

# Информационные технологии в астрофизике

Емельянов Эдуард Владимирович

Специальная астрофизическая обсерватория РАН  
Лаборатория физики оптических транзиентов

1 Астрофизика и ее методы

2 Ресурсоемкие задачи

3 Инструментарий

# Астрофизика

**Астрофизика** — раздел астрономии, тесно переплетенный с химией и физикой. «It seeks to ascertain the nature of the heavenly bodies, rather than their positions or motions in space — what they are, rather than where they are» (1897, Джеймс Килер).

Основоположники — Вильям Хайд Волластон и Йозеф фон Фраунгофер.

Сам термин «астрофизика» предложен Иоганном Карлом Фридрихом Цёлльнером (известен по точной фотометрии) в 1865 г. Астрофизика делится на наблюдательную и теоретическую, находящиеся в тесной взаимосвязи.



# Методы астрофизики

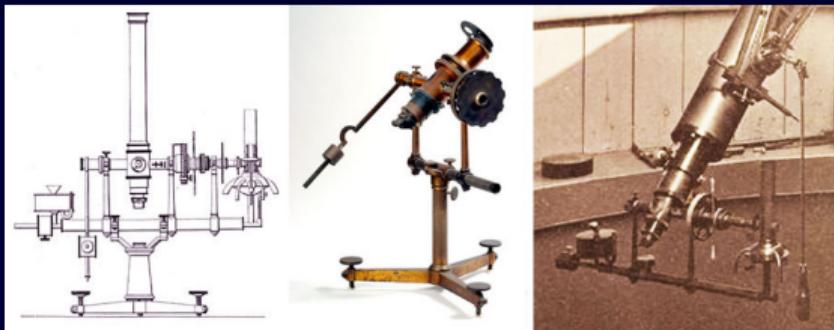
## Фотометрия

1861, первый фотометр (Цёлльнер) с эталонным источником.

1878, Сэмюэль Лэнгли изобрел болометр.

1969, Уиллард Бойл и Джордж Смит изобрели ПЗС.

1990, запуск телескопа имени Хаббла.



## Спектроскопия

Спектральные наблюдения с использованием призмы проводил еще Исаак Ньютон в 1666–1672, он и предложил термин «спектр».

1860, Густав Кирхгофф и Роберт Бунзен сопоставили фраунгоферовы линии с эмиссиями металлов.

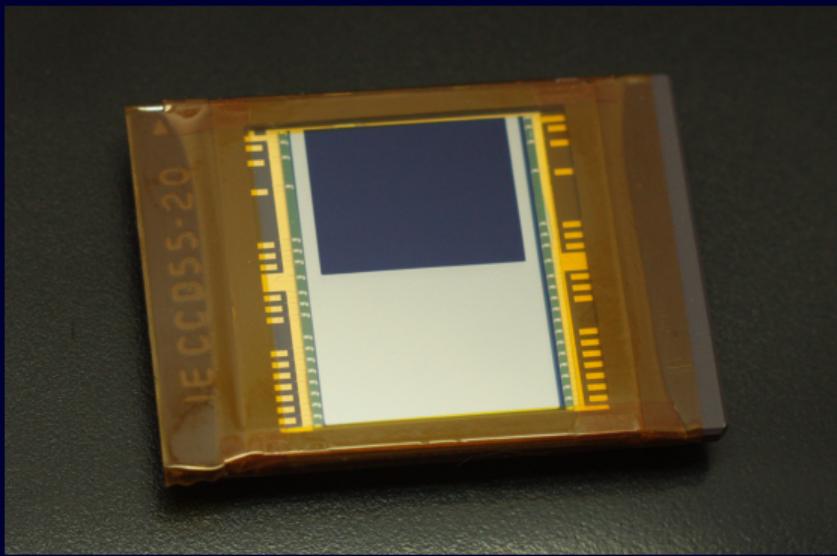
1863, Анджелло Секки первым доказал, что Солнце — звезда, предложил спектральную классификацию.

С 1918 по 1924 вышел каталог HD в честь Дрэпера.

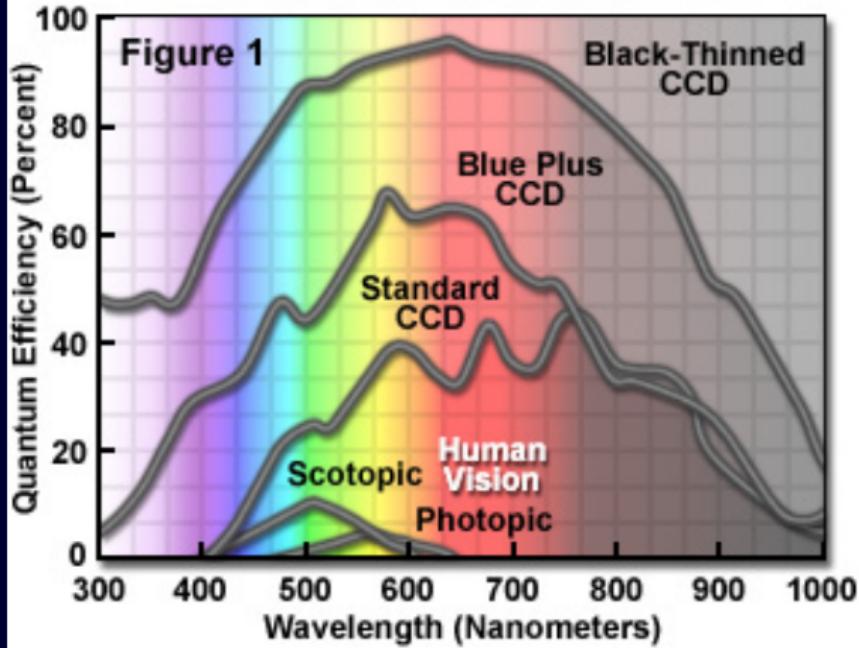


Слоановский обзор SDSS, 30 ПЗС 2048x2048 в сканирующем режиме.

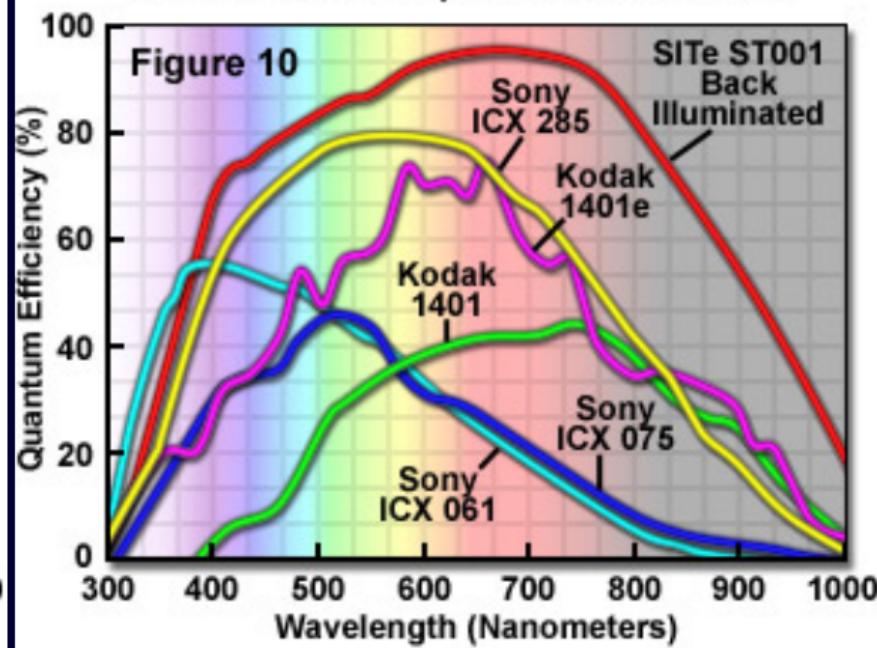
ПЗС с переносом заряда позволяют уменьшить воздействие посторонней засветки во время экспозиции.



### CCD Spectral Sensitivities



### Scientific CCD Spectral Sensitivities

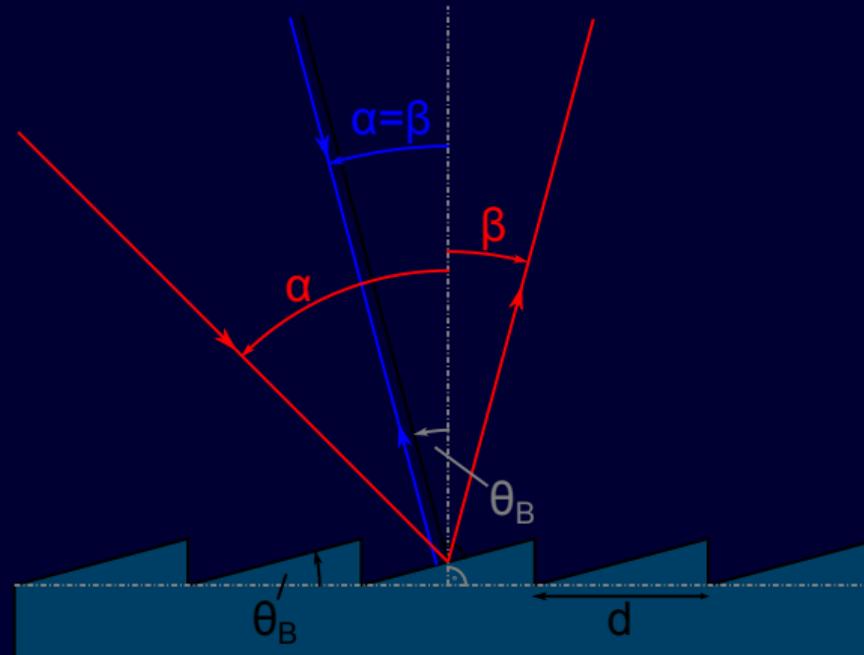


## Дифракционная решетка

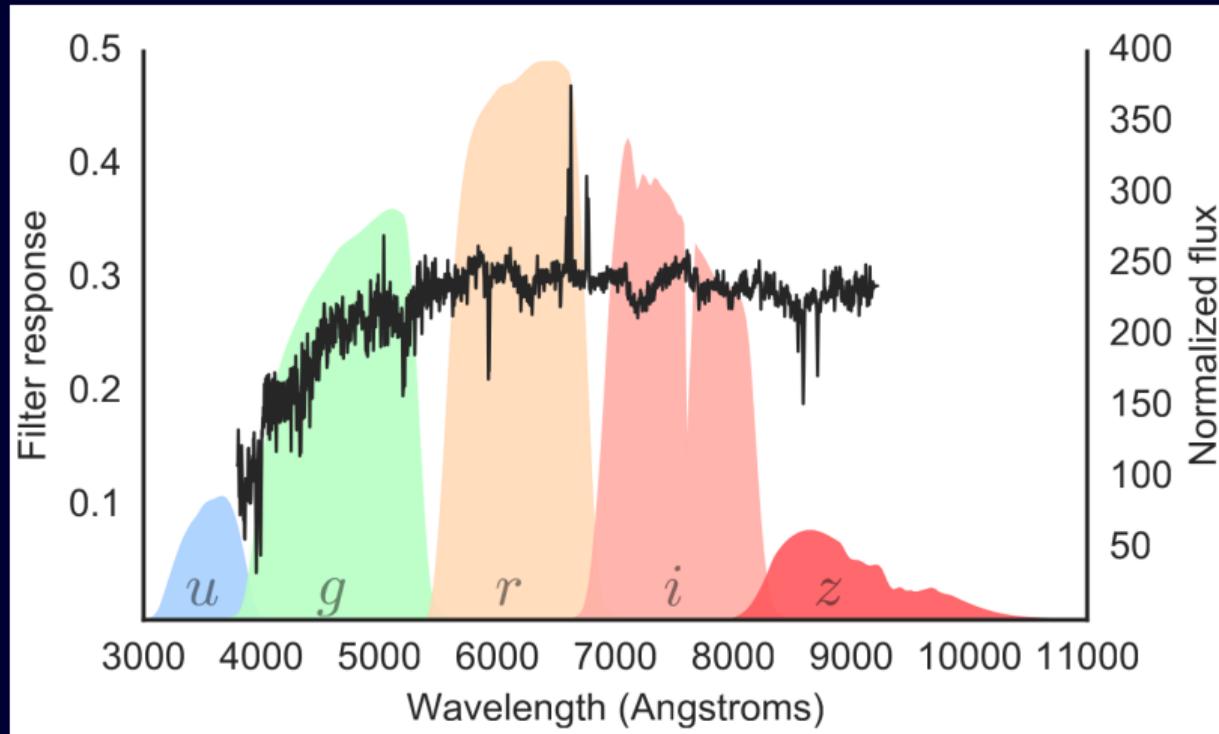
Середина 18 века, Джеймс Грегори — принцип построения дифракционной решетки.

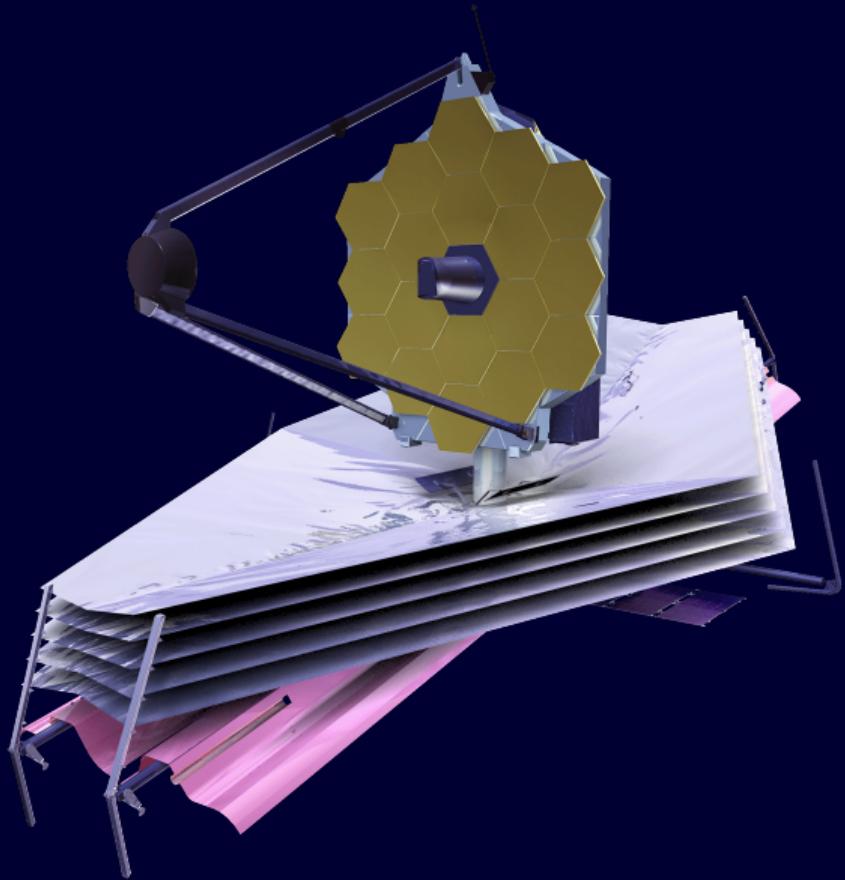
1785, Дэвид Риттенхаус (Филадельфия) — первая дифракционная решетка (почти 4 линии на мм). Аналог — Йозеф Фраунгофер, 1821 г.

Нарезные решетки. Предел — около 4.7/мм (1899, Генри Джозеф Грейсон).



## Спектр галактики NGC 5750 (SDSS) и полосы пропускания фильтров SDSS.





## JWST

25 декабря 2021 года.  $D = 6.5$  м,  $F = 131.4$  м. Инструменты: MIRI (камера среднего ИК), NIRCam (камера ближнего ИК), NIRSpec (спектрограф ближнего ИК), FGS/NIRISS (датчик точного наведения с бесщелевым спектрографом ближнего ИК). Орбита в  $L_2$  Земля–Солнце (1.5 млн. км. от Земли). Позволяет частично экранировать излучение Солнца.

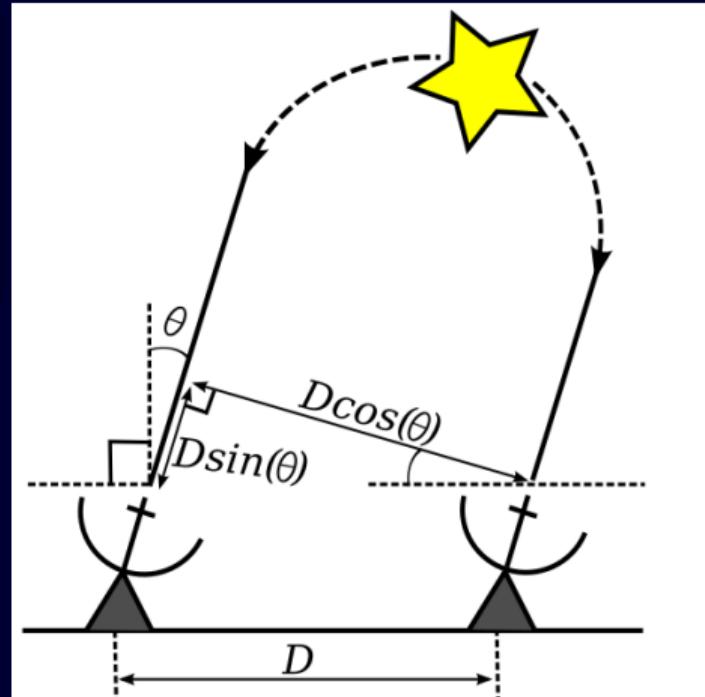
# Радиоинтерферометрия

В оригиналe — физическая интерференция.

Фазосдвигатели.

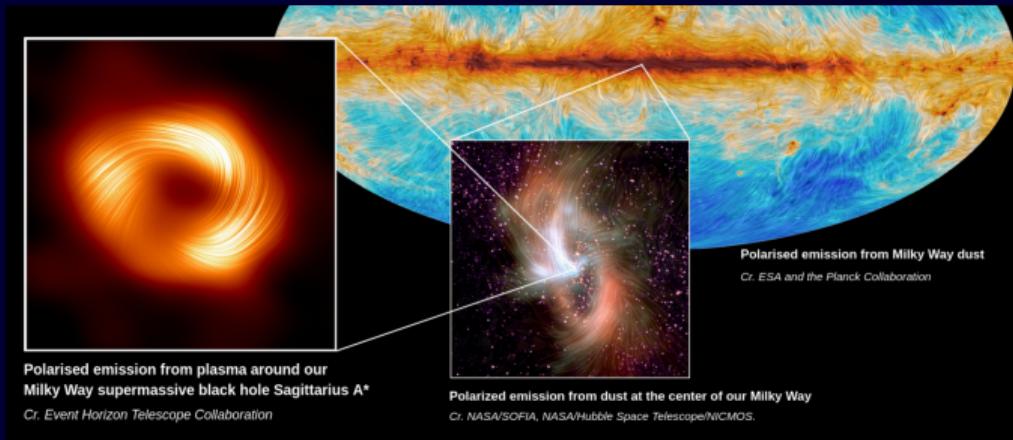
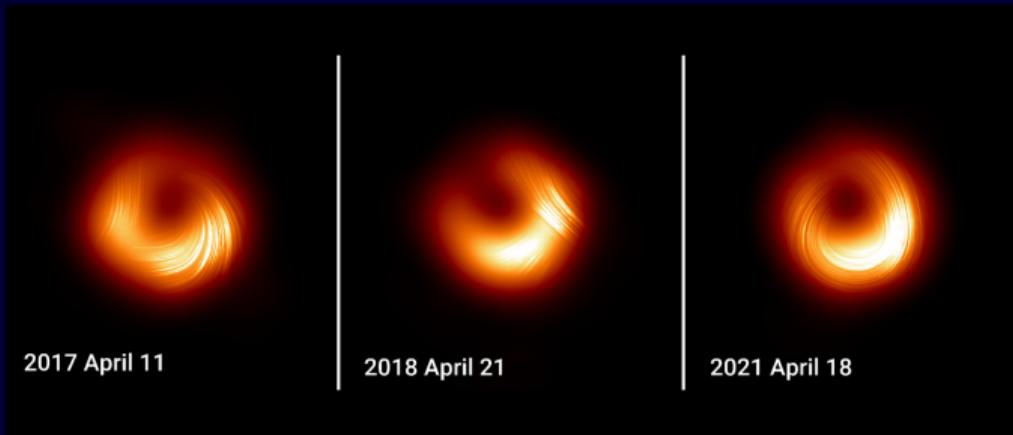
Современные радиометры и накопители данных:  
зависимость фазы от времени.

РСДБ, например, "Квазар". Обработка данных с N  
телескопов на одном суперкомпьютере — корреляторе.



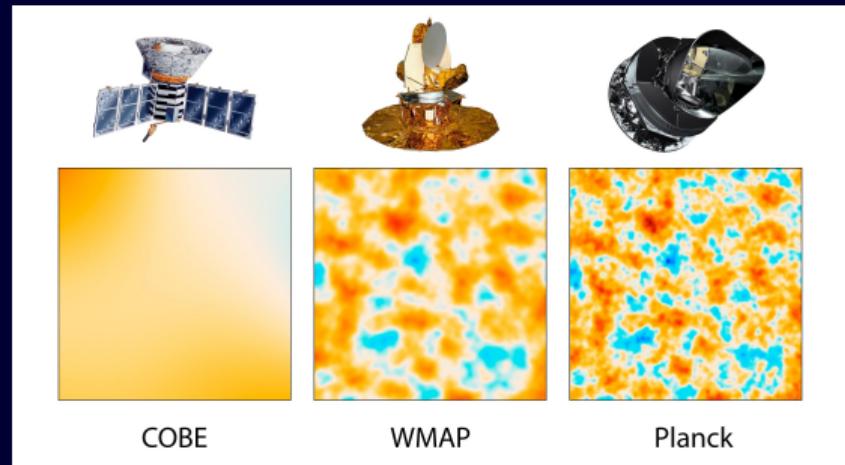
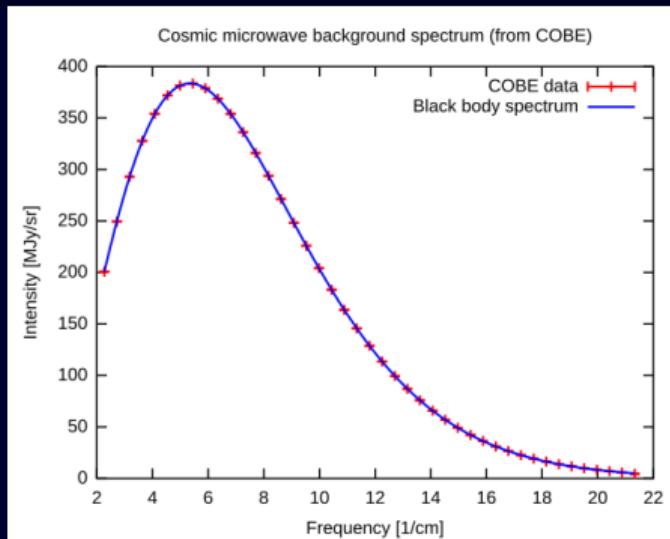
# ЕHT

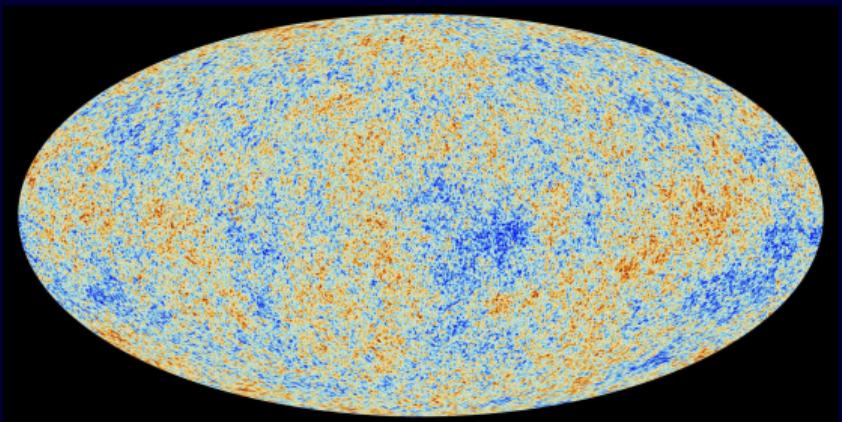
«Телескоп горизонта событий».  
Изображения СМЧД в центре M87 и  
Млечного пути.



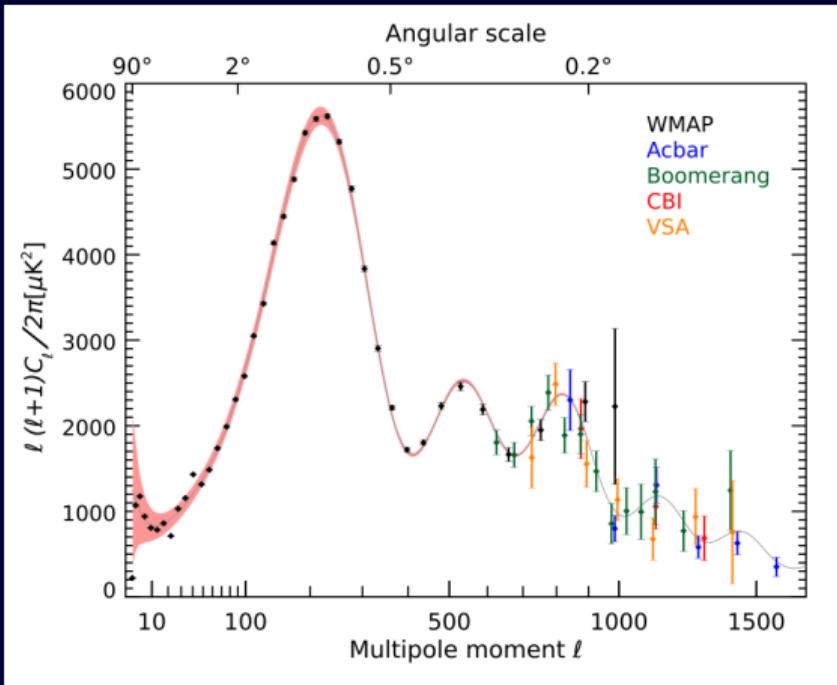
# Реликт

COBE, WMAP, Planck. Активное участие  
РАТАН-600 (проекты «Холод», «Генетический  
код Вселенной»).  
Спектр АЧТ с температурой 2.725 К, однако  
имеет флуктуации.

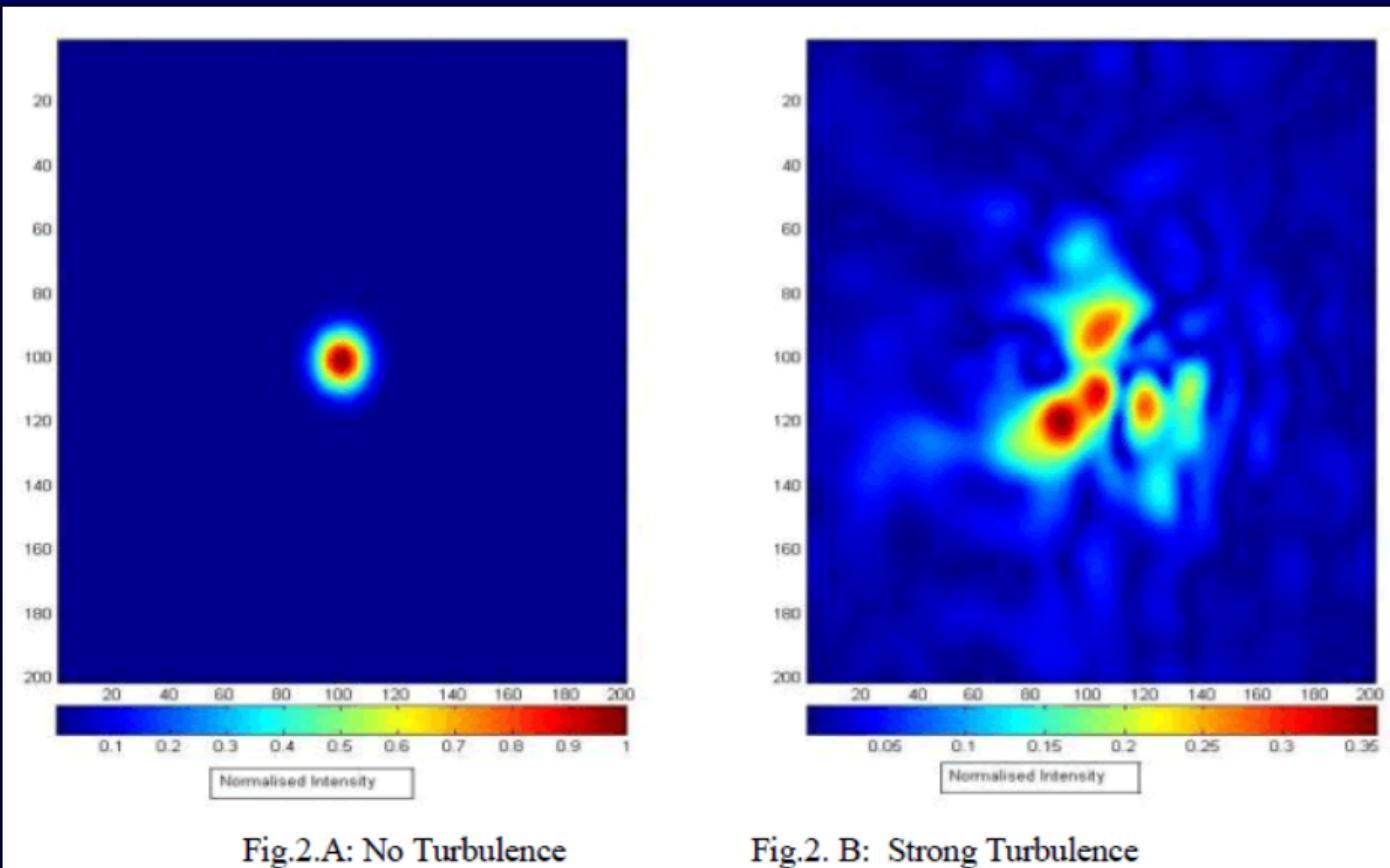




«Мультипольность» реликта. Диполь — «ось зла» (нарушение принципа относительности). Первый пик на графике характеризует кривизну Вселенной. Отношение интенсивностей нечетных пиков к четным — начальную барионную плотность. Третий пик характеризует плотность «скрытой материи».

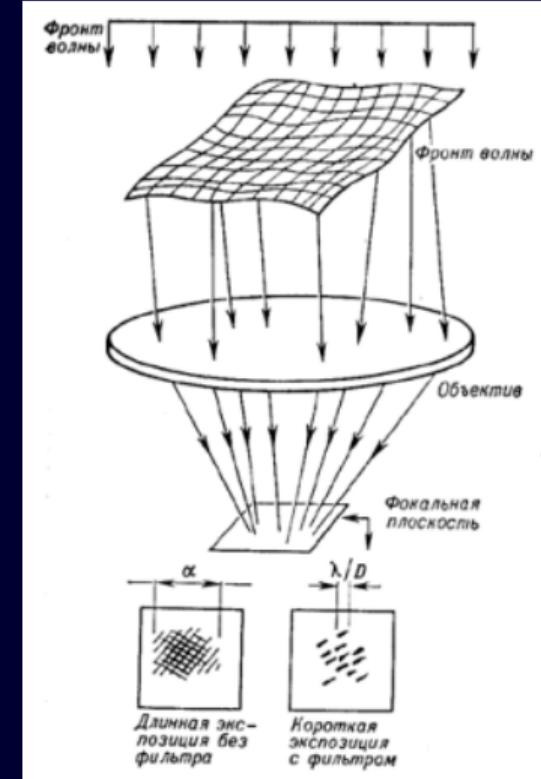
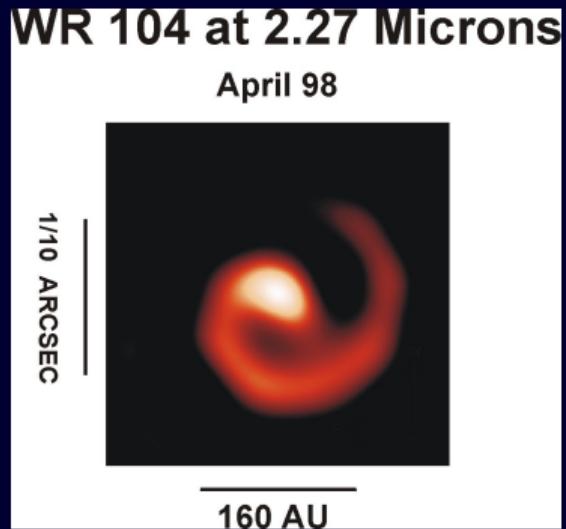


# Спектр-интерферометрия

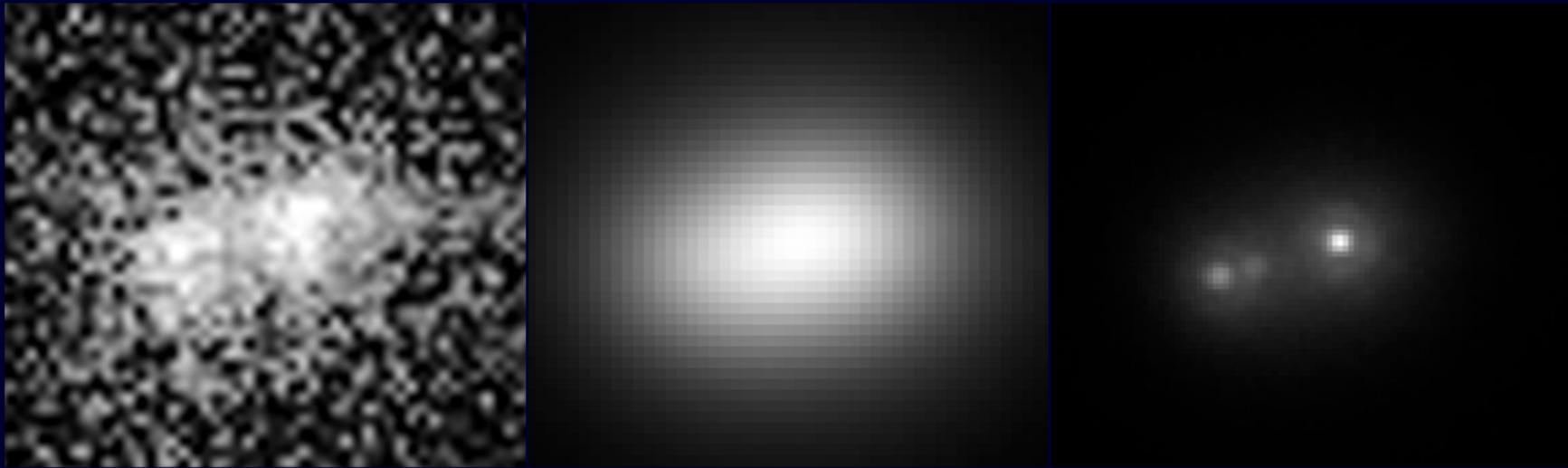


# Спектр-интерферометрия

1970, Антуан Лабейри: использование фурье-анализа.  
Реализация на паломарском телескопе.  
Почти дифракционное качество изображения.  
Огромнейшая вычислительная нагрузка.



# Lucky-imaging, Superresolution



Куб данных с экспозициями  $10 \div 50$  мс.

Совмещение снимков с наименьшим числом Штреля.

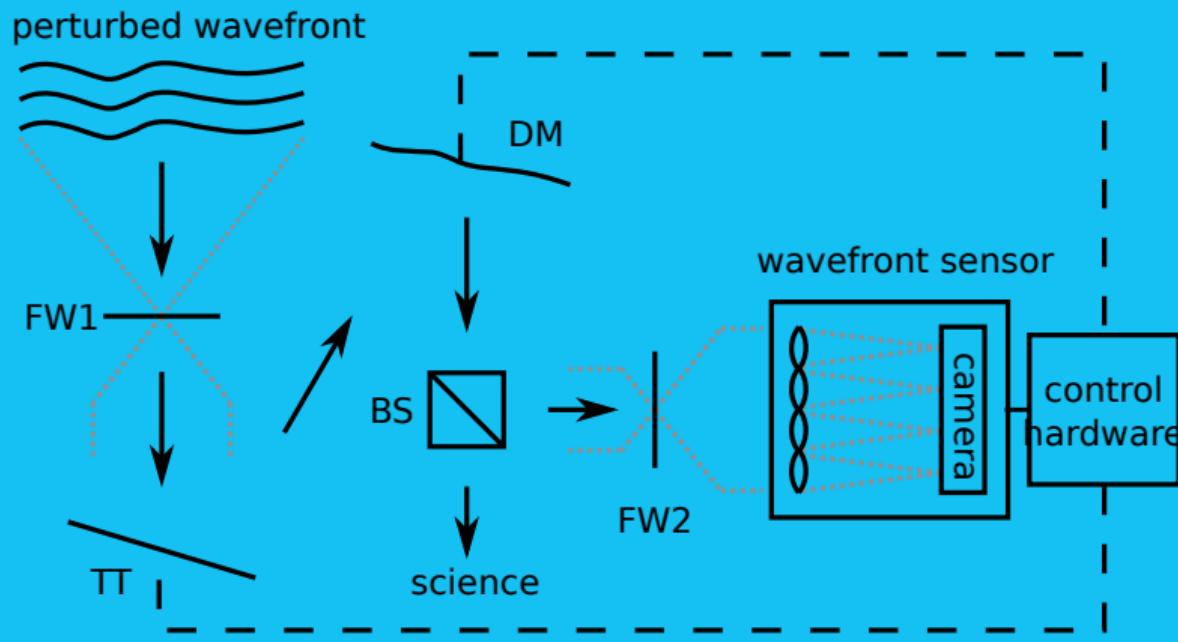
Усреднение.

Итог: было 900 mas, стало 40!

Superresolution: небольшое смещение изображения от кадра к кадру.

# Адаптивная оптика

Horace W. Babcock, 1953 — теория АО. Бурное развитие в 90-х в рамках холодной войны.  
Искусственная звезда, tip-tilt зеркало, деформируемое зеркало, делитель пучка, датчик волнового фронта.





Емельянов Э.В. (САО РАН)

Информационные технологии в астрофизике



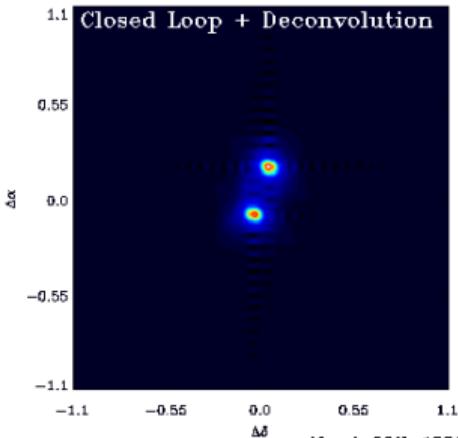
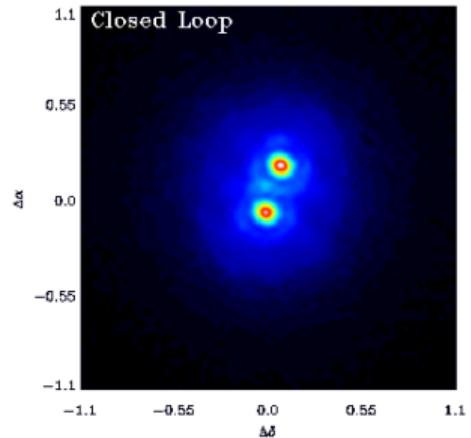
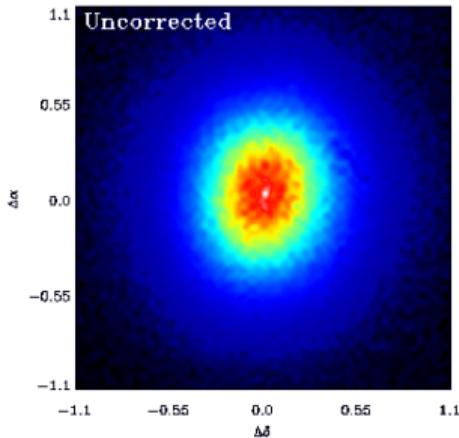
$30 \div 60$  mas. Искусственные звезды: Рэлея (ближний ИК,  $15 \div 25$  км) и натриевые ( $80 \div 100$  км, 589 нм).

### *CFHT Adaptive Optics Bonnette & Monica*

Double star, separation=0.276"  
Seeing=0.7" @ 0.5mic

Magnitude=10.7  
Strehl Ratio=30%

H band, Integration=40 sec  
Maximum likelihood



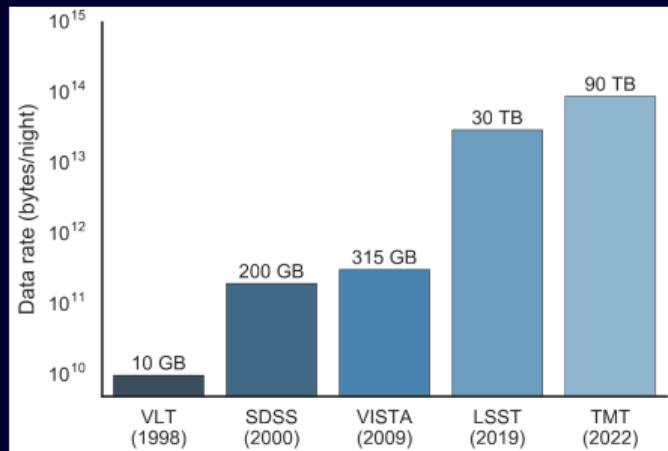
March 29th 1996



# Big Data

## Big data в астрофизике

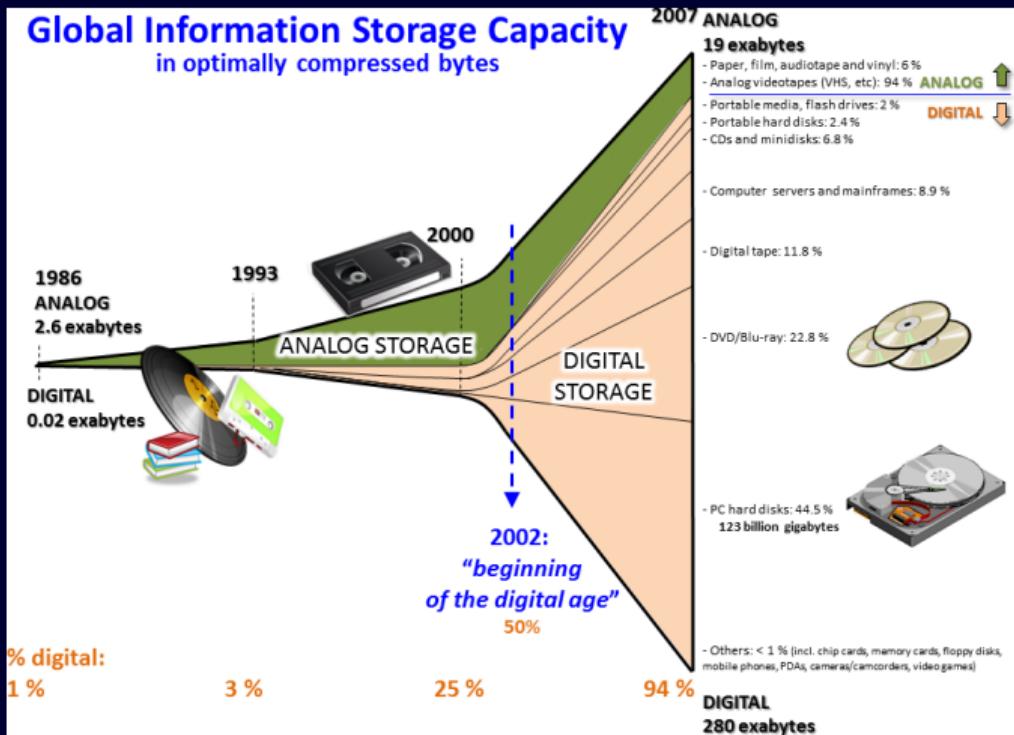
- объем данных (архивы сырых и обработанных данных в виде текстов, таблиц, изображений и пр.)
- скорость, т.е. возможность доступа к данным как можно более приближенным к текущему моменту времени, а также время, затрачиваемое на обработку
- широкое разнообразие данных и их форматов (всеволновая астрофизика: от радио и до гамма)
- качество данных (объективность, точность, угловое и временное разрешение)



# Big Data

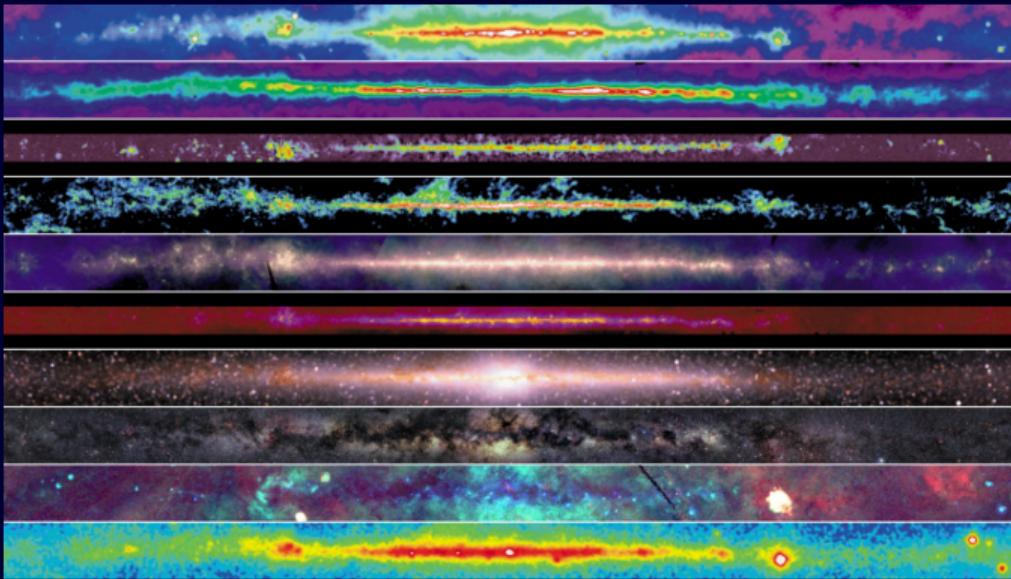
## Задачи

- быстрая фотометрия
- поиск экзопланет
- кросс-идентификация
- кросс-корреляция
- прочие исследование больших объемов данных



## Млечный путь

- 1 радио континуум 408 МГц  
(73.5 см)
- 2 атомарный водород (21 см)
- 3 радио континуум 2.4  $\div$  2.7 ГГц  
(11.1  $\div$  12.5 см)
- 4 молекулярный водород (2.6 мкм)
- 5 ИК (12, 60 и 100 мкм)
- 6 средний ИК (6.8  $\div$  10.8 мкм)
- 7 ближний ИК (1.25, 2.2 и 3.5 мкм)
- 8 оптика (400  $\div$  600 нм)
- 9 рентген (0.25, 0.75 и 1.5 кэВ)
- 10 гамма (больше 300 мэВ)



## Data Mining Techniques

### Classification

Arranges data into predefined groups.

### Association Rule Mining

Discovers relationships between variables in large datasets.

### Anomaly Detection

Identifies unusual data points that deviate significantly

### Decision Trees

Uses a tree-like model of decisions.

### Ensemble Methods

Combines multiple models to improve accuracy.

### Clustering

Groups similar data points together automatically.

### Regression Analysis

Predicts a continuous value based on input variables.

### Time Series Analysis

Analyzes data points collected over time.

### Neural Networks

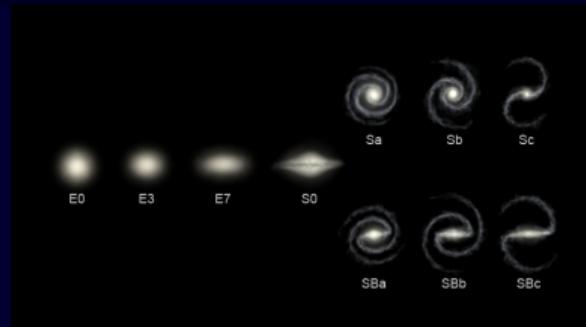
Models complex relationships using interconnected nodes.

## Методы классификаций

- Искусственные нейросети
- Математика опорных векторов
- Квантование векторов обучения
- Деревья решений
- Случайный лес
- Метод К-ближайших соседей
- Наивные байесовские сети
- Сеть радиальных базисных функций
- Гауссовский процесс
- Таблица решений
- ADTree (альтернативное дерево решений)

## Применение в астрофизике

- Спектральная классификация (звезды, галактики, квазары, сверхновые, ...)
- Фотометрическая классификация (звезды/галактики, звезды/квазары, сверхновые, ...)
- Морфологическая классификация галактик
- Солнечная активность

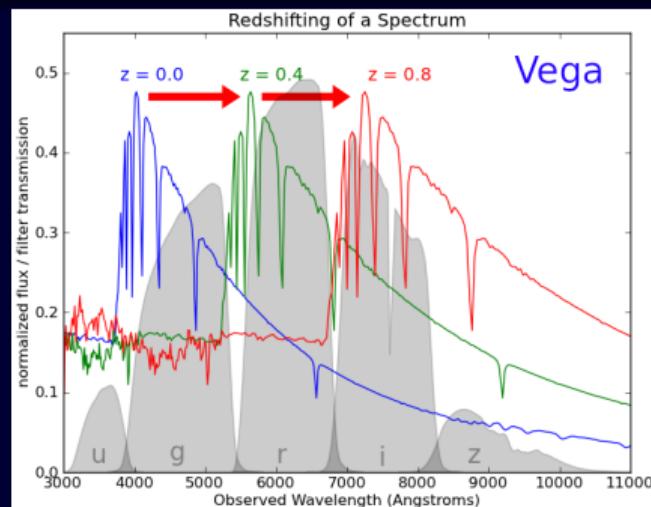


## Методы регрессий

- Искусственные нейросети
- Регрессии опорных векторов
- Квантование векторов обучения
- Деревья решений
- Случайный лес
- Регрессии K-ближайших соседей
- Ядерная регрессия
- Регрессия главных компонент
- Гауссовский процесс
- Регрессия наименьшими квадратами
- Случайный лес
- Частичные наименьшие квадраты

## Применение в астрофизике

- Фотометрические красные смещения (галактики, квазары)
- Определение фундаментальных параметров физики звезд (металличность, температура и пр.)

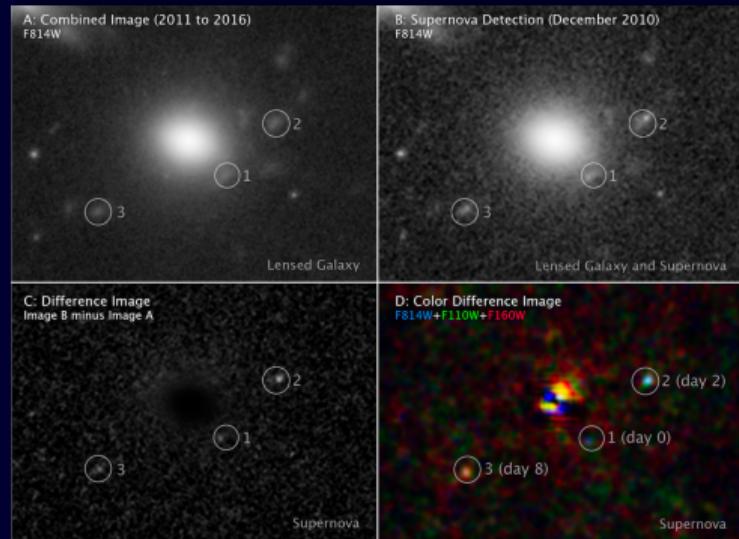


## Методы кластеризации

- Анализ главных компонент
- DBScan (основанный на плотности)
- Методом K-средних
- OPTICS (упорядочивание точек для определения структуры кластеризации)
- CobWeb (построение иерархического дерева классификации)
- Самоорганизующаяся карта (нейросеть без учителя)
- Максимизация ожидания
- Иерархическая кластеризация
- AutoClass (упрощенный байесовский)
- Модели гауссовских смесей (считаем точки сгенерированными из конечного числа гауссиан)

## Применение в астрофизике

- Многочисленные задачи классификации
- Обнаружение особых или редких объектов

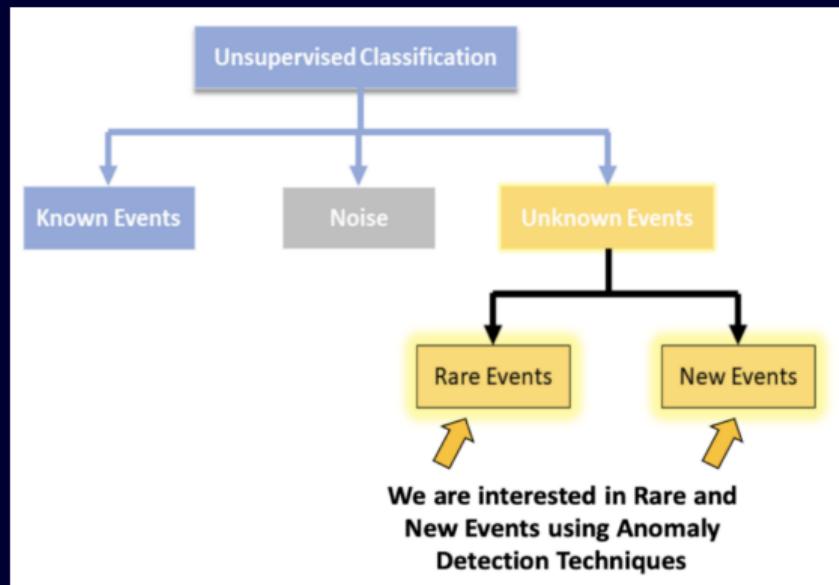


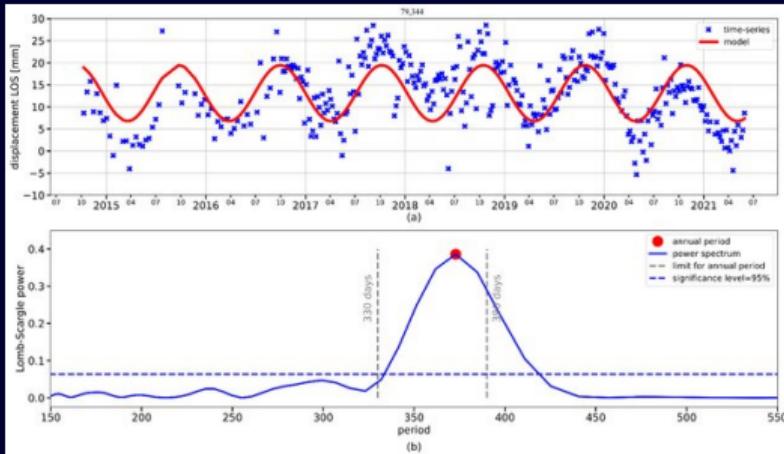
## Применение в астрофизике

- Обнаружение особых или редких объектов

### Методы поиска объектов

- Анализ главных компонент
- Методом K-средних
- Максимизация ожидания
- Иерархическая кластеризация
- Одноклассовая машина опорных векторов (One-class SVM)



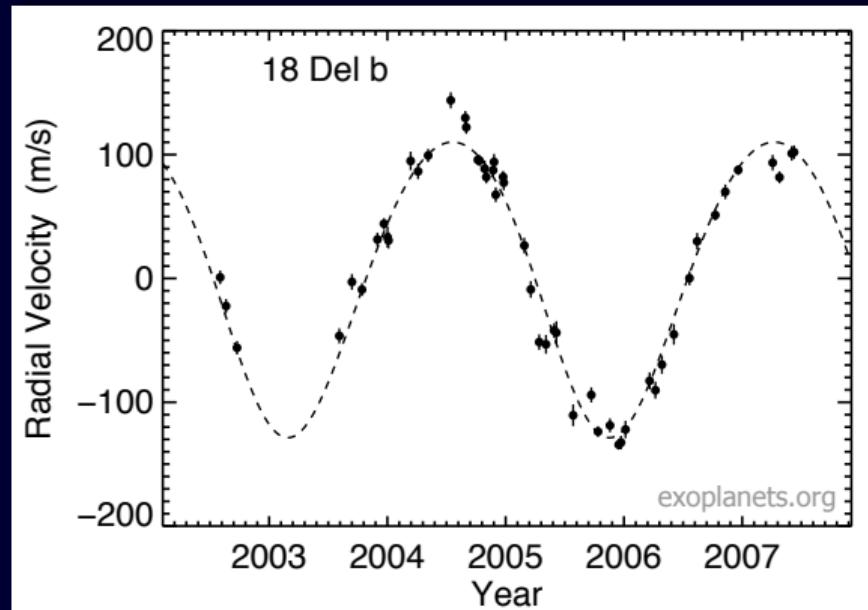


## Методы анализа временных рядов

- Фурье-анализ
- Вейвлет-анализ
- Периодограмма Ломба-Скаргла
- Искусственные нейронные сети
- Математика опорных векторов
- Случайный лес

## Применение в астрофизике

- Обнаружение новых явлений: переменности, экзопланет, солнечной активности ...
- Построение прогнозов



# Экзопланеты

Поиск по колебаниям лучевых скоростей, затменным (транзитным) способом, по модуляциям светимости звезды (если не в плоскости транзита), аномалии в периодах пульсаров (планеты около пульсара!), гравитационное микролинзирование, прямые снимки космическими телескопами и АО.

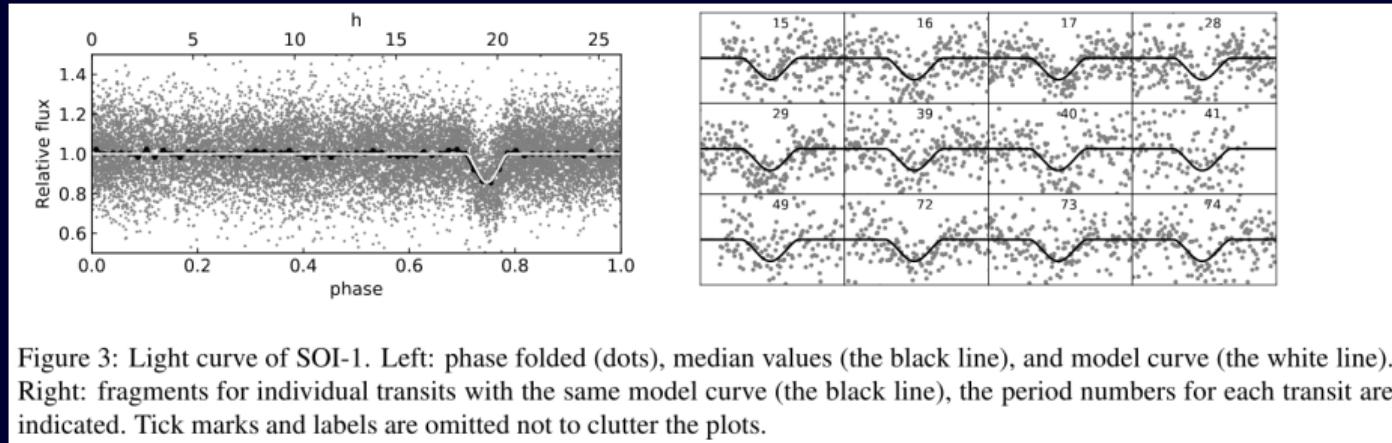
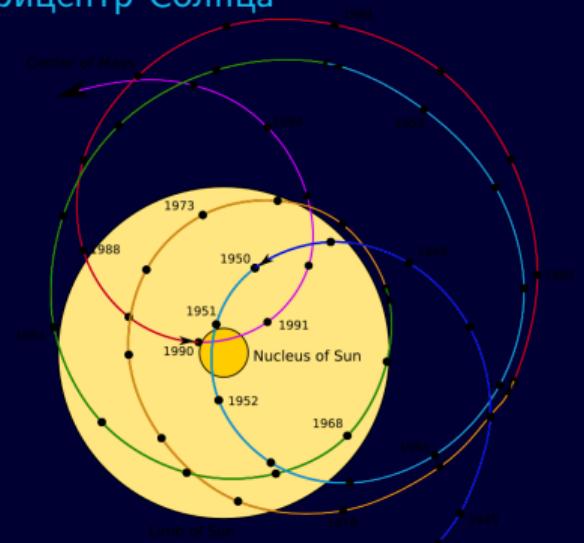
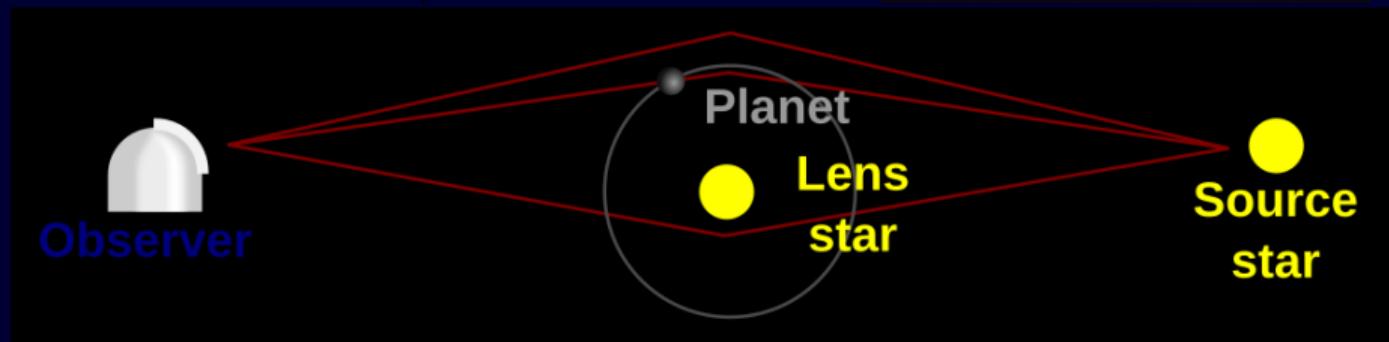


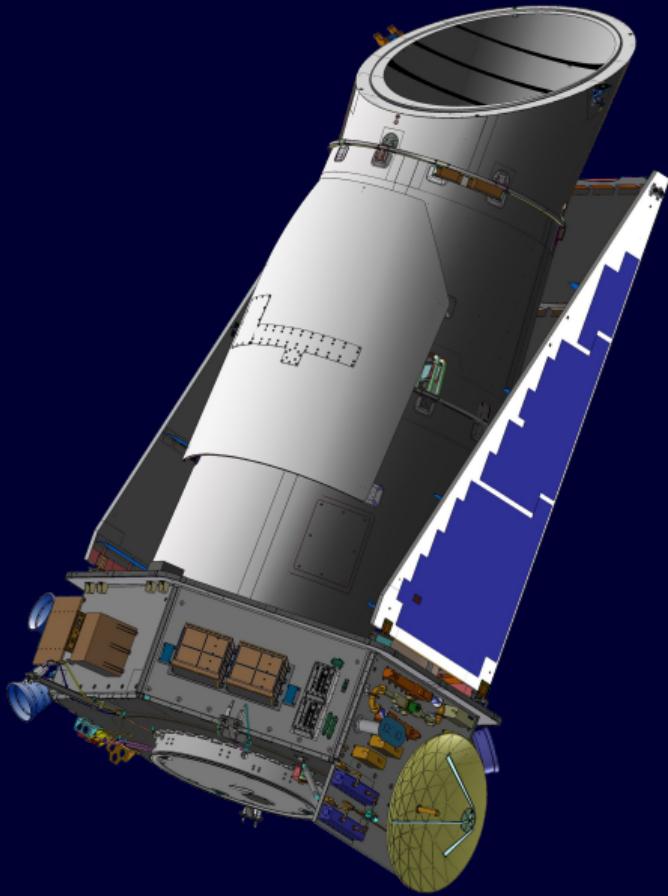
Figure 3: Light curve of SOI-1. Left: phase folded (dots), median values (the black line), and model curve (the white line). Right: fragments for individual transits with the same model curve (the black line), the period numbers for each transit are indicated. Tick marks and labels are omitted not to clutter the plots.

Барицентр Солнца



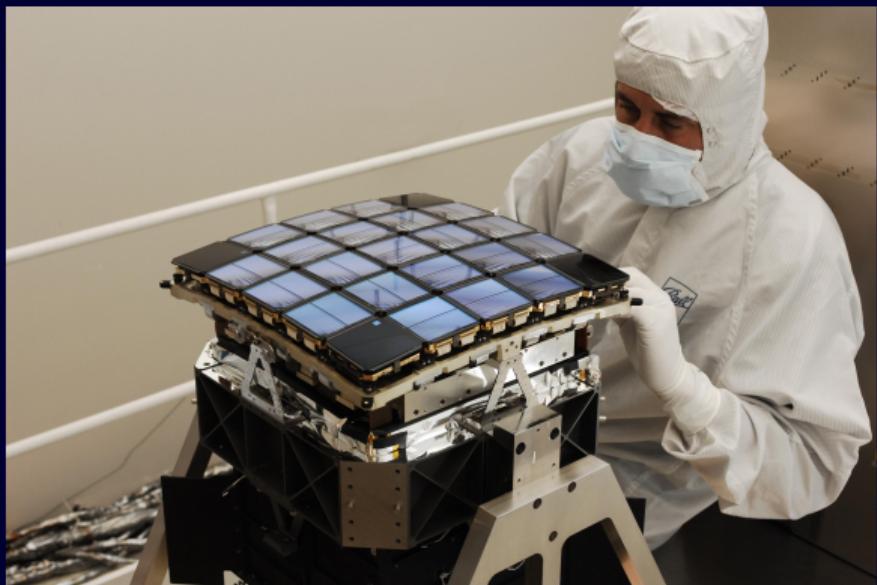
## Прямое изображение экзопланеты (VLT )





## Телескоп Кеплера

2009, поиск экзопланет. 0.95 м апертура, зеркало 1.4 м.  
42 ПЗС 2200x1024.  
 $\sim 0.5$  млрд.длр.



# Базы данных

- The Astrophysics Data System (ADS)
- The Sloan Digital Sky Survey (SDSS)
- SIMBAD (The Set of Identifications, Measurements and Bibliography for Astronomical Data)
- VizieR
- The Virtual Observatory (VO)
- ESO Online Digitized Sky Survey (DSS)

**Общий архив наблюдательных данных**

Позиция об. архива	Безопасность	Текущее состояние	Расписание (БТА / Источник-БТА)
<b>Б-М ТЕЛЕСКОПЫ</b>			
<input type="radio"/> CCD	1996-02-13 - 2000-04-30		
<input type="radio"/> IFP	1997-05-14 - 2000-03-02		
<input type="radio"/> LYNX	1996-02-28 - 2002-05-28		
<input type="radio"/> МИРРО-В	2024-07-15 - 2024-07-15		
<input type="radio"/> M0FS	1997-03-07 - 2001-08-18		
<input type="radio"/> MPFS	1996-08-18 - 2009-10-27		
<input type="radio"/> M5S	1996-05-28 - 2017-09-11		
<input type="radio"/> NES	1998-03-10 - 2019-10-19		
<input type="radio"/> PFES	1996-08-06 - 2001-01-07		
<input type="radio"/> SCORPIO			
<input type="radio"/> SP124	1996-02-18 - 2009-12-09		
<input type="radio"/> UMOS	1994-11-08 - 2005-10-28		
<b>Малые телескопы</b>			
<input type="radio"/> CBGS	1997-03-24 - 2010-10-26		
<input type="radio"/> MAGIC	2020-01-25 - 2025-02-02		

Начальная дата  Конечная дата   
или  
выбрать дату по ключевому слову наблюдений БТА YYYY-N-NNN

R.A.(J2000)  Decl.(J2000)   
(ra=hh mm ss.s; dec=dd mm ss.s или в градусной мере)  
или имя объекта:

Радиус поиска:  (arcmin)

Тип данных:  Режим наблюдения:

Автор программы:

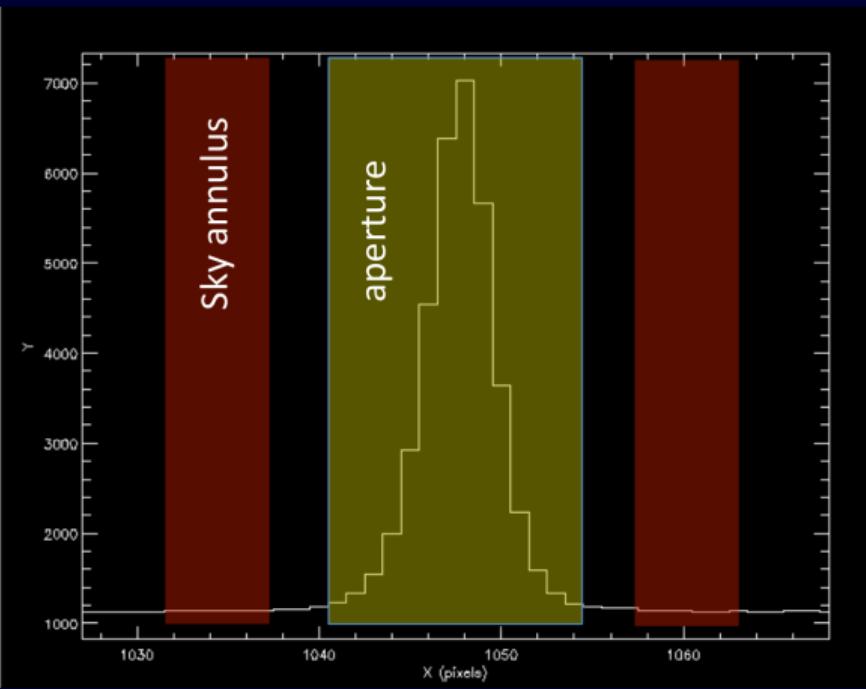
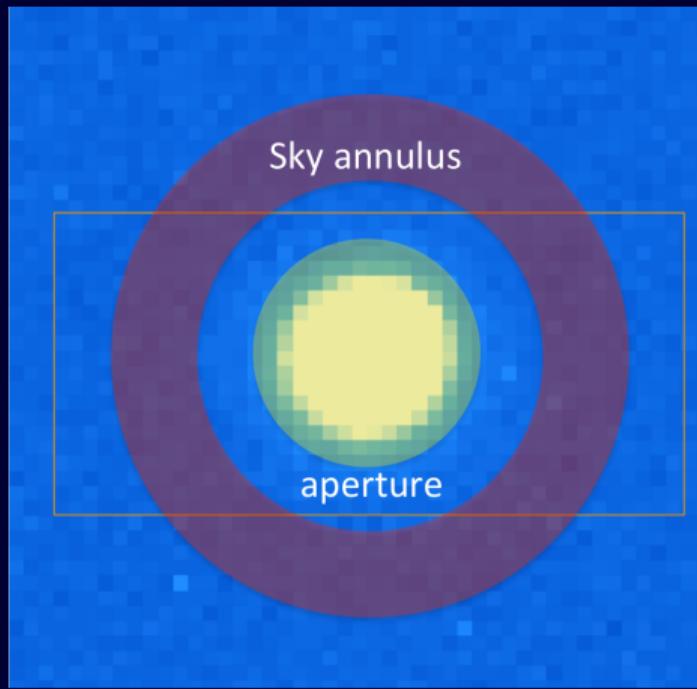
Справка

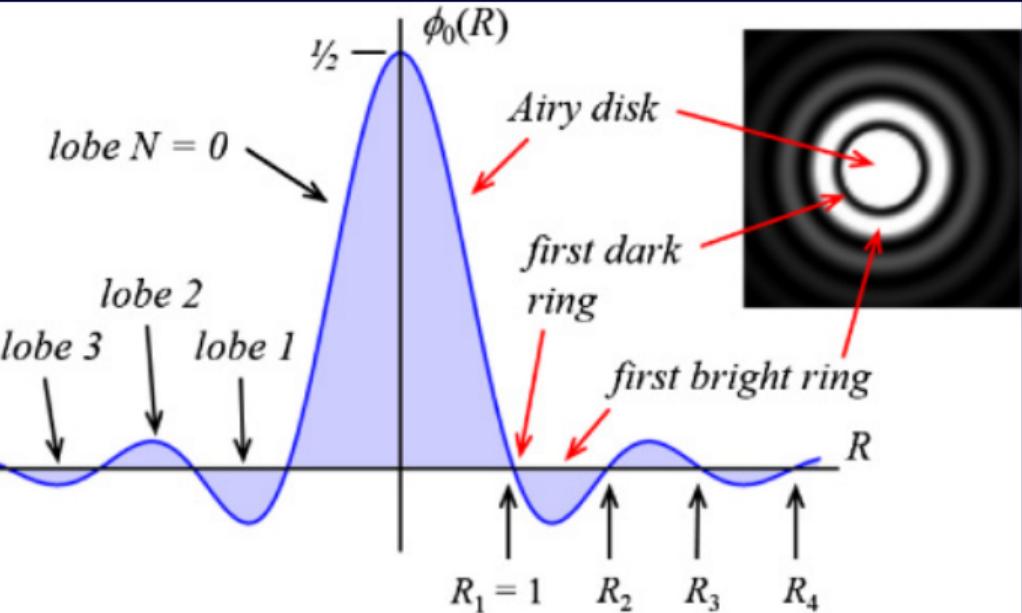
The screenshot shows the ADS (Astrophysics Data System) search interface. The search bar at the top contains the query "author:'Emelianov, E.V.'". Below the search bar, it says "Your search returned 23 results". The results are listed in a table with columns for rank, title, year, and abstract. The first result is a paper by Emelianov, E. V. titled "Some problems of developing astrophysical equipment and combining it with optical telescopes". The second result is a catalog from VizieR Online Data Catalog. The third result is a conference paper from 2024. The fourth result is another catalog from VizieR. The fifth result is a paper from 2024. The sixth result is a catalog from VizieR. On the left, there are sidebar filters for AUTHORS, COLLECTIONS, REFEREEED, INSTITUTIONS, KEYWORDS, PUBLICATIONS, BIB GROUPS, and SIMBAD OBJECTS. On the right, there are charts for Years, Citations, and Reads, and a section to limit results to papers from 2013 to 2025.

# Фотометрия и астрометрия

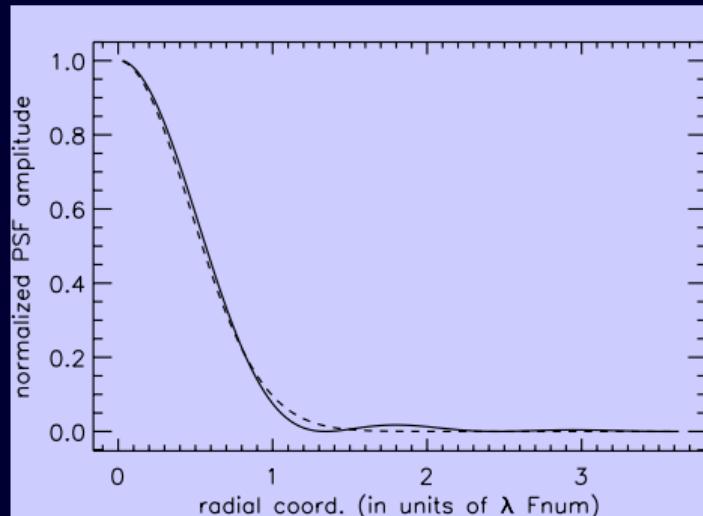
## Апертурная фотометрия

Проблема: определить радиусы апертур (звезды и фона).





Диск Эйри — идеальная ФРТ вне атмосферы. Эйри (сплошная) и гауссиана (пунктир).



SExtractor (Source-Extractor)<sup>1</sup> — утилита поиска объектов на астрономическом изображении (Emmanuel Bertin). Позволяет выявлять звездоподобные и протяженные объекты, проводить простую фотометрию. Работает с умеренно переполненными полями. Синтаксис:

```
sex Image1 [Image2] -c configuration-file [-Parameter1 Value1 -Parameter2 Value2  
...]
```

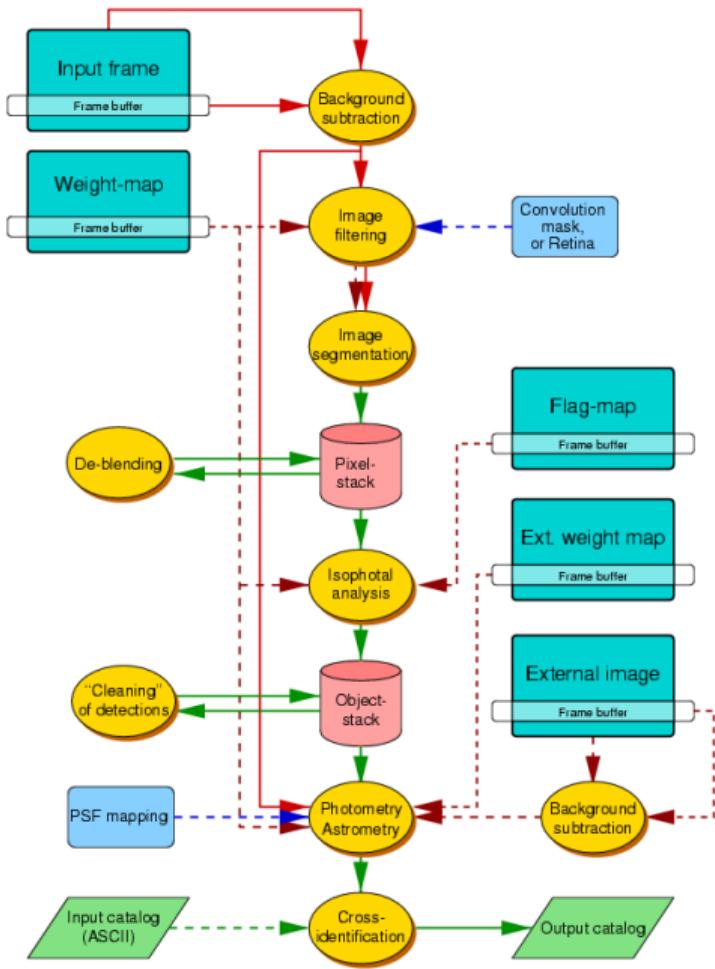
Конфигурация по умолчанию: 'sex -d > default.sex' (или dd для более интенсивного дампа). Простая команда sex выведет краткую (очень) справку.

Измерения: барицентры по изофотам, апертурная фотометрия, аппроксимация модельной функции для поиска источников.

Обязательно к прочтению: «Source Extractor for Dummies» by Dr. Benne W. Holverda.

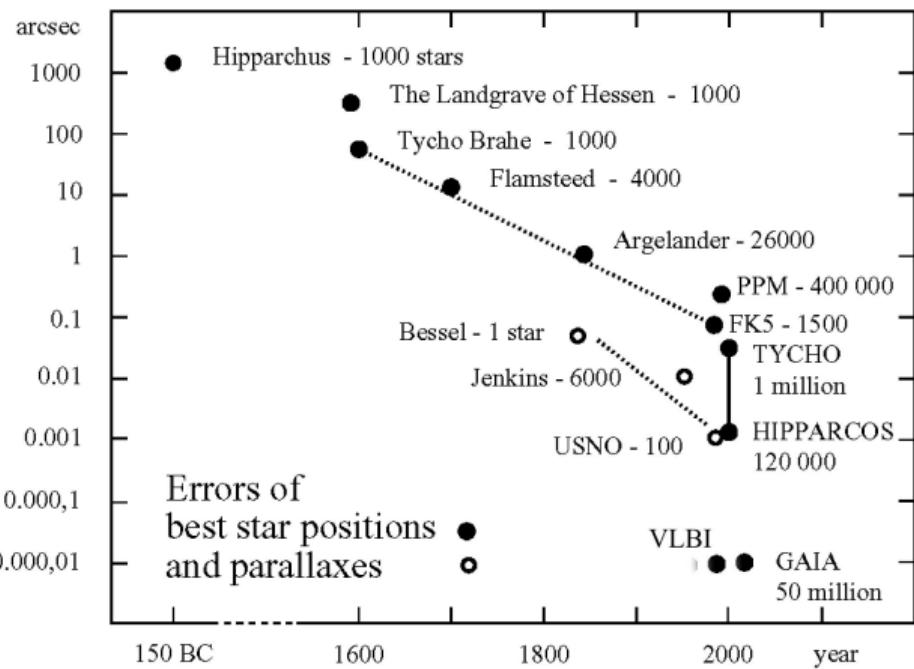
---

<sup>1</sup><https://sextractor.readthedocs.io/>



## Алгоритм

- Измерение фона и его RMS.
- Извлечение фона.
- Применение заданных фильтров.
- Поиск объектов (по порогу).
- Разделение «слившихся» объектов.
- Измерение их форм и положений.
- Выделение индивидуальных объектов.
- Фотометрия.
- Классификация (звезда или нет?).
- Формирование выходных файлов.



Астрометрия позволяет измерить точные координаты звезд на небе, а также определить их параллаксы и собственные движения. Первый каталог — Гиппарх, точность не выше  $1^\circ$ . XVI век — Тихо Браге,  $1'$ . XVII век — точность в единицы секунд в очень малом поле. Параллаксы до Бесселя (61 Лебедя, 3.5 пк) — 0! Микросекундной точности достиг запущенный в 1989 г. космический телескоп HIPPARCOS. Точность GAIA —  $0.00002''$  ( $20\mu\text{as}$ ) — толщина человеческого волоса с расстояния в 1000 км!

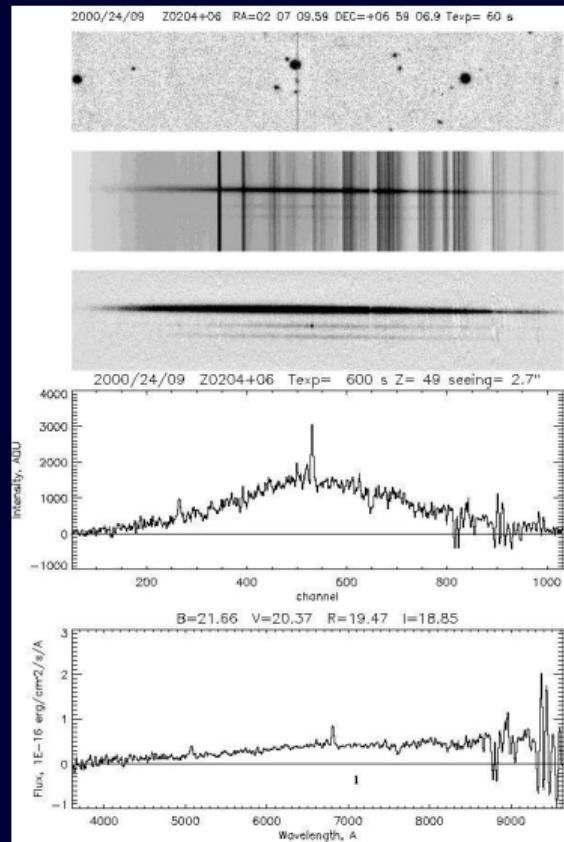
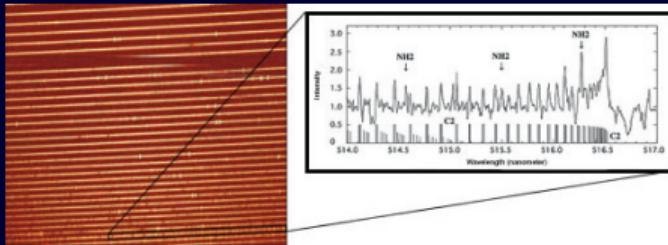
## Каталоги

- 1 **HIPPARCOS** — звезды до  $m_V = 7.3^m$ , точность астрометрии до  $1 \div 3 \text{ mas}$  (J1991.25). Полосы В и V для 188 тыс звезд. Собственные движения (PM)  $\sim 1 \div 2 \text{ mas/y}$ .
- 2 **TYCHO-2** — до  $m_V = 11^m$ , точность  $10 \div 100 \text{ mas}$ . 2.5 млн. звезд, PM  $\sim 1 \div 3 \text{ mas/y}$ .
- 3 **USNO B 1.0** — до  $m_V = 21^m$ , фотометрический каталог с точностью до  $0^m.3$ . Свыше миллиарда объектов.
- 4 **2MASS** — 470 миллионов объектов, точность до 70 mas. Полосы J, H и K. Без PM.
- 5 **SDSS** — фотометрический каталог четверти неба в пяти фильтрах, 287 миллионов объектов. Включает спектры галактик и квазаров.  
Библиотеки SOFA и ERFA (одно и то же с разными лицензиями) позволяют преобразовывать координаты между эпохами и вычислять видимое место.

# Спектроскопия

## Обработка спектров

- 1 Стандартная коррекция на dark, удаление космики, обработка калибровочных спектров (flat, thar).
- 2 Экстракция спектральных порядков объекта, flat и thar.
- 3 Нормализация спектров объекта и thar на flat.
- 4 Калибровка thar по каталогу.
- 5 Совмещение спектра объекта с калибровкой.
- 6 Получение единого спектра в заданном диапазоне.



# FITS-формат

FITS (англ. Flexible Image Transport System) — цифровой формат файлов, используемый в науке для хранения, передачи и редактирования изображений и их метаданных (электронных таблиц). Метаданные изображения хранятся в удобочитаемом заголовке формата ASCII.

Каждый файл FITS имеет один или несколько заголовков, содержащих ASCII-строки (фиксированной длины в 80 символов) из пар ключ/значение, перемежающихся между блоками данных.

(blank)	CROTA <sub>n</sub>	EQUINOX	NAXIS <sub>n</sub>	TBCOL <sub>n</sub>	TUNIT <sub>n</sub>
AUTHOR	CRPIX <sub>n</sub>	EXTEND	OBJECT	TDIM <sub>n</sub>	TZERO <sub>n</sub>
BITPIX	CRVAL <sub>n</sub>	EXTLEVEL	OBSERVER	TDISP <sub>n</sub>	XTENSION
BLANK	CTYPE <sub>n</sub>	EXTNAME	ORIGIN	TELESCOP	
BLOCKED	DATAMAX	EXTVER	PCOUNT	TFIELDS	
BSCALE	DATAMIN	GCOUNT	PSCAL <sub>n</sub>	TFORM <sub>n</sub>	
BUNIT	DATE	GROUPS	PTYPE <sub>n</sub>	THEAP	
BZERO	DATE-OBS	HISTORY	PZERO <sub>n</sub>	TNULL <sub>n</sub>	
CDELT <sub>n</sub>	END	INSTRUME	REFERENC	TSCAL <sub>n</sub>	
COMMENT	EPOCH	NAXIS	SIMPLE	TTYPE <sub>n</sub>	

```

WCSAXES = 2 / no comment
CTYPE1 = 'RA---TAN-SIP' / TAN (gnomonic) projection + SIP distortions
CTYPE2 = 'DEC---TAN-SIP' / TAN (gnomonic) projection + SIP distortions
EQUINOX = 2000.0 / Equatorial coordinates definition (yr)
LONPOLE = 180.0 / no comment
LATPOLE = 0.0 / no comment
CRVAL1 = 108.774262346 / RA of reference point
CRVAL2 = 1.00291905897 / DEC of reference point
CRPIX1 = 1913.62332153 / X reference pixel
CRPIX2 = 2259.99996948 / Y reference pixel
CUNIT1 = 'deg' / X pixel scale units
CUNIT2 = 'deg' / Y pixel scale units
CD1_1 = 1.93656168178E-05 / Transformation matrix
CD1_2 = 0.000375521234425 / no comment
CD2_1 = 0.000374992628831 / no comment
CD2_2 = -1.99221412252E-05 / no comment
IMAGEW = 4152 / Image width, in pixels.
IMAGEH = 4128 / Image height, in pixels.
A_ORDER = 2 / Polynomial order, axis 1
A_0_0 = 0 / no comment
A_0_1 = 0 / no comment
A_0_2 = 2.23413532844E-07 / no comment
A_1_0 = 0 / no comment
A_1_1 = 7.05215731575E-07 / no comment
A_2_0 = -8.60578324599E-07 / no comment
B_ORDER = 2 / Polynomial order, axis 2
B_0_0 = 0 / no comment
B_0_1 = 0 / no comment
B_0_2 = 1.80616011802E-06 / no comment
B_1_0 = 0 / no comment
B_1_1 = -1.41943171715E-06 / no comment
B_2_0 = 1.0330722919E-06 / no comment
AP_ORDER= 2 / Inv polynomial order, axis 1
AP_0_0 = -0.00132844758312 / no comment
AP_0_1 = -9.98719770897E-07 / no comment
AP_0_2 = -2.23862742222E-07 / no comment
AP_1_0 = 6.90285387795E-06 / no comment
AP_1_1 = -7.06270593524E-07 / no comment
AP_2_0 = 8.62112722212E-07 / no comment
BP_ORDER= 2 / Inv polynomial order, axis 2
BP_0_0 = 0.0089967131973 / no comment

```

## WCS

WCS – World Coordinate System. ICRS – International Celestial Reference System (привязка к барицентру Солнечной системы). Ключевые слова WCS в FITS-шапке позволяют осуществить однозначную привязку пиксельных координат к мировым (и обратно). Для линейных преобразований: **CTYPEi** – тип оси, **CRPIXi** – опорный пиксель (в пиксельных координатах), **CRVALi** – значение мировых координат в этом пикселе ( $1 - \alpha$ ,  $2 - \delta$ ), **CDELTi** – масштаб по соответствующей оси, **CROTA2** – угол поворота, **CDi\_j** – матрица коэффициентов, описывающих поворот осей и масштаб, **CUNITi** – единицы измерения по данной оси.

## Простейший случай

Обозначим **CRPIX** –  $p$ , **CRVAL** –  $\alpha_0$  и  $\delta_0$ ,  
**CDELT** –  $d$ , **CROTA2** –  $r$ , **CD** –  $c$ , тогда

$$\begin{cases} \alpha - \alpha_0 = d_1(x - p_1) \cos r - d_2(y - p_2) \sin r, \\ \delta - \delta_0 = d_1(x - p_1) \sin r + d_2(y - p_2) \cos r; \end{cases}$$

$$\begin{cases} \alpha - \alpha_0 = c_{11}(x - p_1) - c_{12}(y - p_2), \\ \delta - \delta_0 = c_{21}(x - p_1) + c_{22}(y - p_2). \end{cases}$$

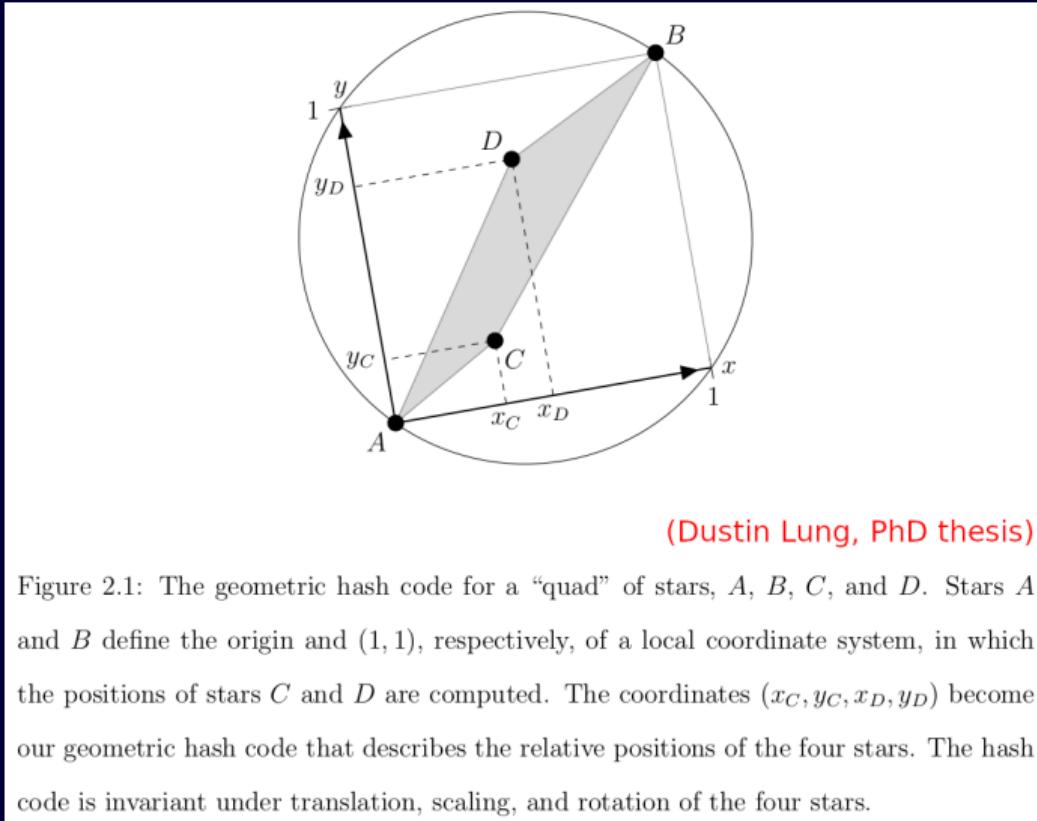
$$\begin{pmatrix} c_{11} & c_{12} \\ c_{21} & c_{22} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} d_1 \cos r & -d_2 \sin r \\ d_1 \sin r & d_2 \cos r \end{pmatrix}$$

Пакет **wcstools**. Утилиты **xy2sky** и **sky2xy**.  
Полный список: **man wcstools** или утилита  
**wcstools**. **imcat** отображает объекты из  
каталогов (каталоги необходимо сохранить в  
поддиректории **/data/astrocat/**). **imhead** –  
отобразить шапку. И множество других  
утилит для работы с WCS и шапкой файлов.  
Утилита **ds9** имеет возможность отображать  
объекты из различных каталогов.

## Построение базы данных.

- 1 Используя астрометрические каталоги построить базу данных особого вида признаков (хешей).
- 2 Хеши должны быть масштабируемыми для ускорения поиска по разным изображениям.
- 3 Функция сравнения хешей должна учитывать погрешности каталогов, шум и aberrации изображений.
- 4 На изображениях вполне могут находиться звезды, которых нет в каталогах и обратно: часть звезд может отсутствовать.
- 5 Функция сравнения хешей должна быть устойчивой и однозначной.
- 6 Вначале на снимке ищутся эти самые признаки, по ним определяются масштаб, ориентация и координаты изображения. Далее происходит собственно астрометрия.

- 7 Хешами служит набор чисел, определяющих относительные координаты внутренних двух звезд внутри квадрата, сформированного внешними двумя. В результате образуется четырехмерный код, характеризующий данный признак. Зеркалирование изображения приводит к зеркалированию кода, приводя к вырождению признака относительно зеркалирования, однако, хеш инвариантен к масштабированию, переносу и повороту.
- 8 Для равномерно распределенных в пространстве звезд хеши равномерно распределены в 4D.
- 9 Хеш строится лишь по таким четверкам примерно одинаковой яркости, где С и D внутри круга АВ.
- 10 Каталоги: USNO-B (миллиард объектов) и TYCHO-2 (2.5 млн ярчайших звезд).
- 11 Небесная сфера последовательно масштабируется, для каждого масштаба отбирается несколько ярчайших признаков соответствующих масштабу размеров.
- 12 Объекты каждой ячейки кодируются и образуют четырехмерное дерево.



## Процедура астрометрии.

- 1 Идентификация объектов на изображении и определение координат звезд (например, используя SExtractor).
- 2 Обнаружение всех подходящих квадратов и вычисление соответствующих им хешей.
- 3 Поиск совпадений (с заданной точностью) в базе данных.
- 4 Если пара квадратов отождествлена, по остальным проводится уточнение ориентации положения и масштаба кадра.
- 5 Если отождествлен лишь один квадрат, поиск считается неудачным.
- 6 Для ускорения поиска желательно указать диапазон масштабов изображения, примерные координаты центра и допуск на радиус поиска.

# Применение CS в CAO РАН

## Ваши знания и умения:

- Английский язык.
- GNU/Linux на уровне разработчика с элементами администрирования.
- Уверенный уровень  $\text{\LaTeX}$  с базовым  $\text{\TeX}$ .
- Языки программирования: C, C++ и прочие.
- Разработка клиент-серверных приложений (backend, frontend).
- Математический аппарат, системы обработки данных.
- Основы автоматических систем управления.
- Основы аналоговой и цифровой схемотехники.

- Системы проектирования и разработки: KiCAD, LibreCAD, FreeCAD, ...

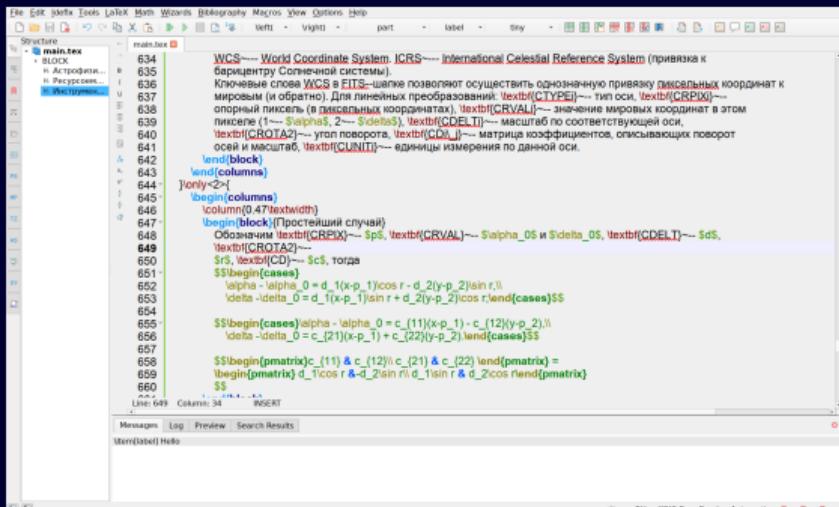


# Применение CS в CAO РАН

## Ваши знания и умения:

- Английский язык.
- GNU/Linux на уровне разработчика с элементами администрирования.
- Уверенный уровень  $\text{\LaTeX}$  с базовым  $\text{\TeX}$ .
- Языки программирования: C, C++ и прочие.
- Разработка клиент-серверных приложений (backend, frontend).
- Математический аппарат, системы обработки данных.
- Основы автоматических систем управления.
- Основы аналоговой и цифровой схемотехники.

Системы проектирования и разработки:  
KiCAD, LibreCAD, FreeCAD, ...



The screenshot shows a LaTeX editor window with the file 'main.tex' open. The code deals with the World Coordinate System (WCS) and International Celestial Reference System (ICRS). It includes definitions for pixel coordinates (\$x\_{pix}\$, \$y\_{pix}\$), world coordinates (\$x\_{world}\$, \$y\_{world}\$), and various transformation matrices (\$\alpha\_0\$, \$\delta\_0\$, \$C\_{ROT2}\$, \$CD\$, \$CDLT\$) and cases for different coordinate pairs. The interface includes a menu bar, toolbars, and a sidebar showing the file structure.

```
WCS---- World Coordinate System. ICRS---- International Celestial Reference System (привязка к баризентру Солнечной системы).
Ключевые слова WCS в ETS---шапки позволяют осуществлять однозначную привязку пиксельных координат к мировым (и обратно) для линейных преобразований. \textbf{x}(CRPIX)--- тип оси, \textbf{x}(CRPIX)--- опорный пикセル (в пиксельных координатах). \textbf{x}(CRVAL)--- значение мировых координат в этом пикселе (1---$\alpha_0$, 2---$\delta_0$). \textbf{x}(CDLT)--- масштаб по соответствующей оси, \textbf{x}(CROTA2)--- угол поворота. \textbf{x}(CD)--- матрица коэффициентов, ссылающаяся на оси и масштаб. \textbf{x}(CUNIT)--- единицы измерения по данной оси.

\begin{block}
\end{block}
\begin{columns}
\begin{block}[Простейший случай]
Обозначим \textbf{x}(CRPIX)--- $Sp$. \textbf{x}(CRVAL)--- $S\alpha_0$ и $S\delta_0$. \textbf{x}(CDLT)--- $Sd$.
\textbf{x}(CROTA2)---
$Sd$. \textbf{x}(CD)--- $Sc$, тогда
\begin{cases}
\alpha_0 = \alpha_0 + d_1(x-p_1)\cos r - d_2(y-p_2)\sin r, \\
\delta_0 = \delta_0 + d_1(x-p_1)\sin r + d_2(y-p_2)\cos r
\end{cases} \text{end} \{cases\} $Sd$.
\end{block}
\begin{block}[\alpha_0 = c_{(1)}(x-p_1) + c_{(2)}(y-p_2), \delta_0 = c_{(3)}(x-p_1) + c_{(4)}(y-p_2)]
\begin{pmatrix} \alpha_0 \\ \delta_0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} c_{(1)} & c_{(2)} \\ c_{(3)} & c_{(4)} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x-p_1 \\ y-p_2 \end{pmatrix}
\end{pmatrix} \text{end} \{pmatrix\} $Sc$.
\end{cases} \text{end} \{pmatrix\} $Sc$.
\end{block}
\end{columns}
\end{block}
\end{array}
```

## Применение CS в CAO РАН

### Ваши знания и умения:

- Английский язык.
  - GNU/Linux на уровне разработчика с элементами администрирования.
  - Уверенный уровень  $\text{\LaTeX}$  с базовым  $\text{\TeX}$ .
  - Языки программирования: C, C++ и прочие.
  - Разработка клиент-серверных приложений (backend, frontend).
  - Математический аппарат, системы обработки данных.
  - Основы автоматических систем управления.
  - Основы аналоговой и цифровой схемотехники.

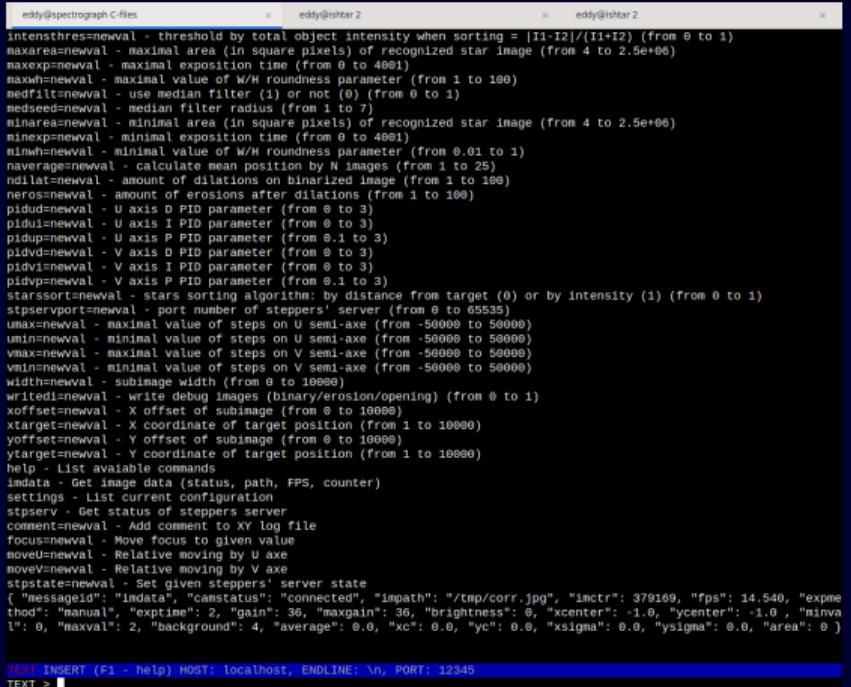
## Системы проектирования и разработки: KiCAD, LibreCAD, FreeCAD, ...

# Применение CS в CAO РАН

## Ваши знания и умения:

- Английский язык.
- GNU/Linux на уровне разработчика с элементами администрирования.
- Уверенный уровень  $\text{\LaTeX}$  с базовым  $\text{\TeX}$ .
- Языки программирования: C, C++ и прочие.
- Разработка клиент-серверных приложений (backend, frontend).
- Математический аппарат, системы обработки данных.
- Основы автоматических систем управления.
- Основы аналоговой и цифровой схемотехники.

Системы проектирования и разработки:  
KiCAD, LibreCAD, FreeCAD, ...



The screenshot shows a terminal window with a blue header bar containing the text "eddy@spectrograph C:\files". Below the header, there is a scrollable list of command-line options for a software tool. The options include various parameters such as thresholds, areas, and filter types. At the bottom of the window, there is a red status bar with the text "TEXT INSERT (F1 - help) HOST: localhost, ENDLINE: \n, PORT: 12345" and a small "TEXT >" indicator.

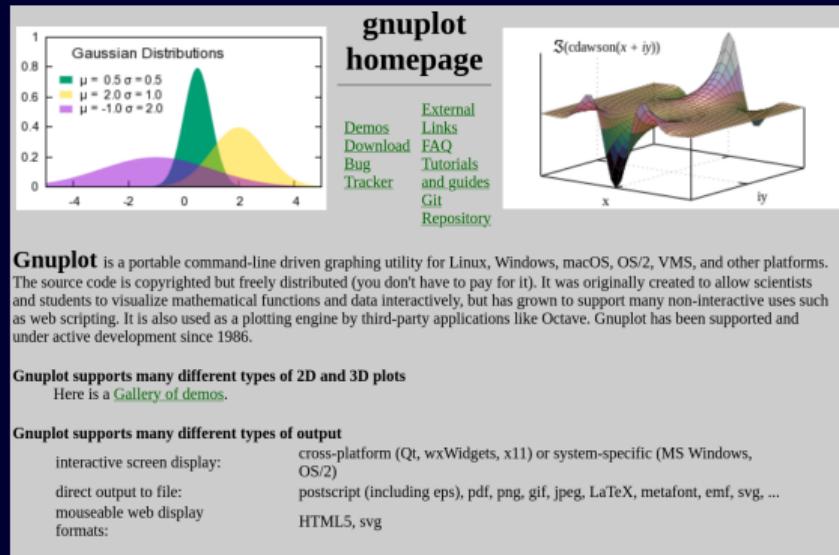
```
intensitythresh=newVal - threshold by total object intensity when sorting = |I1-I2|/(I1+I2) (from 0 to 1)
maxarea=newVal - maximal area (in square pixels) of recognized star image (from 4 to 2.5e+06)
maxexp=newVal - maximal exposition time (from 0 to 4000)
maxwh=newVal - maximal value of W/H roundness parameter (from 1 to 100)
medfilt=newVal - use median filter (1) or not (0) (from 0 to 1)
medseed=newVal - median filter radius (from 1 to 7)
minarea=newVal - minimal area (in square pixels) of recognized star image (from 4 to 2.5e+06)
minexp=newVal - minimal exposition time (from 0 to 4000)
minwh=newVal - minimal value of W/H roundness parameter (from 0.01 to 1)
naverage=newVal - calculate mean position by N images (from 1 to 25)
ndilate=newVal - amount of dilations on binarized image (from 1 to 100)
pidlat=newVal - amount of dilations after erosions (from 1 to 100)
neros=newVal - amount of erosions after dilations (from 1 to 100)
pidud=newVal - U axis D PID parameter (from 0 to 3)
pidui=newVal - U axis I PID parameter (from 0 to 3)
pidup=newVal - U axis P PID parameter (from 0.1 to 3)
pidvd=newVal - V axis D PID parameter (from 0 to 3)
pidvi=newVal - V axis I PID parameter (from 0 to 3)
pidvp=newVal - V axis P PID parameter (from 0.1 to 3)
starsort=newVal - stars sorting algorithm: by distance from target (0) or by intensity (1) (from 0 to 1)
stpservport=newVal - port number of steppers' server (from 0 to 65535)
umax=newVal - maximal value of steps on U semi-axe (from -50000 to 50000)
umin=newVal - minimal value of steps on U semi-axe (from -50000 to 50000)
vmax=newVal - maximal value of steps on V semi-axe (from -50000 to 50000)
vmin=newVal - minimal value of steps on V semi-axe (from -50000 to 50000)
width=newVal - subimage width (from 0 to 10000)
writedi=newVal - write debug images (binary/erosion/opening) (from 0 to 1)
xoffset=newVal - X offset of subimage (from 0 to 10000)
xtarget=newVal - X coordinate of target position (from 1 to 10000)
yoffset=newVal - Y offset of subimage (from 0 to 10000)
ytarget=newVal - Y coordinate of target position (from 1 to 10000)
help - List available commands
imdata - Get image data (status, path, FPS, counter)
settings - List current configuration
stpserv - Get status of steppers server
comment=newVal - Add comment to XY log file
focus=newVal - Move focus to given value
moved=newVal - Relative moving by U axe
moveV=newVal - Relative moving by V axe
stpsstate=newVal - Set given steppers' server state
{
  "messageid": "imdata",
  "camstatus": "connected",
  "impath": "/tmp/corr.jpg",
  "imctr": 379169,
  "fps": 14.540,
  "expmeth": "manual",
  "exptime": 2,
  "gain": 36,
  "maxgain": 36,
  "brightness": 0,
  "xcenter": +1.0,
  "ycenter": -1.0,
  "minval": 0,
  "maxval": 2,
  "background": 4,
  "average": 0.0,
  "xc": 0.0,
  "yc": 0.0,
  "xsigma": 0.0,
  "ysigma": 0.0,
  "area": 0
}
```

# Применение CS в CAO РАН

## Ваши знания и умения:

- Английский язык.
- GNU/Linux на уровне разработчика с элементами администрирования.
- Уверенный уровень  $\text{\LaTeX}$  с базовым  $\text{\TeX}$ .
- Языки программирования: C, C++ и прочие.
- Разработка клиент-серверных приложений (backend, frontend).
- Математический аппарат, системы обработки данных.
- Основы автоматических систем управления.
- Основы аналоговой и цифровой схемотехники.

- Системы проектирования и разработки: KiCAD, LibreCAD, FreeCAD, ...



**Gnuplot** is a portable command-line driven graphing utility for Linux, Windows, macOS, OS/2, VMS, and other platforms. The source code is copyrighted but freely distributed (you don't have to pay for it). It was originally created to allow scientists and students to visualize mathematical functions and data interactively, but has grown to support many non-interactive uses such as web scripting. It is also used as a plotting engine by third-party applications like Octave. Gnuplot has been supported and under active development since 1986.

Gnuplot supports many different types of 2D and 3D plots  
Here is a [Gallery of demos](#).

Gnuplot supports many different types of output

interactive screen display:

direct output to file:

mouseable web display formats:

cross-platform (Qt, wxWidgets, x11) or system-specific (MS Windows, OS/2)

postscript (including eps), pdf, png, gif, jpeg, LaTeX, metafont, emf, svg, ...

HTML5, svg

# Применение CS в САО РАН

## Ваши знания и умения:

- Английский язык.
- GNU/Linux на уровне разработчика с элементами администрирования.
- Уверенный уровень  $\text{\LaTeX}$  с базовым  $\text{\TeX}$ .
- Языки программирования: C, C++ и прочие.
- Разработка клиент-серверных приложений (backend, frontend).
- Математический аппарат, системы обработки данных.
- Основы автоматических систем управления.
- Основы аналоговой и цифровой схемотехники.

- Системы проектирования и разработки: KiCAD, LibreCAD, FreeCAD, ...

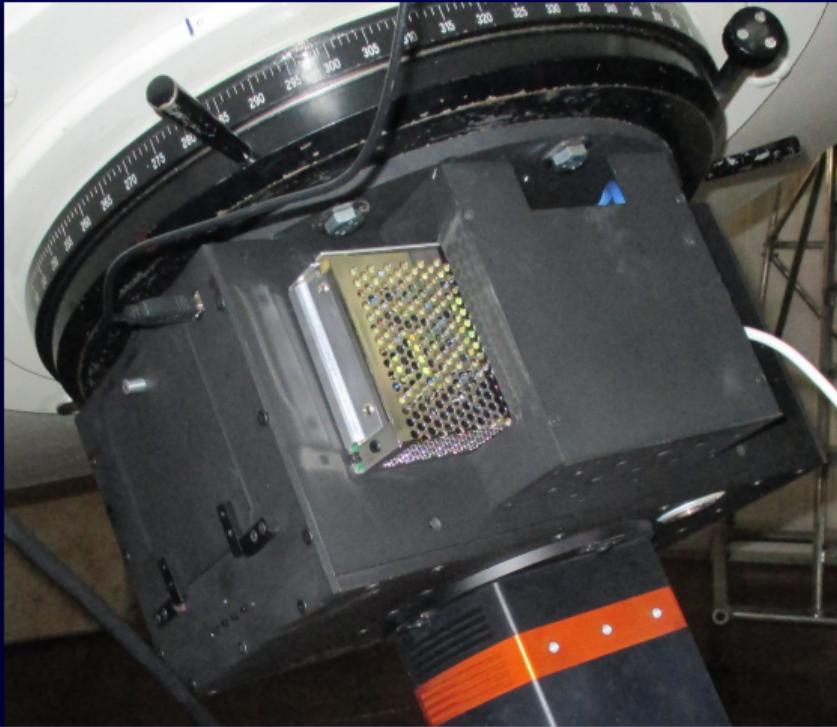


# Применение CS в САО РАН

## Ваши знания и умения:

- Английский язык.
- GNU/Linux на уровне разработчика с элементами администрирования.
- Уверенный уровень  $\text{\LaTeX}$  с базовым  $\text{\TeX}$ .
- Языки программирования: C, C++ и прочие.
- Разработка клиент-серверных приложений (backend, frontend).
- Математический аппарат, системы обработки данных.
- Основы автоматических систем управления.
- Основы аналоговой и цифровой схемотехники.

- Системы проектирования и разработки: KiCAD, LibreCAD, FreeCAD, ...

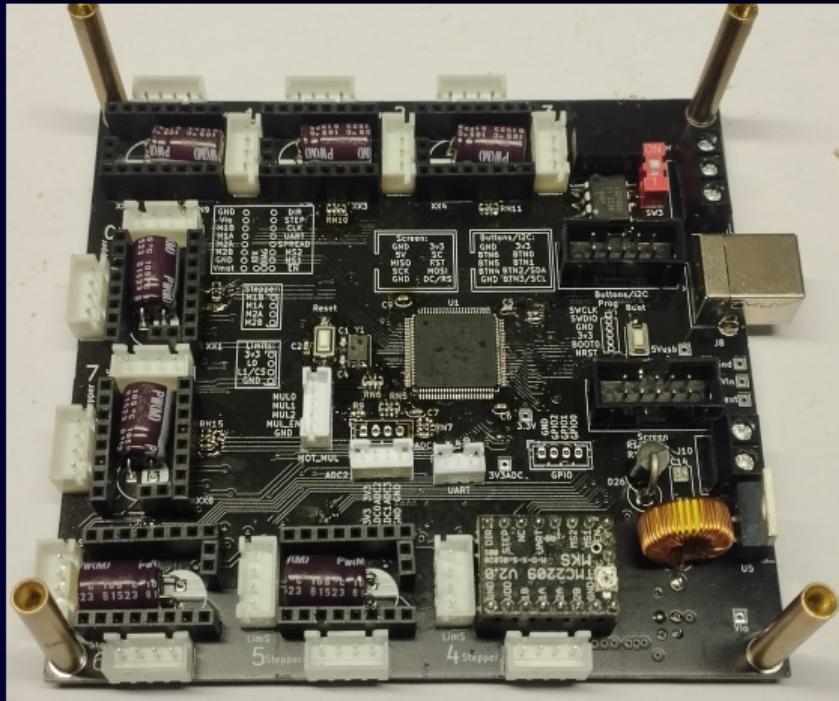


## Применение CS в CAO РАН

### Ваши знания и умения:

- Английский язык.
  - GNU/Linux на уровне разработчика с элементами администрирования.
  - Уверенный уровень  $\text{\LaTeX}$  с базовым  $\text{\TeX}$ .
  - Языки программирования: C, C++ и прочие.
  - Разработка клиент-серверных приложений (backend, frontend).
  - Математический аппарат, системы обработки данных.
  - Основы автоматических систем управления.
  - Основы аналоговой и цифровой схемотехники.

## Системы проектирования и разработки: KiCAD, LibreCAD, FreeCAD, ...

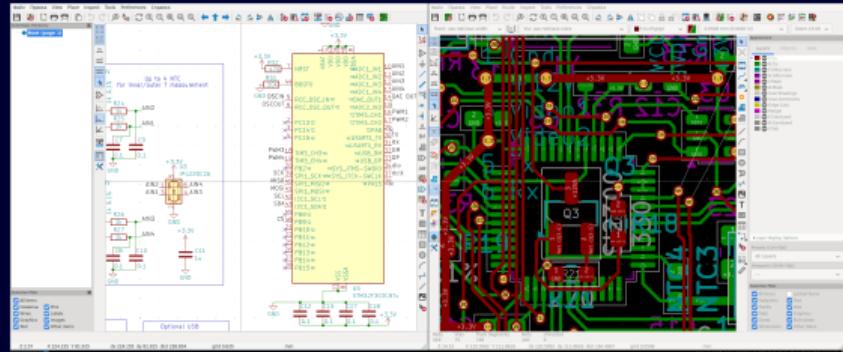


# Применение CS в CAO РАН

## Ваши знания и умения:

- Английский язык.
- GNU/Linux на уровне разработчика с элементами администрирования.
- Уверенный уровень  $\text{\LaTeX}$  с базовым  $\text{\TeX}$ .
- Языки программирования: C, C++ и прочие.
- Разработка клиент-серверных приложений (backend, frontend).
- Математический аппарат, системы обработки данных.
- Основы автоматических систем управления.
- Основы аналоговой и цифровой схемотехники.

- Системы проектирования и разработки: KiCAD, LibreCAD, FreeCAD, ...

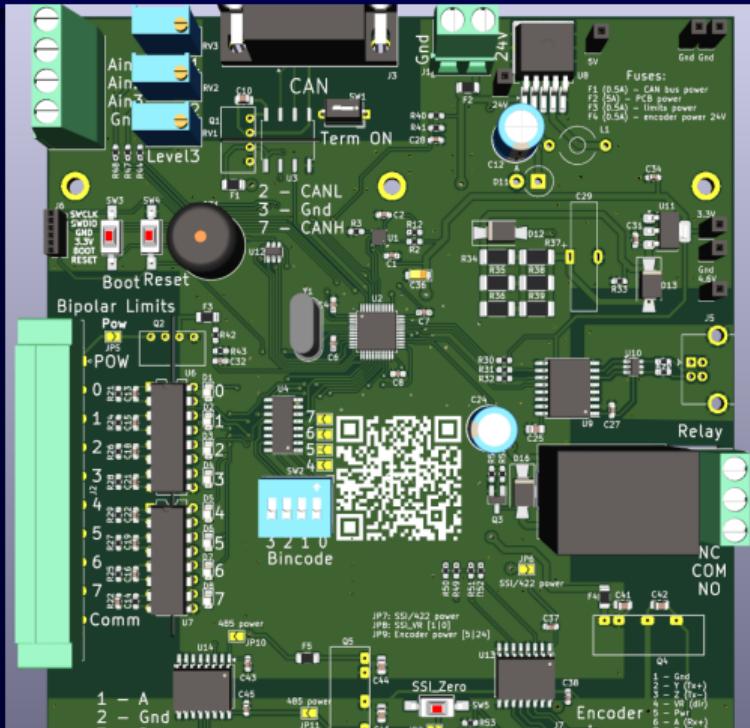


# Применение CS в CAO РАН

## Ваши знания и умения:

- Английский язык.
- GNU/Linux на уровне разработчика с элементами администрирования.
- Уверенный уровень  $\text{\LaTeX}$  с базовым  $\text{\TeX}$ .
- Языки программирования: C, C++ и прочие.
- Разработка клиент-серверных приложений (backend, frontend).
- Математический аппарат, системы обработки данных.
- Основы автоматических систем управления.
- Основы аналоговой и цифровой схемотехники.

- Системы проектирования и разработки: KiCAD, LibreCAD, FreeCAD, ...



## Ваша деятельность:

- Поддержка и пополнение архивов; разработка методик оптимизации работы с данными в архивах.
- Обработка наблюдательных данных и совершенствование радиотелескопа.
- Разработка новых программно-аппаратных решений для повышения качества наблюдений.
- Исследование астроклимата и микроклимата.
- Развитие систем и методов широкоугольного оптического мониторинга неба.
- Распределенные системы управления астрофизическим экспериментом.

- Исследование оптических телескопов и аппаратуры.
- Поддержка и модернизация АСУ телескопом и аппаратурой.

20 YEARS RFBR project № 96-07-49975  
1995-2015

База данных CATS – система поддержки астрофизических каталогов  
CATS Database - Astrophysical Catalogs support System

Борис Годунов  
и. Павел Федоринов

CATS list of catalogs (~120 kb)  
Search of catalogs with JavaScript Control panels:  
Ordering by Author's name | sorted with directory name  
• Table of the major radio sources [English], [Russian]  
• The CATS database [English], [Russian]  
• Context search in the catalog descriptions  
• Coordinate search of objects: [Select in celestial area] and [Match around celestial point] 🔍  
• Search of objects by name in NED database

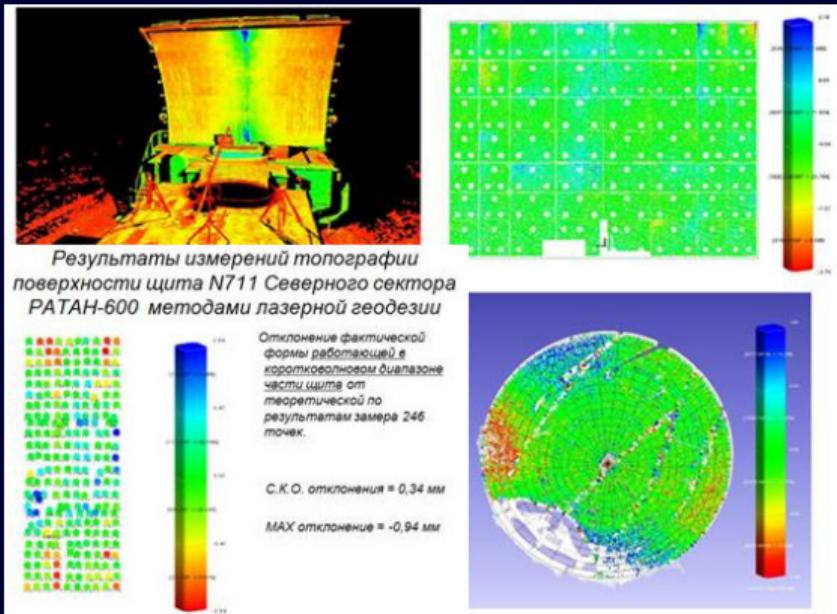
Radio spectra on-line plotting:

Bright sources (with CATS-identifications)	Galactic plane sources	Multi-wavelength catalogs	RAIAN studies
3CR sources (Spiral+, 1985)	230 Galactic SNRs (Tsvetkova, 1999)	Dy-sources (Noble+ 1979, 1981)	"COLD"-sources, DEC=54 (Bartov, 1996)
IC sources (Walterbos+, 2003)	Pulsars (Lorimer+, 1995)	PKSCAT90 (Wright+, 1990)	AGN (Kavaleev+, 1997)
VSGP sources (Mishayash+, 2008) 🔍	RR-Sweat (Kallas, Reich, 1980)	VLA catalogues (Taylor, 2001) <CATSids	PMS-sources (Migaytsev+, 1999) <CATSids
CLAS5 sources Flux(>0.3Jy)	WMAP sources (Dunkley+, 2010) 🔍	SCP-sources (Minguez+, 2001) <CATSids	ZI-catalog (Kozenkova+, 1993) <CATSids

## Ваша деятельность:

- Поддержка и пополнение архивов; разработка методик оптимизации работы с данными в архивах.
- Обработка наблюдательных данных и совершенствование радиотелескопа.
- Разработка новых программно-аппаратных решений для повышения качества наблюдений.
- Исследование астроклимата и микроклимата.
- Развитие систем и методов широкоугольного оптического мониторинга неба.
- Распределенные системы управления астрофизическим экспериментом.

- Исследование оптических телескопов и аппаратуры.
- Поддержка и модернизация АСУ телескопом и аппаратурой.



## Ваша деятельность:

- Поддержка и пополнение архивов; разработка методик оптимизации работы с данными в архивах.
- Обработка наблюдательных данных и совершенствование радиотелескопа.
- Разработка новых программно-аппаратных решений для повышения качества наблюдений.**
- Исследование астроклиматата и микроклиматата.
- Развитие систем и методов широкоугольного оптического мониторинга неба.
- Распределенные системы управления астрофизическим экспериментом.

- Исследование оптических телескопов и аппаратуры.
- Поддержка и модернизация АСУ телескопом и аппаратурой.

The screenshot shows a website for the Institute of Applied Optics of the Russian Academy of Sciences (AO RAS). The header features the logo 'ao lab' and the text 'САО РАН' and 'Лаборатория перспективных разработок'. A circular logo for 'AO' is also present. The main content area is titled 'Высокоскоростное ФПУ на базе GSense4040'. It includes a photograph of a black electronic device, likely the FPU, and a detailed description of the project's purpose and objectives. Below this, there is information about the camera assembly, interface, and sensor details. On the left side, there is a sidebar with navigation links: Деятельность, Проекты, ПЗС-системы, Контроллер, Публикации, Коллектив, Структура сайта, Поиск по сайту (with an Index button), and Контакты.

**Высокоскоростное ФПУ на базе GSense4040**

Целью проекта является создание семейства быстродействующих фотоприемных устройств на основе широкопрограммных КМОП-матриц для задач прикладной и фундаментальной астрономии:

- быстрые обзо́ры неба;
- поиск быстров движущихся объектов;
- поиск переменных объектов.

Состав ФПУ: фотоприемная камера и блок питания камеры.

Интерфейс: волоконно-оптическая линия связи длиной до 30 м со стандартным адаптером Ethernet 10 Гбит/с со стороны управляющего компьютера.

**Фотоприемник**

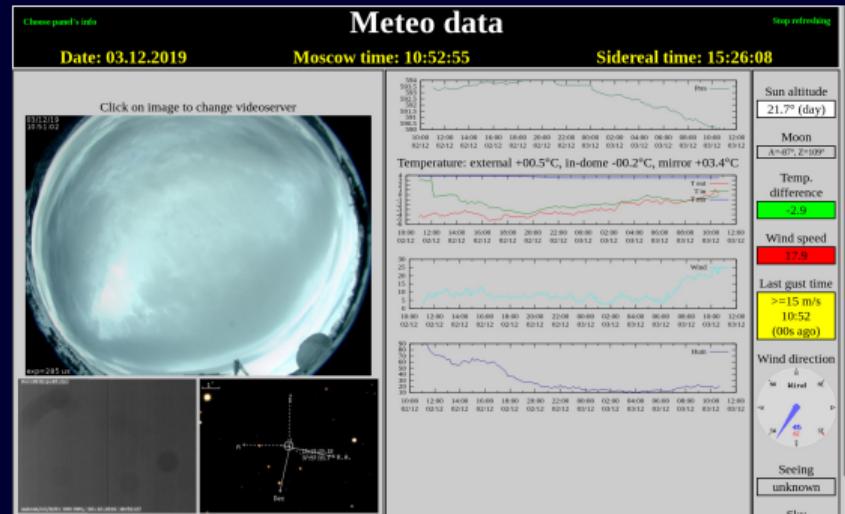
КМОП-матрица научного класса для астрономического применения с фронтальной засветкой (FSI). Поставляется в двух исполнениях: СМТ – с микролинзами и антибликовым покрытием, СМН – без микролинз.

	Тип	GSense4040-CMN (FSI)
	Формат	4096 × 4096 пикселей
	Фоточувствительная область	36,9 × 36,9 mm <sup>2</sup>

## Ваша деятельность:

- Поддержка и пополнение архивов; разработка методик оптимизации работы с данными в архивах.
- Обработка наблюдательных данных и совершенствование радиотелескопа.
- Разработка новых программно-аппаратных решений для повышения качества наблюдений.
- Исследование астроклиматата и микроклиматата.**
- Развитие систем и методов широкоугольного оптического мониторинга неба.
- Распределенные системы управления астрофизическим экспериментом.

- Исследование оптических телескопов и аппаратуры.
- Поддержка и модернизация АСУ телескопом и аппаратурой.



## Ваша деятельность:

- Поддержка и пополнение архивов; разработка методик оптимизации работы с данными в архивах.
- Обработка наблюдательных данных и совершенствование радиотелескопа.
- Разработка новых программно-аппаратных решений для повышения качества наблюдений.
- Исследование астроклимата и микроклимата.
- Развитие систем и методов широкоугольного оптического мониторинга неба.
- Распределенные системы управления астрофизическим экспериментом.

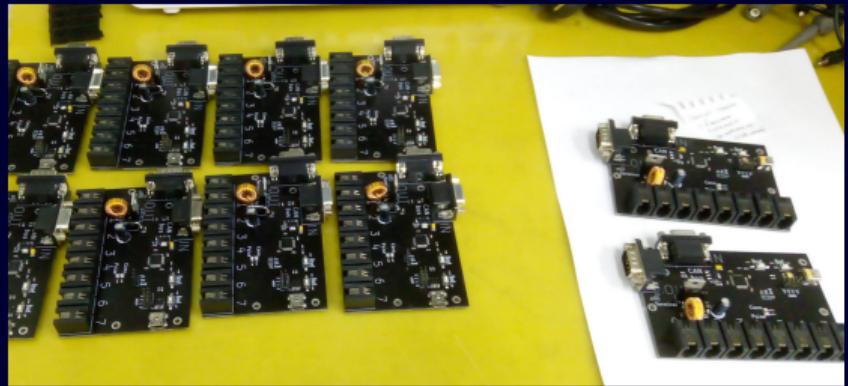
- Исследование оптических телескопов и аппаратуры.
- Поддержка и модернизация АСУ телескопом и аппаратурой.



## Ваша деятельность:

- Поддержка и пополнение архивов; разработка методик оптимизации работы с данными в архивах.
- Обработка наблюдательных данных и совершенствование радиотелескопа.
- Разработка новых программно-аппаратных решений для повышения качества наблюдений.
- Исследование астроклиматика и микроклиматика.
- Развитие систем и методов широкоугольного оптического мониторинга неба.
- Распределенные системы управления астрофизическим экспериментом.

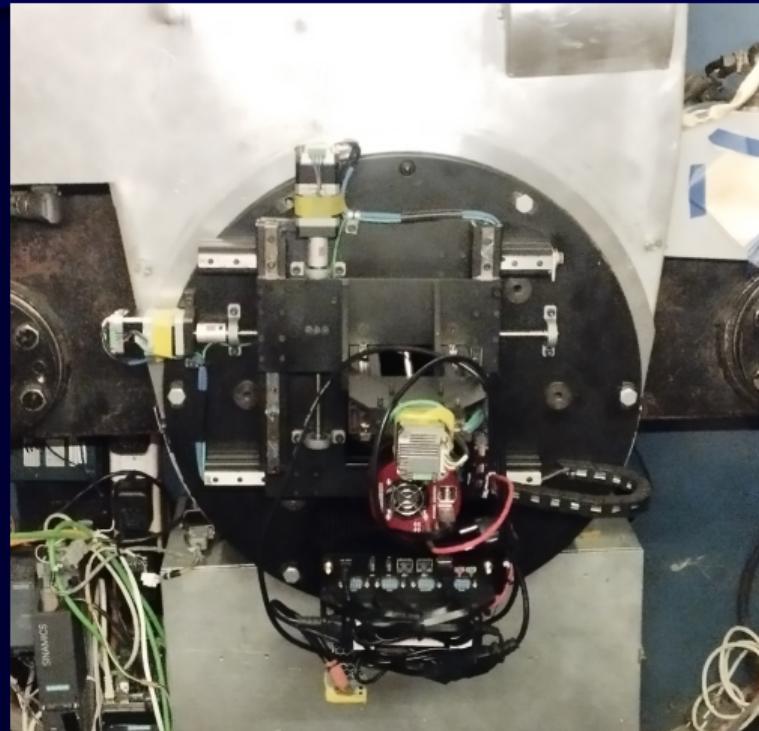
- Исследование оптических телескопов и аппаратуры.
- Поддержка и модернизация АСУ телескопом и аппаратурой.



## Ваша деятельность:

- Поддержка и пополнение архивов; разработка методик оптимизации работы с данными в архивах.
- Обработка наблюдательных данных и совершенствование радиотелескопа.
- Разработка новых программно-аппаратных решений для повышения качества наблюдений.
- Исследование астроклиматика и микроклиматика.
- Развитие систем и методов широкоугольного оптического мониторинга неба.
- Распределенные системы управления астрофизическим экспериментом.

- Исследование оптических телескопов и аппаратуры.
- Поддержка и модернизация АСУ телескопом и аппаратурой.



## Ваша деятельность:

- Поддержка и пополнение архивов; разработка методик оптимизации работы с данными в архивах.
- Обработка наблюдательных данных и совершенствование радиотелескопа.
- Разработка новых программно-аппаратных решений для повышения качества наблюдений.
- Исследование астроклиматика и микроклиматика.
- Развитие систем и методов широкоугольного оптического мониторинга неба.
- Распределенные системы управления астрофизическим экспериментом.

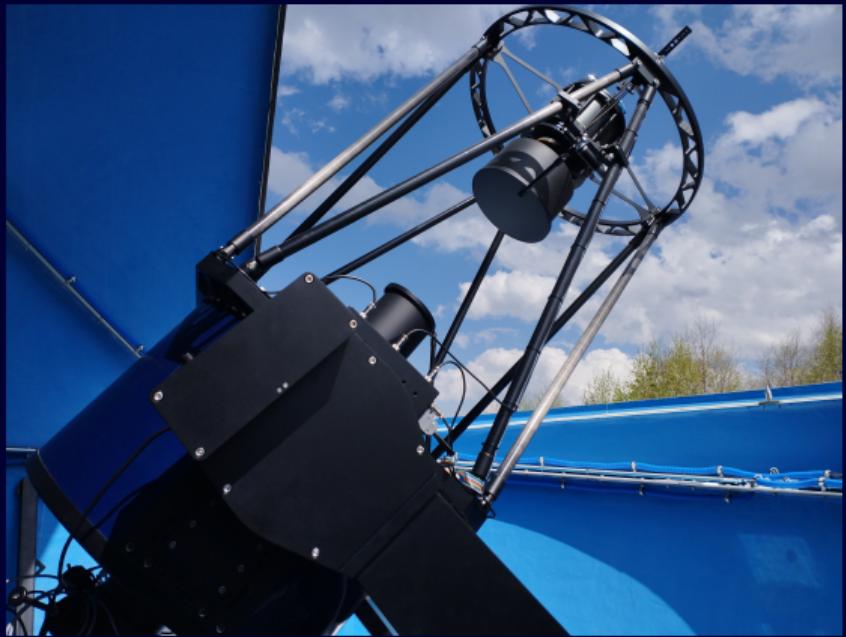
- Исследование оптических телескопов и аппаратуры.
- Поддержка и модернизация АСУ телескопом и аппаратурой.



## Ваша деятельность:

- Поддержка и пополнение архивов; разработка методик оптимизации работы с данными в архивах.
- Обработка наблюдательных данных и совершенствование радиотелескопа.
- Разработка новых программно-аппаратных решений для повышения качества наблюдений.
- Исследование астроклимата и микроклимата.
- Развитие систем и методов широкоугольного оптического мониторинга неба.
- Распределенные системы управления астрофизическим экспериментом.

- Исследование оптических телескопов и аппаратуры.
- Поддержка и модернизация АСУ телескопом и аппаратурой.



# Спасибо за внимание!

**mailto**

[eddy@sao.ru](mailto:eddy@sao.ru)

[edward.emelianoff@gmail.com](mailto:edward.emelianoff@gmail.com)