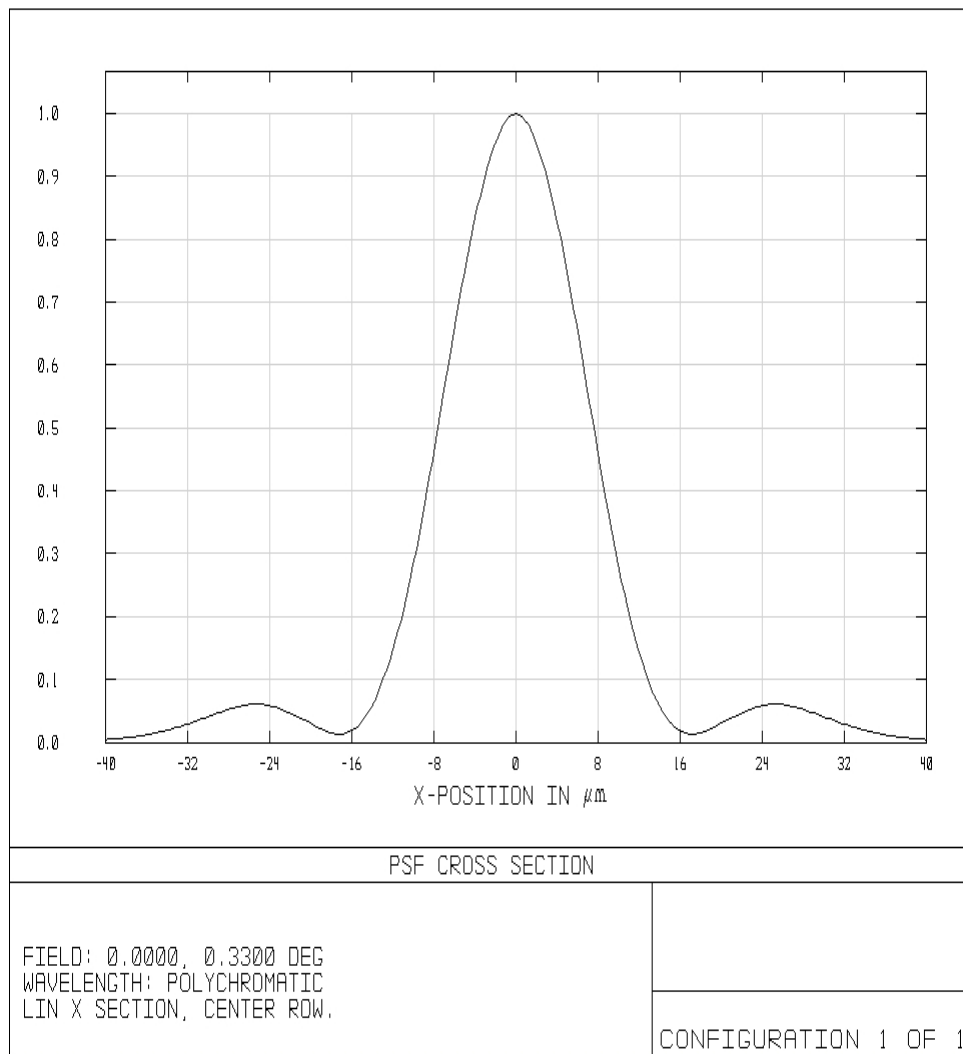
Учитывая отсутствие результатов космических экспериментов в области фундаментальных исследований в России(*), особенно в астрометрии и звездной астрономии, сопоставимых с зарубежными, группа, разрабатывающая ОЗСО, считает, что надо выполнить работу инструментами и методами, хорошо освоенными в наземных условиях, но в космическом исполнении, получить результат, актуальный для науки, по оригинальному проекту, не «плетясь в хвосте» и не повторяя уже сделанного. Усложнять аппаратуру не следует, на борту не должно быть криогеники, но необходим астрограф с предельными свойствами.

(*) Галимов Э.М. **ЗАМЫСЛЫ И ПРОСЧЕТЫ . Фундаментальные космические исследования в России последнего двадцатилетия. Двадцать лет бесплодных усилий.** М.: Едиториал УРСС, 2010. — 304 с.

АСТРОГРАФ: Просчитаны более 40 вариантов центрированной трехзеркальной оптической системы с промежуточным изображением после второго зеркала и с ортоскопическим дифракционным качеством изображения по всему полю. Турель светофильтров содержит 12 – 15 полос.

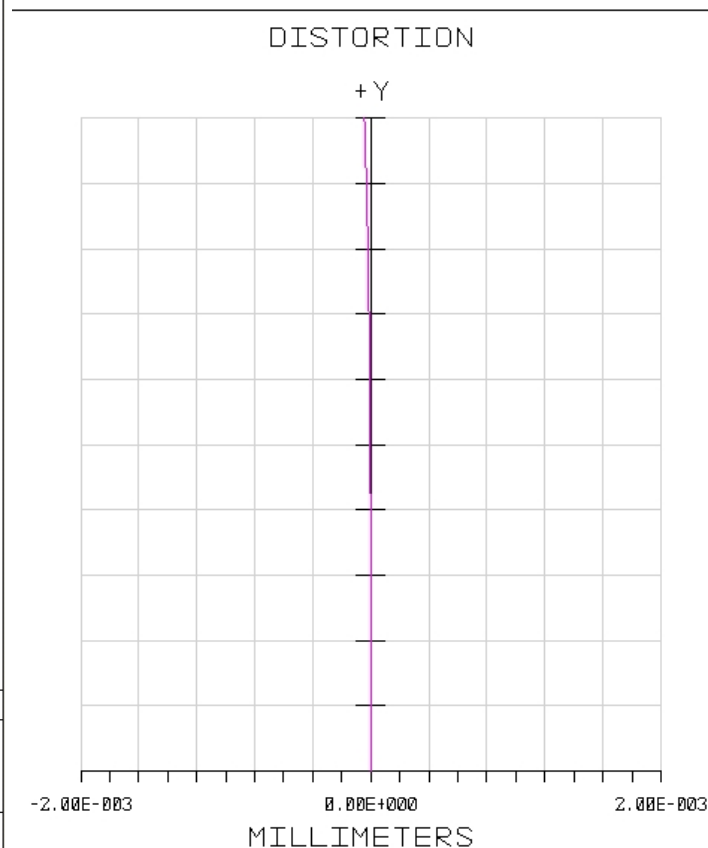
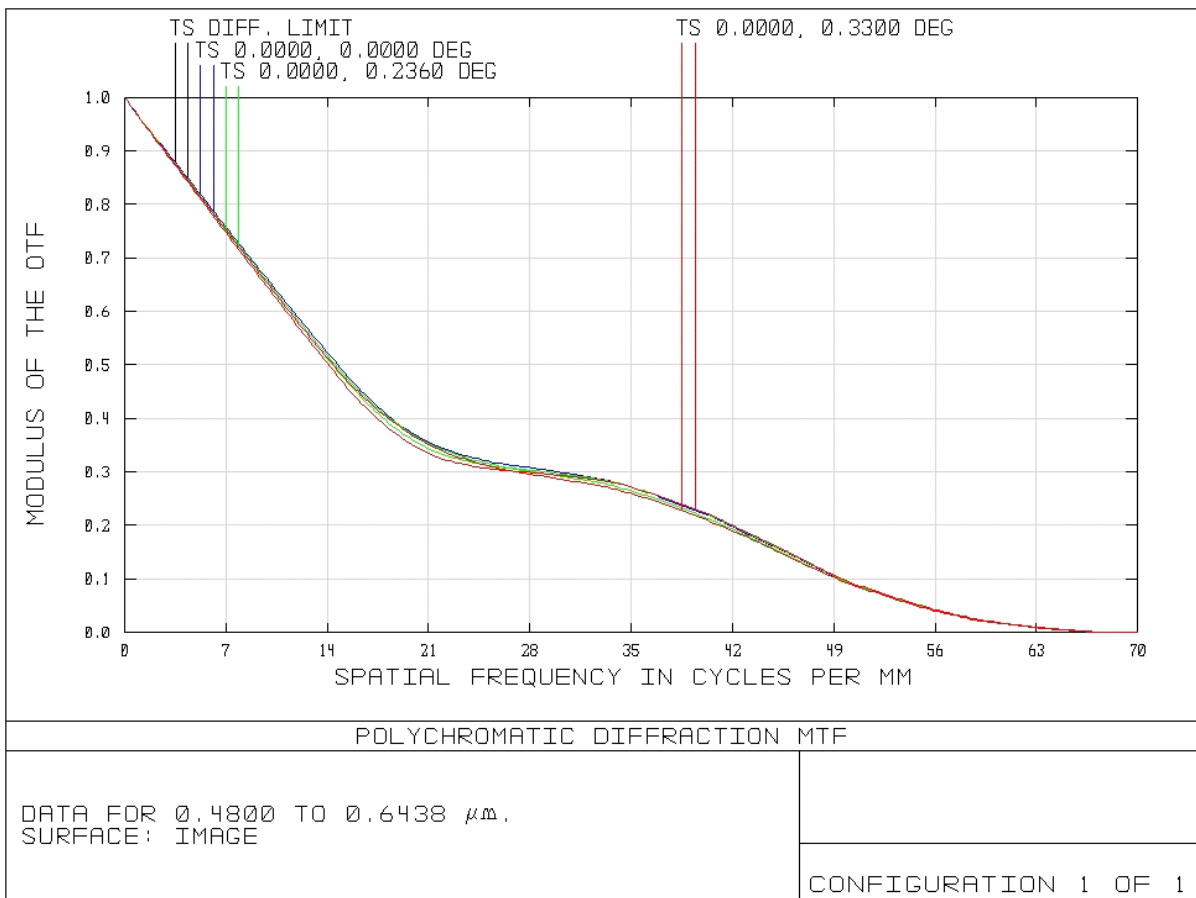


Основные параметры: апертура 1м, эквивалентное фокусное расстояние 30м, диаметр поля зрения $40' = 350$ мм, экранирование $\eta = 0.4$, масштаб $6.875''/\text{мм} = 0.069''/\text{пиксел}$. Пиксел квадратный $10\mu\text{м} \times 10\mu\text{м}$. Габаритные компоновочные размеры $130 \times 130 \times 400$ см³. Зеркала M_1 и M_3 – эллипсоиды вращения, M_2 – гиперboloид вращения, m_4 , m_5 , m_6 , m_7 – плоскости, F – плоскость приемника, h_1 , h_2 – отверстия.



Функция Рассеяния Точки (ФРТ, PSF) одинакова в любой точке поля в силу ортоскопии. Требование ортоскопии довольно жесткое, но это главное условие для получения высшего – при прочих равных условиях – качества изображения и, соответственно, уровня астрометрической точности. Дефокусировка не смещает центра (панель справа).

Частотно-контрастная характеристика объектива с промежуточным изображением за главным зеркалом с исправленной дисторсией



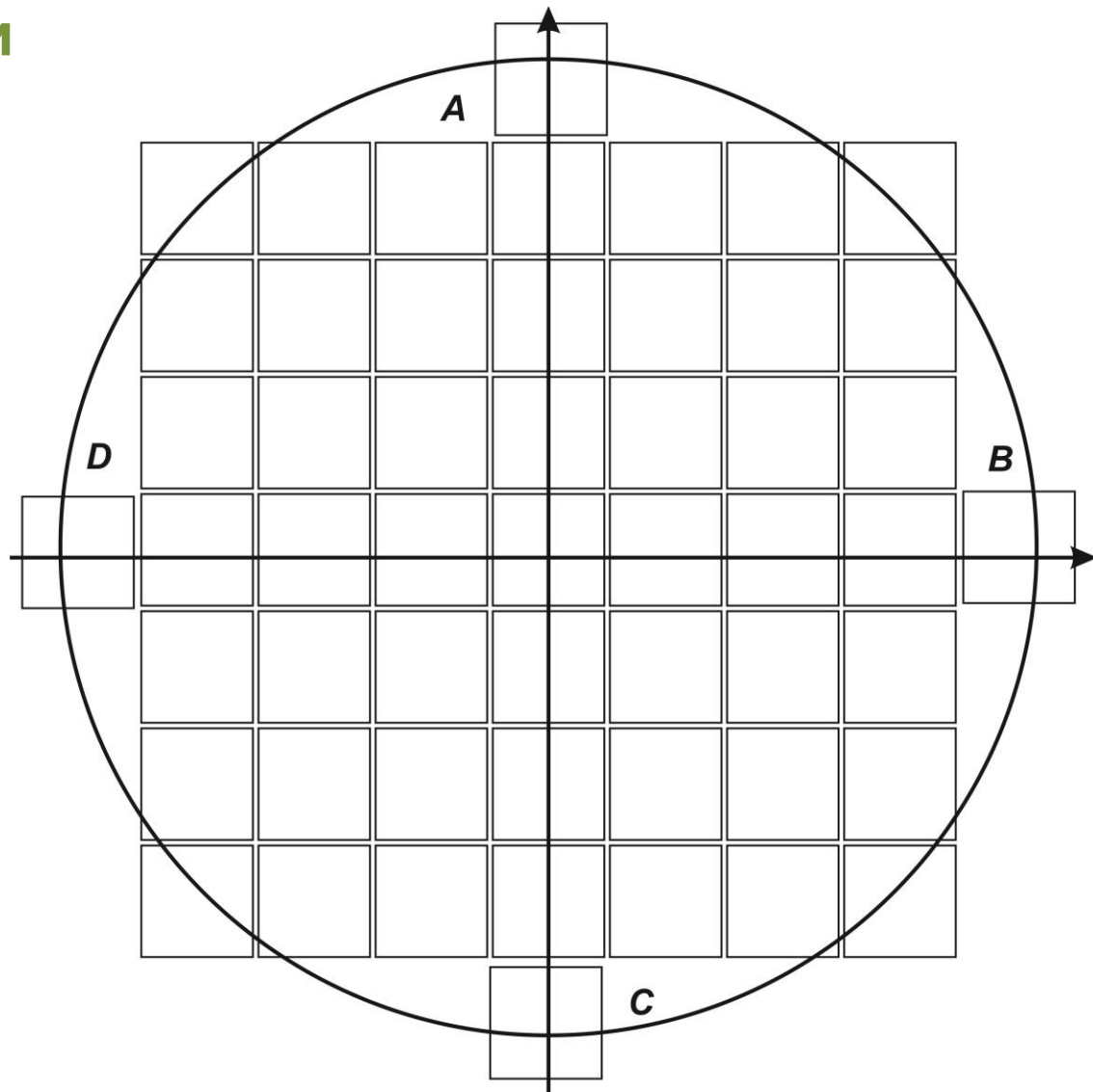
Система имеет дифракционное качество изображения всех точек поля.
Ориентироваться на другие решения по качеству системы регистрации нецелесообразно.

Система регистрации изображений

49 ПЗС в квадратной мозаике + 4 (A, B, C, D) для адаптивного управления наведением и удержанием

Вариант, удобный для выполнения обзоров, похоже, что вообще наиболее удобный.

В проектах GAIA, JASMINE, OBSS, SNAP, ВКО-УФ и теперь EUCLID и в ряде наземных телескопов разработаны мозаики бóльших размеров.



Фокальный ансамбль: 49 ПЗС в квадратной мозаике + 4 ПЗС (A, B, C, D) для адаптивного управления наведением и удержанием

ОЖИДАЕМЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

- Точность астрометрическая в кадре $\pm 0.0007''$
- Точность фотометрии не хуже $\pm 0.05^m$
- 12—15 полос в фотометрической системе
- Точность положения астероида $\pm 2 \text{ км} \dots 12 \text{ км}$
- Измерения параллаксов звезд в сфере радиусом $\leq 5 \text{ кпк}$
- Предельная звездная величина $\leq 25^m$
- Скорость обзора до 15 кадров в час (2 мин экспозиция + 2 мин перенацеливание)
- Ресурс ОЗСО – 12 лет (гелиоцикл).

Оперативность реакции на целеуказание объекта АКО: требуется минимум 4 кадра с интервалом, в обратной пропорции зависящим от дальности до объекта. Объект в транснептуновой области наблюдается с интервалом 1 сутки. Объект в околоземном пространстве – с интервалом < 1 час. Кадр = 2 снимка. В любом случае высокоточная оскулирующая орбита выводится не более, чем за 5 суток для объекта в транснептуновой области, и не более, чем за половину суток для объекта в близком околоземном пространстве.

ТОЧНОСТЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЛОЖЕНИЙ И ПАРАЛЛАКСОВ

Современные методы обработки ПЗС-изображений астрономических объектов с использованием **ФРТ** обеспечивают точность определения положений максимума интенсивности σ_0 в изображении точечного источника на пиксельном поле ПЗС, равную **0.01** углового размера пиксела при отношении $S/N \sim 100$, а интенсивность – с ошибкой не грубее **1%** от потока. Угловые размеры 10-микронного пиксела **0.069"**. Соответственно $\sigma_0 = 0."0007$. С помощью статистических методов эта точность может быть еще повышена в итоговом результате. При достижении точности в **0."0001** дальность перспективы базы в принципе достигает **10 кпк**, что дает уверенность реально работать на дальностях до **5 кпк**.

МЕРИДИАН ОБСЕРВАТОРИИ

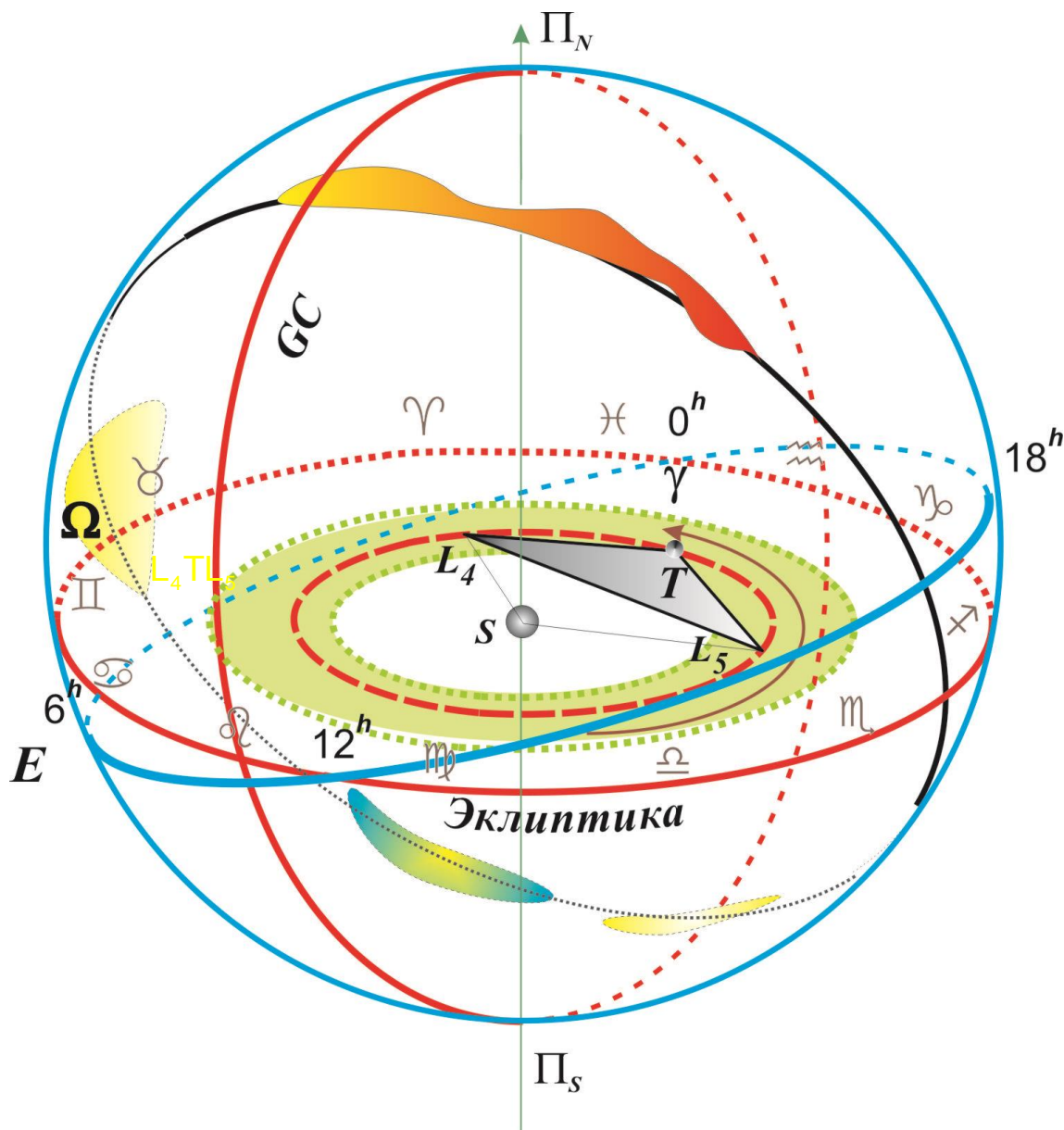
1. Сброс информации в ЦУП по линиям TL_4 , TL_5 .

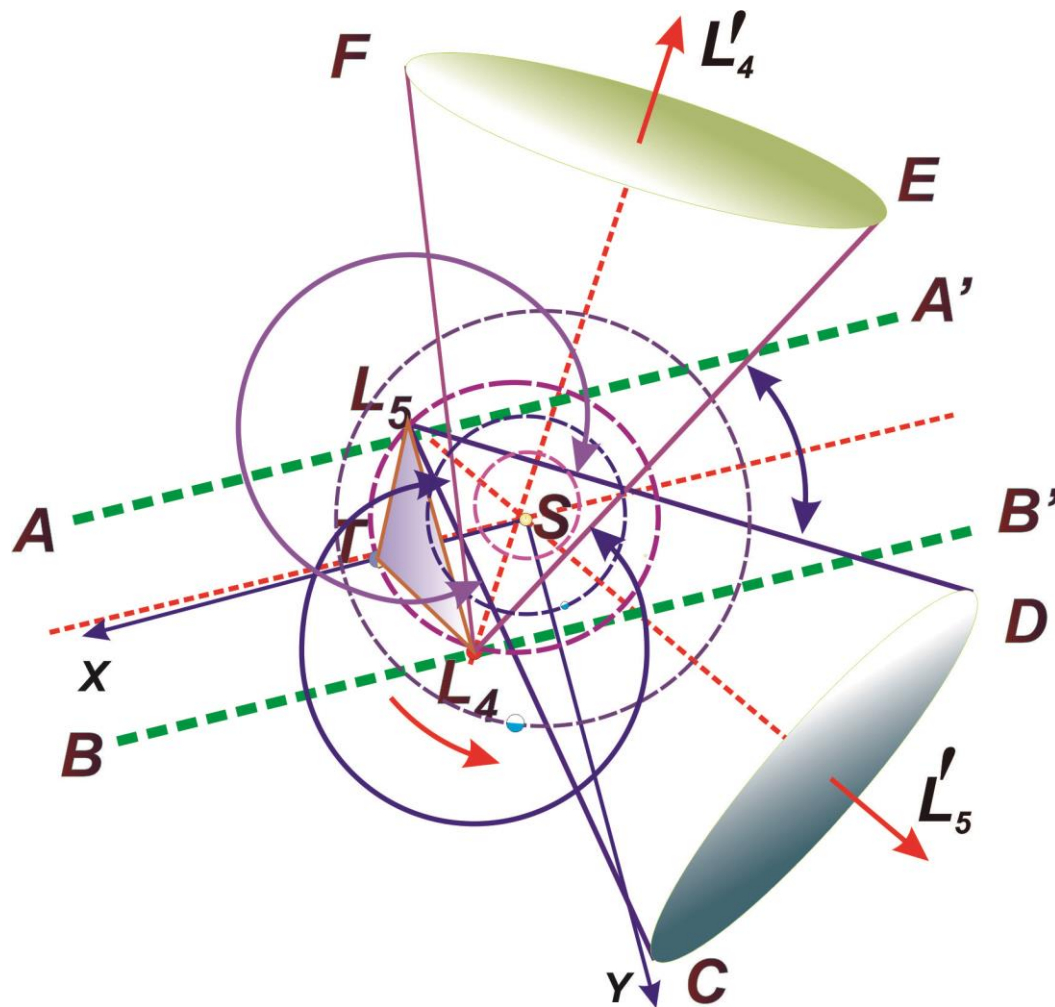
Измерение их длин радиолучом «туда-обратно».

Возможно ли измерять радио лучом базу L_4L_5 непосредственно – ответит НИОКР.

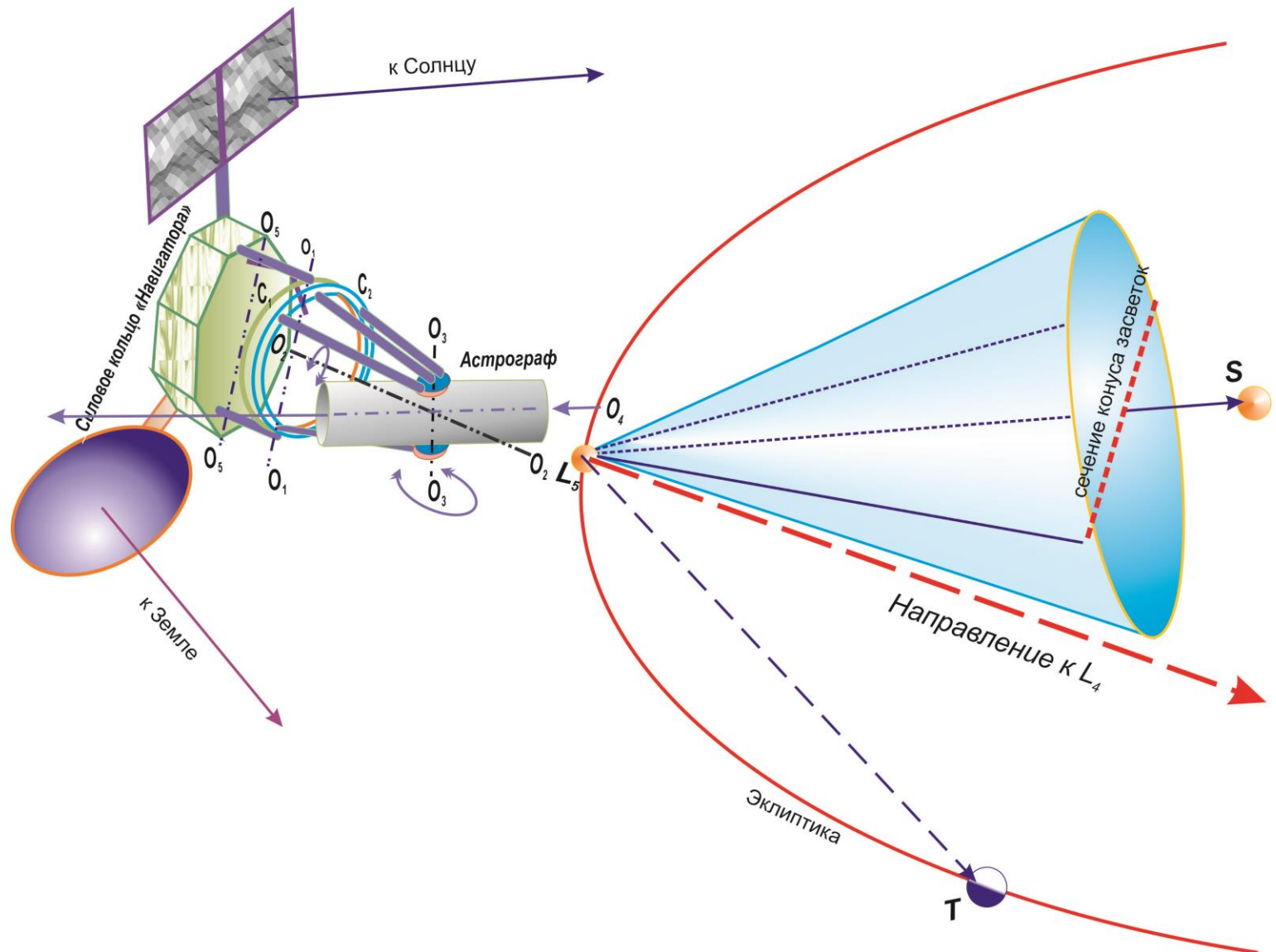
2. Астрографы и датчики направления «КА → Земля» используются для определения угла L_4TL_5 , точного вычисления длины вектор-базы и контроля околоземного пространства.

3. Наивыгоднейшее место для наблюдений – «меридиан» – сечение GC.

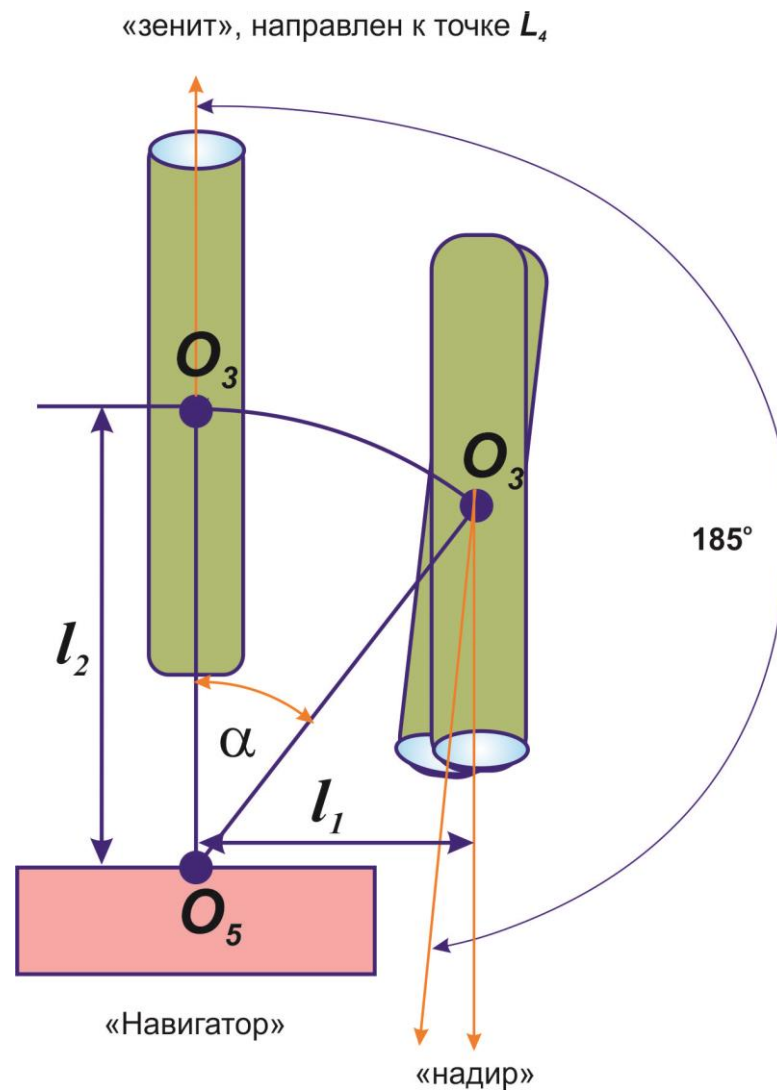




Наблюдению доступно все пространство, за исключением сферы радиусом, равным полуоси орбиты Венеры, с центром в Солнце. Условные зенит и надир наблюдаются.



Идея системы подвеса инструмента и его наведения



Область наведения включает условные зенит и надир

СВОЙСТВА ОЗСО И ПРОГРАММА:

1. Спокойная физика пространства в точках L4, L5: нет теней и нет полей;
2. «Вынесенное» от направления «Земля – Солнце» положение инструментов обсерватории – обзор всего неба и наличие «меридиана»;
3. База обсерватории достаточна для «мгновенного» определения параллаксов, что было невозможно с обсерваторий, работающих «с одним направлением»; возможны наблюдения точечного микролинзирования.
4. После исчерпания ресурса КА не засоряют околоземного пространства, инструменты имеют малую вероятность быть разрушенными «околоземным мусором», а с учетом «спокойной физики» имеют выше – по сравнению с околоземными КА, при прочих равных условиях, вероятность большего срока работы. Датчики параметров радиационного поля.

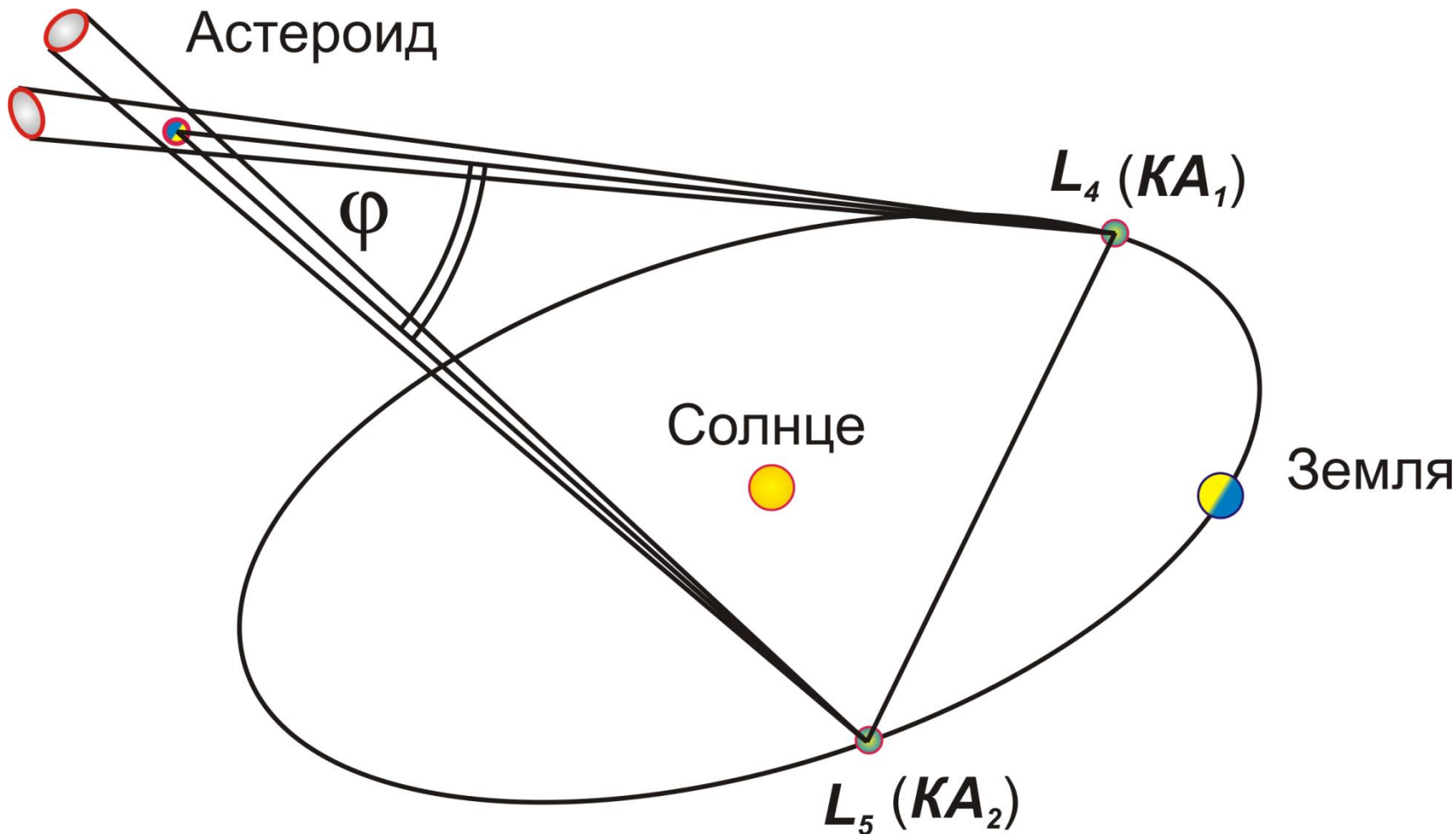
Эти свойства обуславливают и **программу** ОЗСО, которая может включать три основные группы задач, где ее преимущества очевидны по сравнению с обсерваториями другой конфигурации. Это группы:

1. Небесная механика, решение задач АКО;
2. Астрометрия, звездная астрономия и астрофизика – с определением распределения энергии в спектрах и наблюдением **прямым методом мгновенных параллаксов звезд**, составляющих альтернативу классической их реализации – например, в проектах HIPPARCOS и Gaia.
3. Наблюдение оптических транзиентов – все по целеуказанию.

К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ АКО

Проблема АКО для решения требует знания: 1) популяции объектов, падение которых на Землю грозит глобальным поражением цивилизации с перестройкой климата Земли, и физических характеристик этих объектов; 2) аналогичной информации для объектов, которые могут быть причиной локальных катастроф с поражением техногенных объектов, городов и регионов. На базе этого знания и технического опыта возможна разработка соответствующих средств защиты. Фундаментальной задачей проблемы АКО мы считаем построение максимально точных орбит всех объектов, имеющих потенциал столкновения. Их определение (детектирование) рационально вести **в основном** наземными средствами, которые к настоящему времени обогащены инструментами, часть которых имеют недостижимую в орбитальных условиях оперативность и эффективность (PanSTARRS), скорость обзора и проникание до 24—25 зв. вел. Количество наблюдателей, любителей и профессионалов, достаточно велико. Это позволяет утверждать, что все объекты, заведомо ярче 19—20 зв. вел. будут детектированы задолго до возможного столкновения на дальних расстояниях.

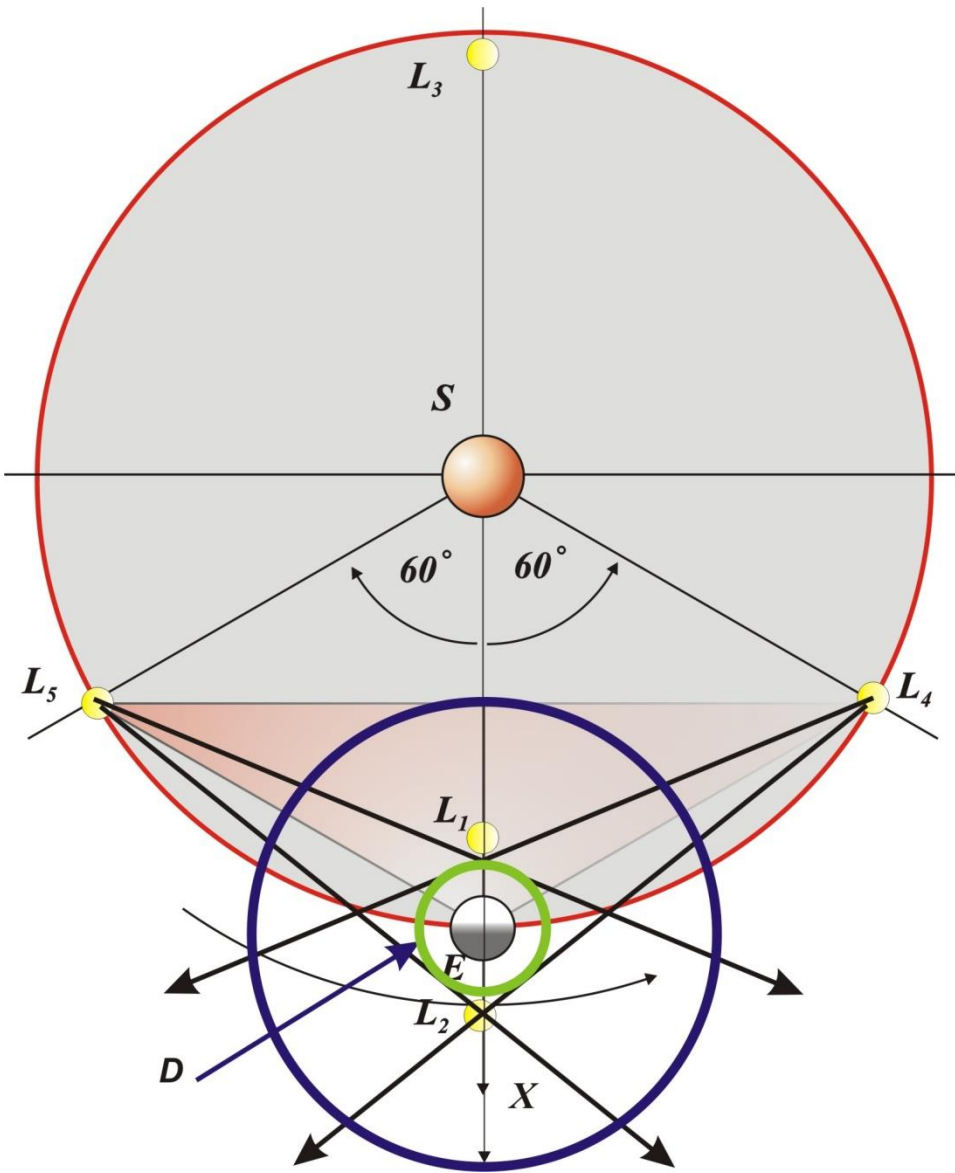
Оперативное определение таксономического класса и параметров вращательной динамики объектов, сближающихся с Землей (ОСЗ);



Проблемными будут объекты, сближающиеся с Землей с солнечного направления, наблюдение которых оптическими наземными средствами невозможно. ОЗСО может быть использована для их детектирования. Наблюдения в засолненной области неба при максимальной фазе освещения. Наблюдения с большим наклоном орбиты.

КОНТРОЛЬ ПРОСТРАНСТВА ВБЛИЗИ ЗЕМЛИ

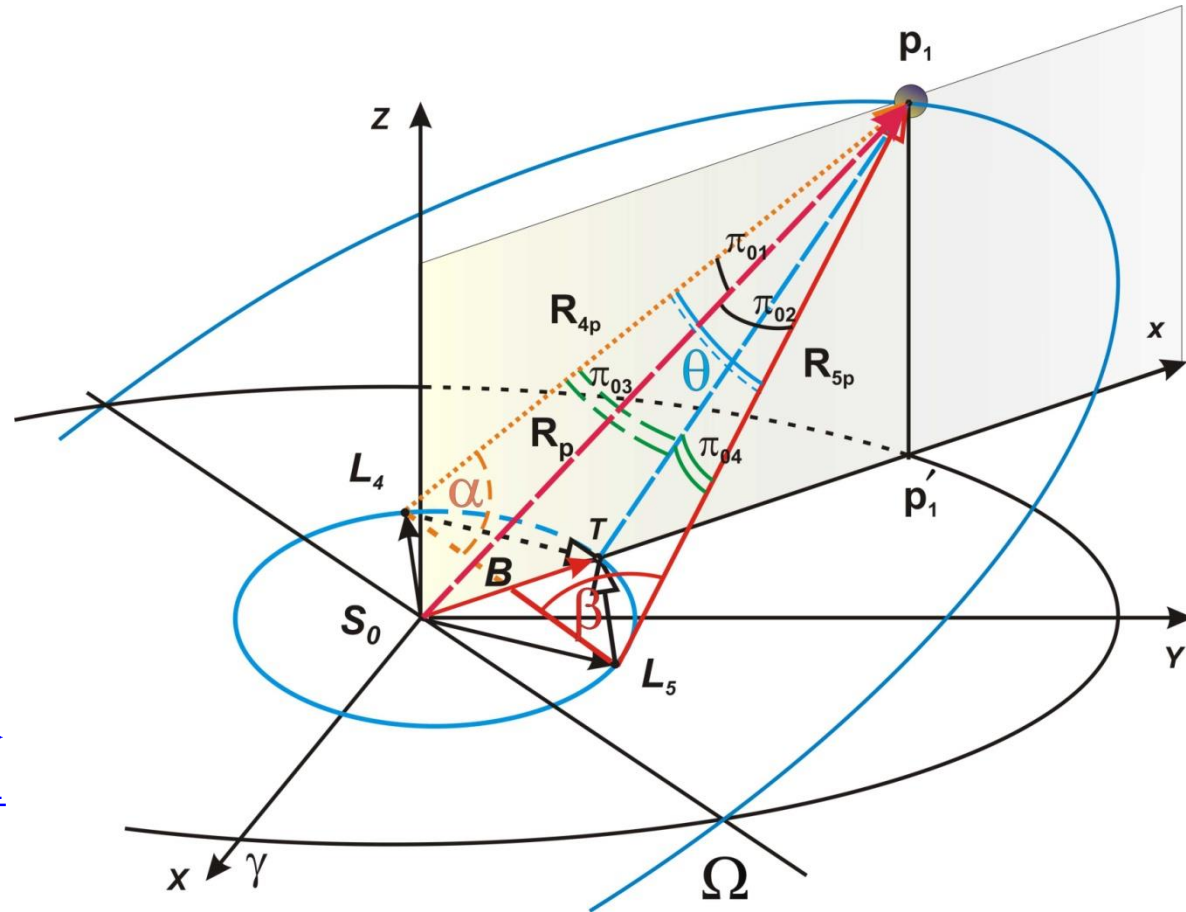
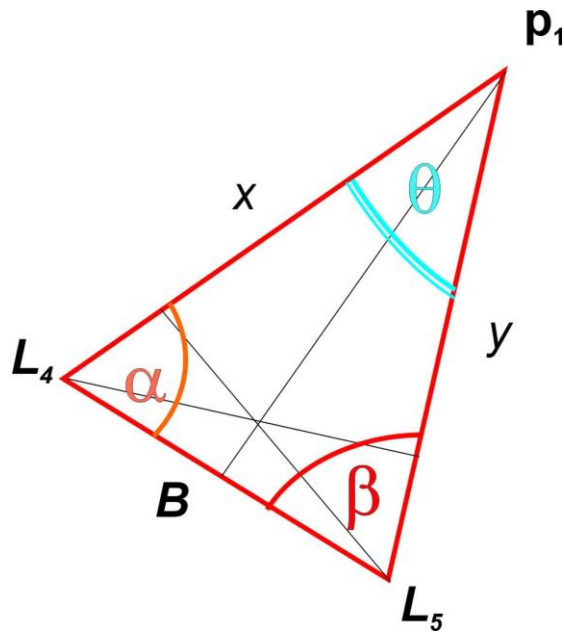
Сканирование области $2^\circ \times 60^\circ$ двумя астрографами (поле $40' \times 40'$), по согласованному плану: 270 кадров, на получение которых требуется $6 \times 270 = 1620$ минут = 27 часов. Вполне целесообразно удвоить толщину контролируемого слоя пространства, что займет 54 часа или 2.25 суток. В этом случае ОЗСО осуществляет независимый и полный контроль пространства в трубке вдоль дуги эклиптики в 120° , имеющей в сечении размеры либо $4^\circ \times 40'$, либо $2^\circ \times 80'$.



$$D = \operatorname{tg} 40' a.e. = 1745408 \text{ км}$$

ДВА ВАРИАНТА НАБЛЮДЕНИЙ ОБЪЕКТОВ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ

- 1) Выполнение триангуляционных измерений в режиме синхронных наблюдений
- 2) наблюдения с обоих астрографов в режиме одиночного телескопа



$$\overrightarrow{S_0 p_1} = \frac{\overrightarrow{S_0 L_5} + \overrightarrow{L_5 p_1} + \overrightarrow{S_0 L_4} + \overrightarrow{L_4 p_1}}{2}$$

$$(\delta D)^2 = \left(\frac{D}{B} \right)^2 \cdot (\delta B)^2 + \left(\frac{D^2}{B} \cos \frac{\theta}{2} \right)^2 \cdot (\delta \theta)^2$$

Связь дисперсий варьирующихся измеряемых величин B и θ .

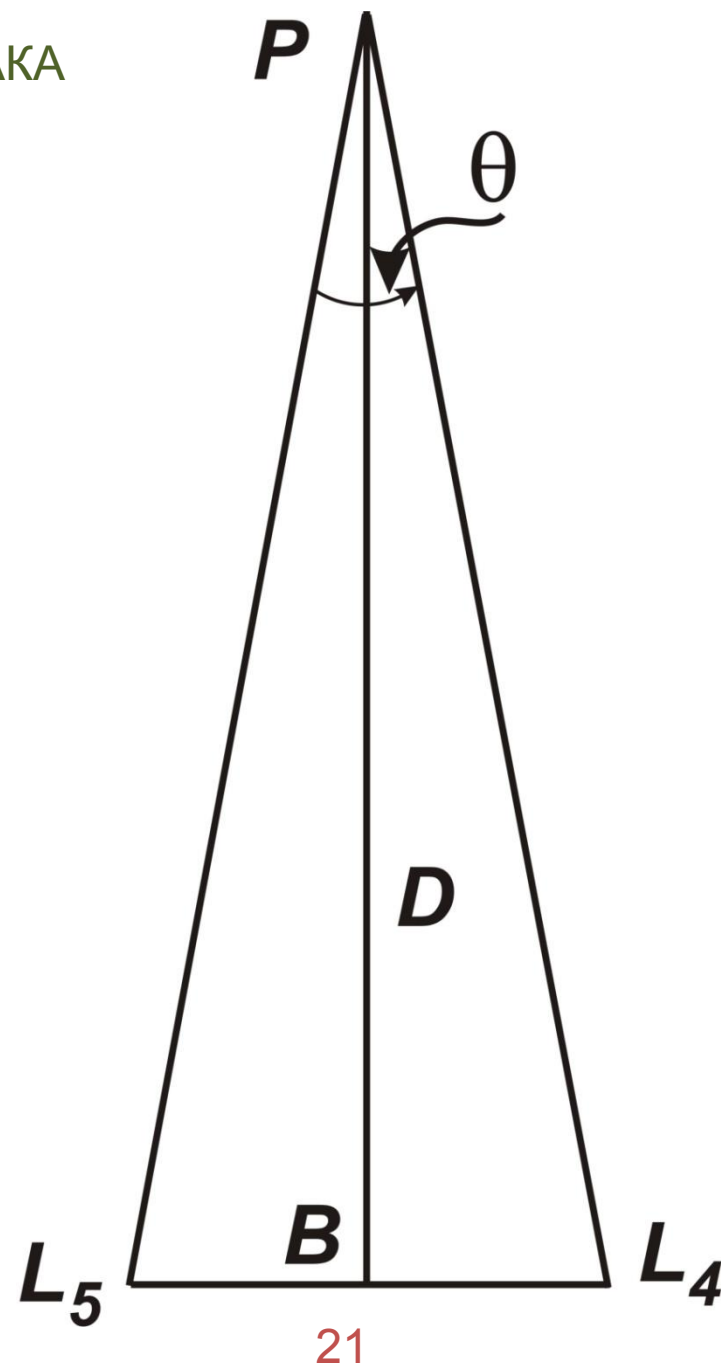
Диагностика свойств орбит опасных астероидов Главного пояса, транснептуновых объектов (ТНО в поясе Эджворта-Койпера), и комет на расстояниях от Солнца более 40 а.е., *а также в близких окрестностях орбиты Земли*, включая механизм миграции объектов в пределах Солнечной системы между поясами и роли этого механизма в эволюции Солнечной системы – вероятно будут иметь все возрастающую актуальность на период до конца текущего столетия. Таксономические характеристики тел Солнечной системы для изучения эволюции Солнечной системы особо важны, если будут разрабатываться методы разрушения опасных объектов или изменения их орбит до безопасного уровня. Мы в нашем подходе разделяем точку зрения европейцев, изложенную в обзоре: *A Science Vision for European Astronomy. ASTRONET SVWG. DRAFT December 19, 2006*, <http://www.strw.leidenuniv.nl/sciencevision>, а также на XXVIII ГА МАС в 2012 г. в Пекине.

НАБЛЮДЕНИЕ ОБЪЕКТОВ ТРАНСНЕПТУНОВОЙ ОБЛАСТИ, ПОЯСА ЭДЖВОРТА-КОЙПЕРА И ОБЛАКА ООРТА

	D(a.e.)	θ
Объекты СС	0.5	120°
	0.866	90
	1.0	81.787
	2.0	46.826
Гл. пояс астероиды	3.0	32.204
	4.0	24.433
	5.0	19.653
Юпитер	40	2.481
Плутон	100	0.992=59'.538
Э-К объекты	1000	0.0992=5'.954
	2000	0.0496=2'.977
Проксима Центавр	200 000	$\theta=1''.786$

У «космического стереоскопа» все объекты Солнечной системы (до предельной яркости 25^m) находятся в ближней зоне перспективы его главной базы, равной $a\sqrt{3} \sim 259.9$ млн.км

С участием околоземных средств наблюдений в эксперименте «стереоскоп» имеется три базы: главная и две базы длиной в 1 астрономическую единицу a



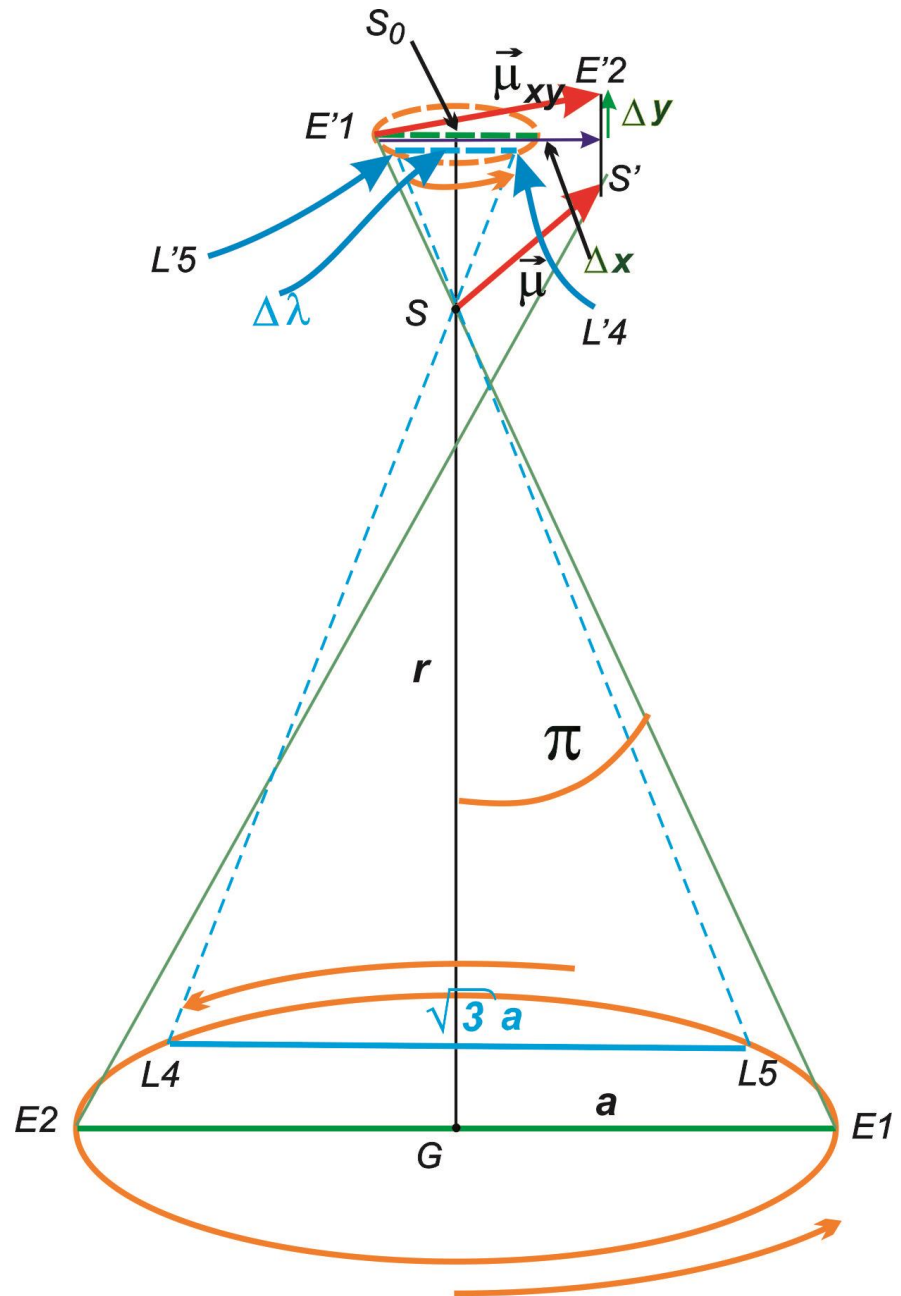
ПРЯМЫЕ ТРИГОНОМЕТРИЧЕСКИЕ ПАРАЛЛАКСЫ

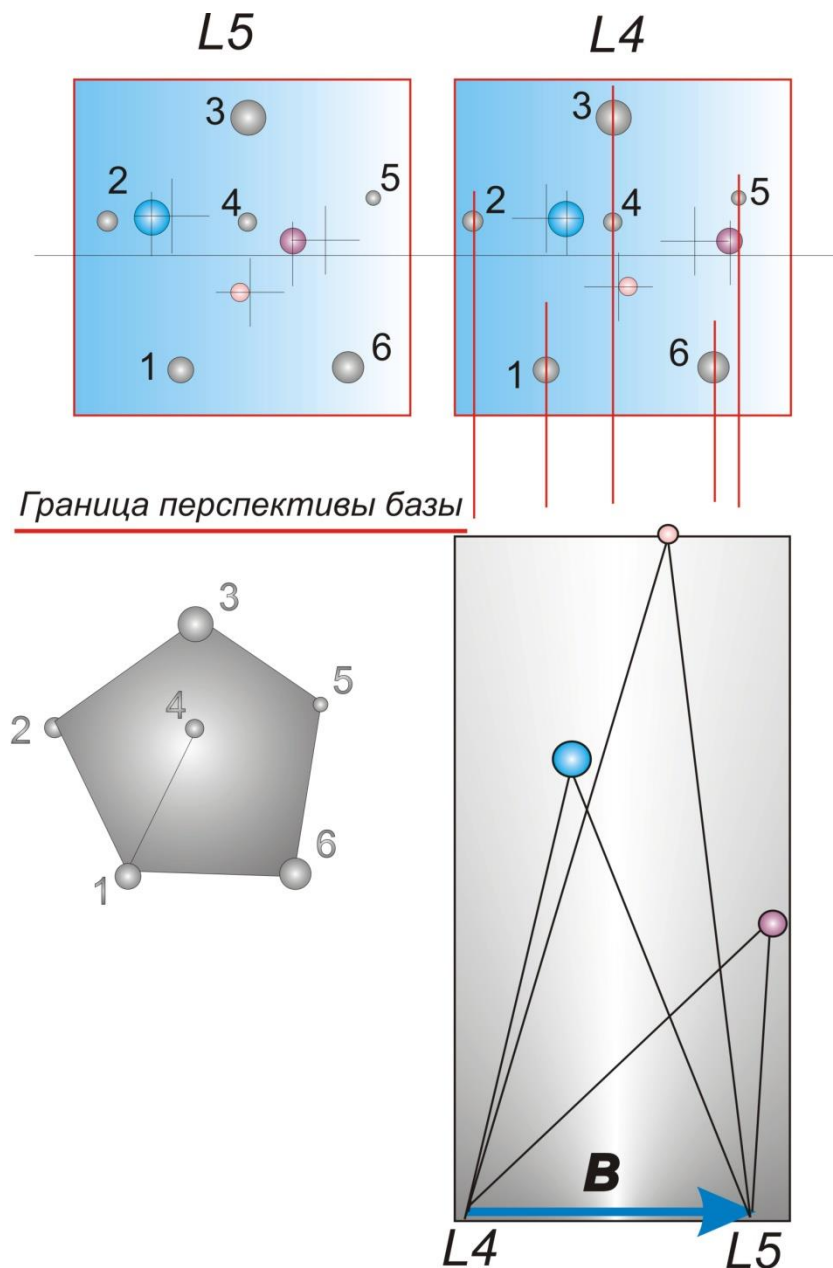
Основной способ наблюдения звездных полей для определения параллаксов и распределений энергии в спектрах излучений, регистрируемых в фотометрических полосах объектов, точечных и протяженных, в полуградусном поле двух астрографов в проекте ОЗСО дает материал для вывода только параллакса – за время экспозиции, а также РЭС звезд:

$$tg\pi = \frac{a}{r} \cong \pi;$$

$$\sqrt{3}\pi = \Delta\lambda$$

Проективная сфера окружает наблюдателя на расстоянии, равном перспективе базы.





Совмещение полигона, решение астрографической задачи по звездам полигона. Статистика в фотометрических полосах с потерей проникания на $3-4^m$ (от 25^m , но с получением распределения энергии в спектрах всех объектов до 22^m). достаточна для вывода параллаксов по одной серии наблюдений каждого поля.

Параллаксы мгновенные для всех объектов до дальности в 5000 парсек – 20000 св. лет, $2/3$ расстояния до Ц.Г.
Съемка точечным методом наведения.

ПОСТРОЕНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ ЭНЕРГИИ (SEDs) В СПЕКТРАХ ОБЪЕКТОВ

БАК-2010,
Додонов С.Н.,

По данным
наблюдений
с БТА:

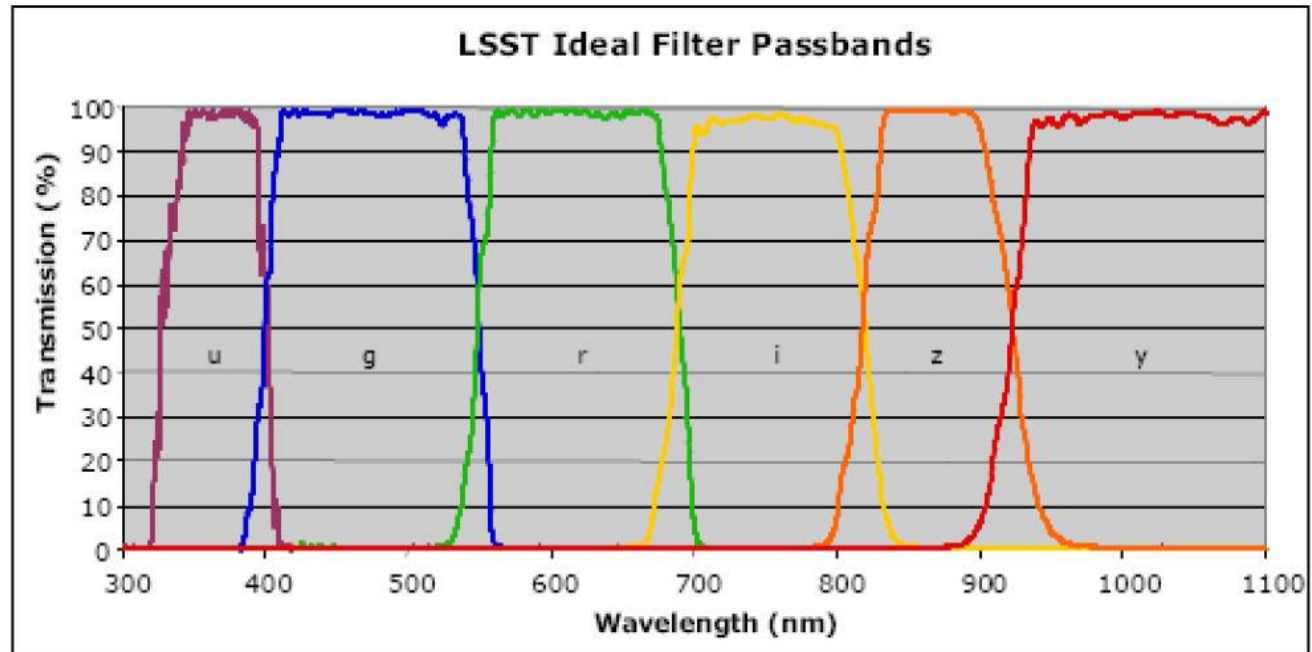


Figure 12. The LSST Filter Passbands.

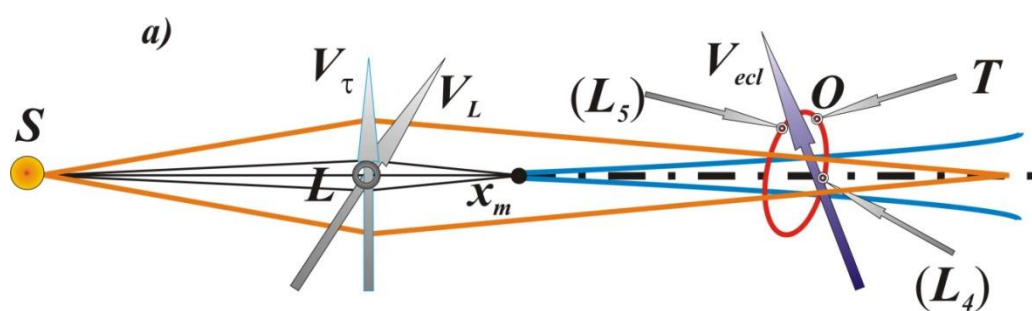
«Прямые снимки через относительно большое число среднеполосных фильтров ($\text{FWHM} \sim 200\text{-}300 \text{ \AA}$). Фотометрия каждого отдельного изображения даёт точку в спектре каждого объекта, попавшего в поле зрения телескопа. На этом пути низкодисперсионная спектрофотометрия может быть получена для большого числа объектов.»

ПОДДЕРЖКА ПРОГРАММ НАЗЕМНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ ЯВЛЕНИЙ ТОЧЕЧНОГО МИКРОЛИНЗИРОВАНИЯ

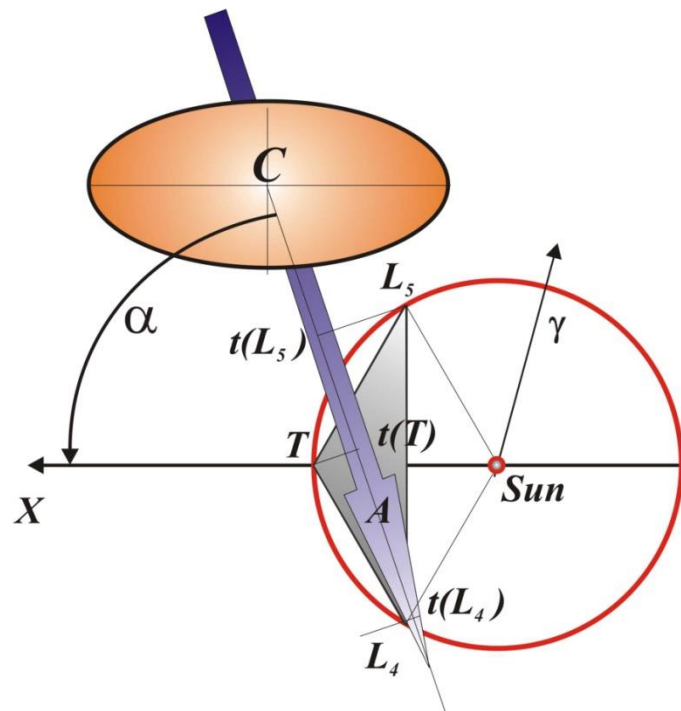
в рамках **проблемы**
астрофизики массивных темных
объектов и линзируемых звезд.

Построение картинки **с)** и
распределения освещенности
в зоне фокусировки. Это
интересная и очень трудная задача
наблюдательной астрономии.

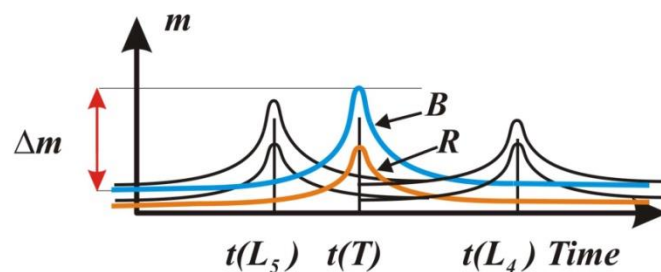
Режим поддержки
наземных программ типа
OGLE, EROS, MACHO



b)



c)



ДВА СОПОСТАВЛЕНИЯ

I. Проект EUCLID стартовал значительно позже нашего и устанавливается на геостационарной орбите. По сравнению с ним, освоение окрестностей точек L4, L5 представляет элемент новизны. По инструментальным возможностям и программе есть пересечения, поэтому возможно и необходимо сотрудничество с консорциумом EUCLID.

В **ОЗСО** не будет **ИК-приемника** и криогеники на борту ОЗСО: космос дальний. В ОЗСО более сложная задача сброса потока научных и телеметрических данных (телеметрия или специализированная система измеряет стороны L₄T, L₅T лучом).

Потоки научной информации:

EUCLID: 850 Гигабит/сутки из точки L2, 35Гбит/час, хранение 4Тбит 3 суток

ОЗСО: $0.82\text{Gpix} \times 8 = 6.5 \text{ Gbits}$ кадр с полной мозаики

$35 : 6.5 = 5$ кадров/час. Реализация канала такой мощности станет безусловным технологическим развитием и, соответственно, стимулом.

По значению и научному выходу данные ОЗСО и EUCLID сопоставимы и стыкуются друг с другом. Перекрытие программ целевых наблюдений не только возможно, но и желательно.

II. Проект **GAIA**: заявленный предел проницания 20^m , классическая схема определения параллаксов, проблема АКО: побочный продукт, объекты, случайно попавшие в поле зрения.

ОЗСО: проницающая 25^m , оригинальная система параллаксов, целенаправленное решение фундаментальных и прикладных аспектов проблемы АКО, изучение таксономических характеристик и физических параметров объектов Солнечной системы.

Проекты посещения отдельных тел Солнечной системы носят узкоспециализированный характер.

ПЛАНИРУЕМЫЕ ЦЕЛЕВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ ОЗСО

- 1) Существенный вклад в решение проблемы АКО.
- 2) Современная обширная база данных прямых синхронных наблюдений высокого астрометрического и фотометрического разрешения, со стереоэффектом, полученная в оригинальном проекте.
- 3) Опыт создания долговременной орбитальной обсерватории в окрестностях Лагранжевых центров либрационных движений, использование пространства которых имеет перспективу для будущего развития космических исследований, в силу устойчивости движений КА в их окрестностях.

ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Разработанный проект ОЗСО имеет обоснованную и проработанную научную программу и методику ее решения. Обсерватория ОЗСО эффективна при решении задач АКО и задач небесной механики, астрометрии, звездной астрономии и астрофизики, научная программа актуальна.

2. Проект прошел апробацию, доложен в профессиональных аудиториях, на семинарах и конференциях, в периодической печати и получил поддержку в

ГАО РАН, ИСЗФ СО РАН, ИКИ РАН, ИПМ РАН, САО РАН

СПбГУ, НИУ ИТМО, НИИ ТВ, НИИ ЭЛЕКТРОН, ЛОМО, ГОИ,

НПО им. С.А.Лавочкина, ОАО ИСС им. М.Ф.Решетнева, ЦУП ЦНИИМаш

3. Проект может поставить ряд актуальных задач для кооперации с национальными и международными проектами. Предложение на возможное участие астрономов и космического агентства Франции поступило.

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!