

# Астрономические наблюдения из космоса



Сергей Попов

# Наблюдать из космоса дорого



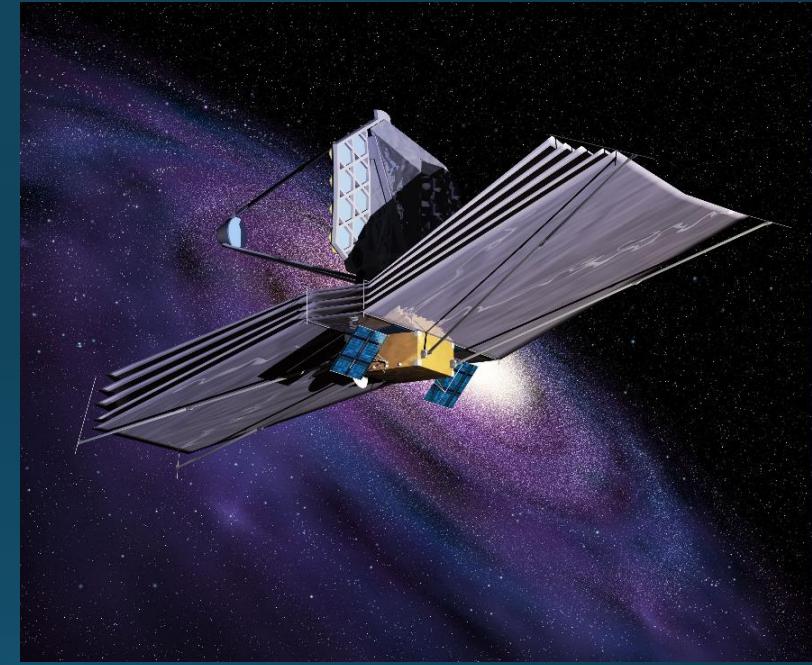
**Космический телескоп имени Хаббла (США)**

*Стоймость: около \$6 млрд.  
\$10 млрд с учетом эксплуатации.*



**Рентгеновский спутник «Чандра» (США)**

*Стоймость: около \$2,8 млрд.*



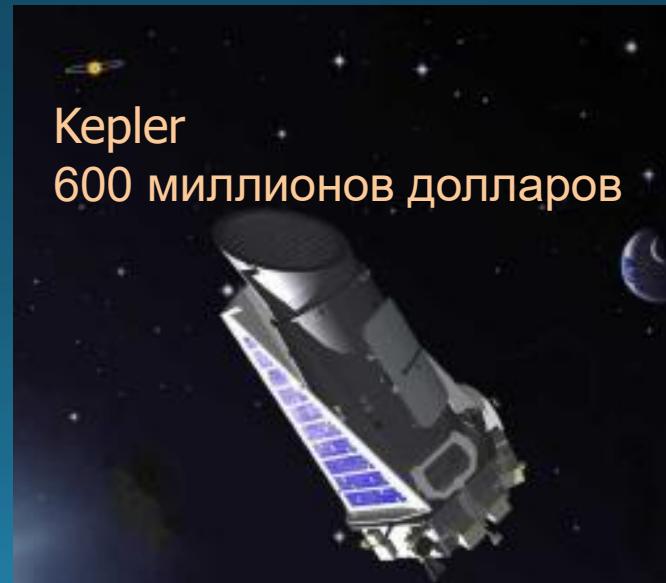
**Космический телескоп имени Джеймса Вебба (США)**

*Стоймость создания: > \$5 млрд.  
Стоймость десятилетней эксплуатации: > \$1 млрд.*

# Сравним.....



Rank	Title	Year	Cost (est.) (millions)
1	<i>Pirates of the Caribbean: On Stranger Tides</i>	2011	*\$379
2	<i>Avengers: Age of Ultron</i>	2015	*\$365
3	<i>Avengers: Endgame</i>	2019	\$356
4	<i>Avengers: Infinity War</i>	2018	\$316
5	<i>Pirates of the Caribbean: At World's End</i>	2007	\$300
	<i>Justice League</i>	2017	\$300
7	<i>Solo: A Star Wars Story</i>	2018	*\$275
	<i>Star Wars: The Rise of Skywalker</i>	2019	\$275
9	<i>John Carter</i>	2012	*\$264
10	<i>Batman v Superman: Dawn of Justice</i>	2016	\$263
11	<i>Star Wars: The Last Jedi</i>	2017	\$262



# Наблюдения из космоса



Наблюдения в диапазонах спектра, в которых земная атмосфера непрозрачна



Высокое качество изображения: картинка «не дрожит» и звезды «не мерцают»

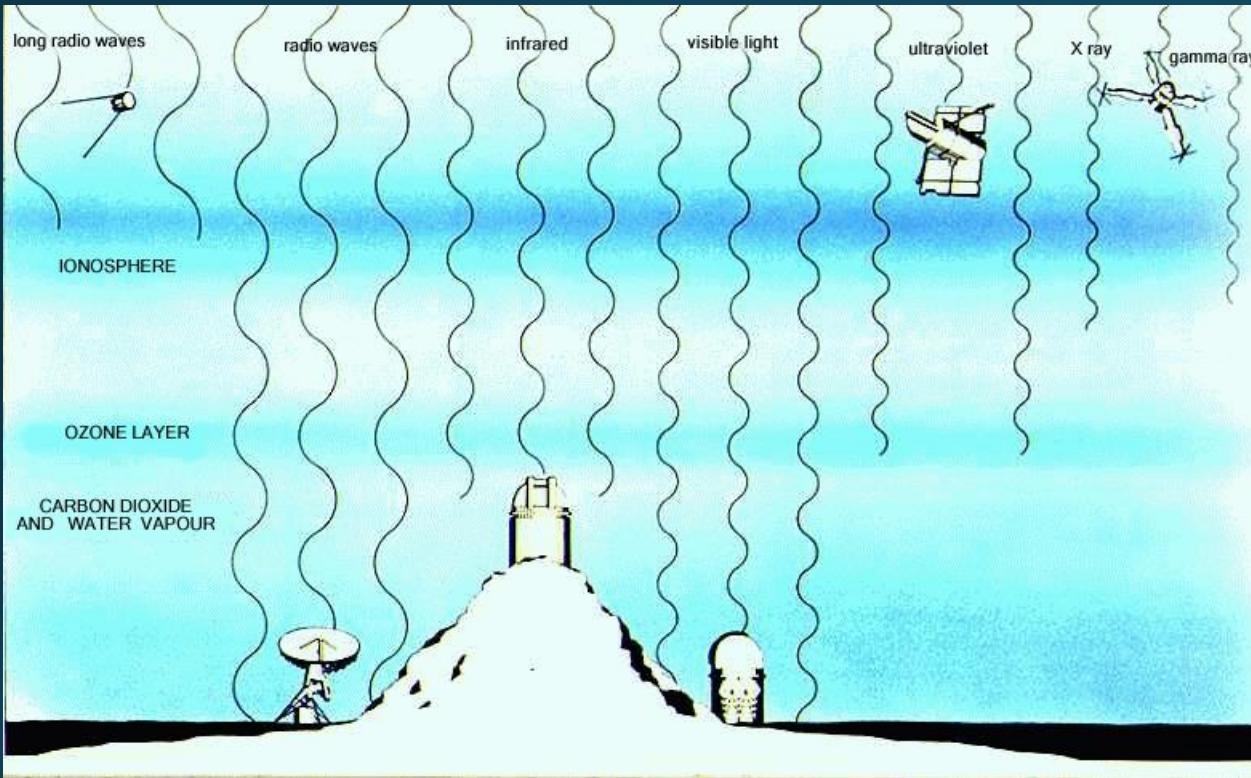


Возможно создание установок очень большого размера

Всегда хорошая погода

Доступно все небо

# Наблюдения из космоса

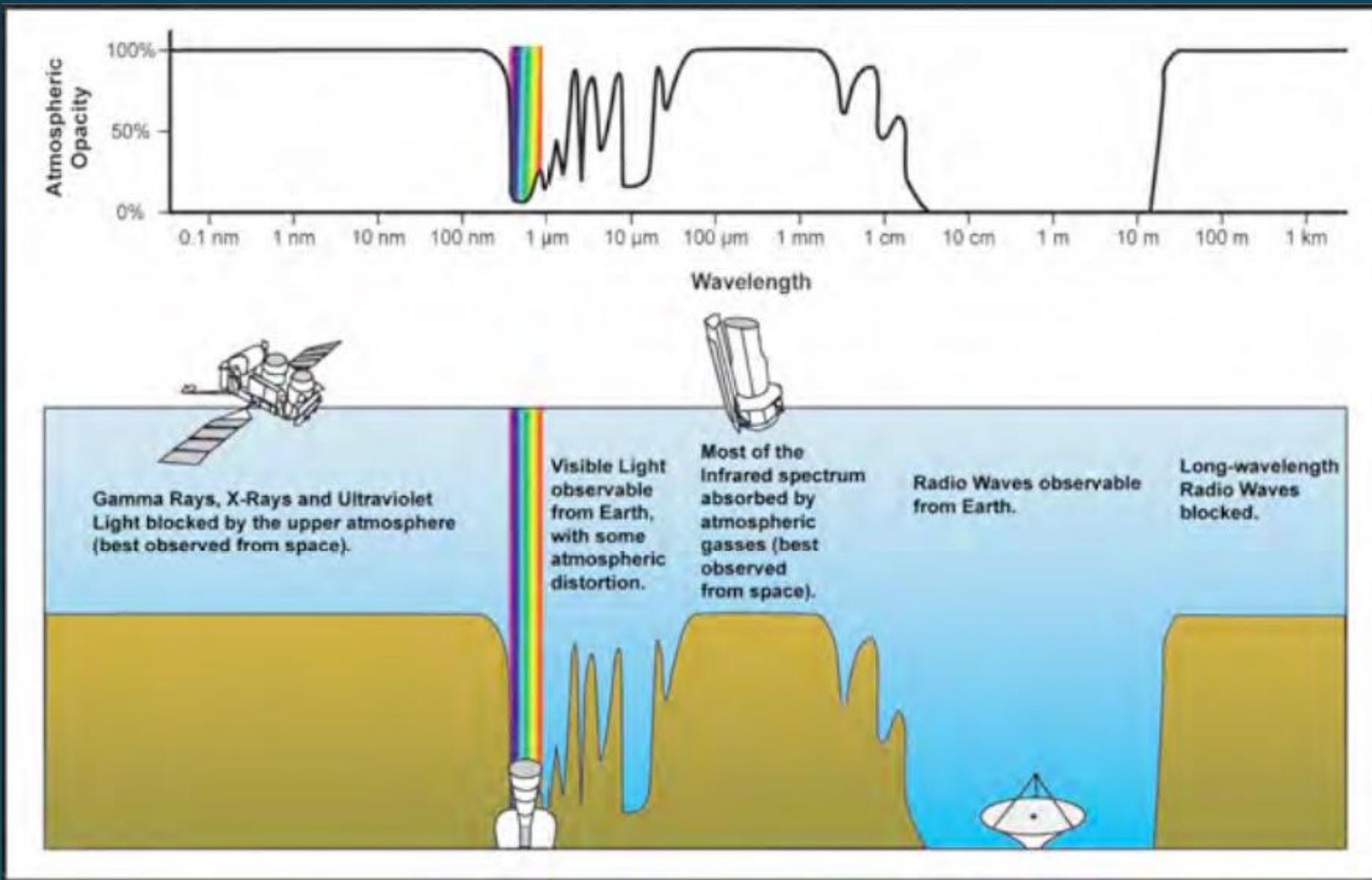


Поглощение

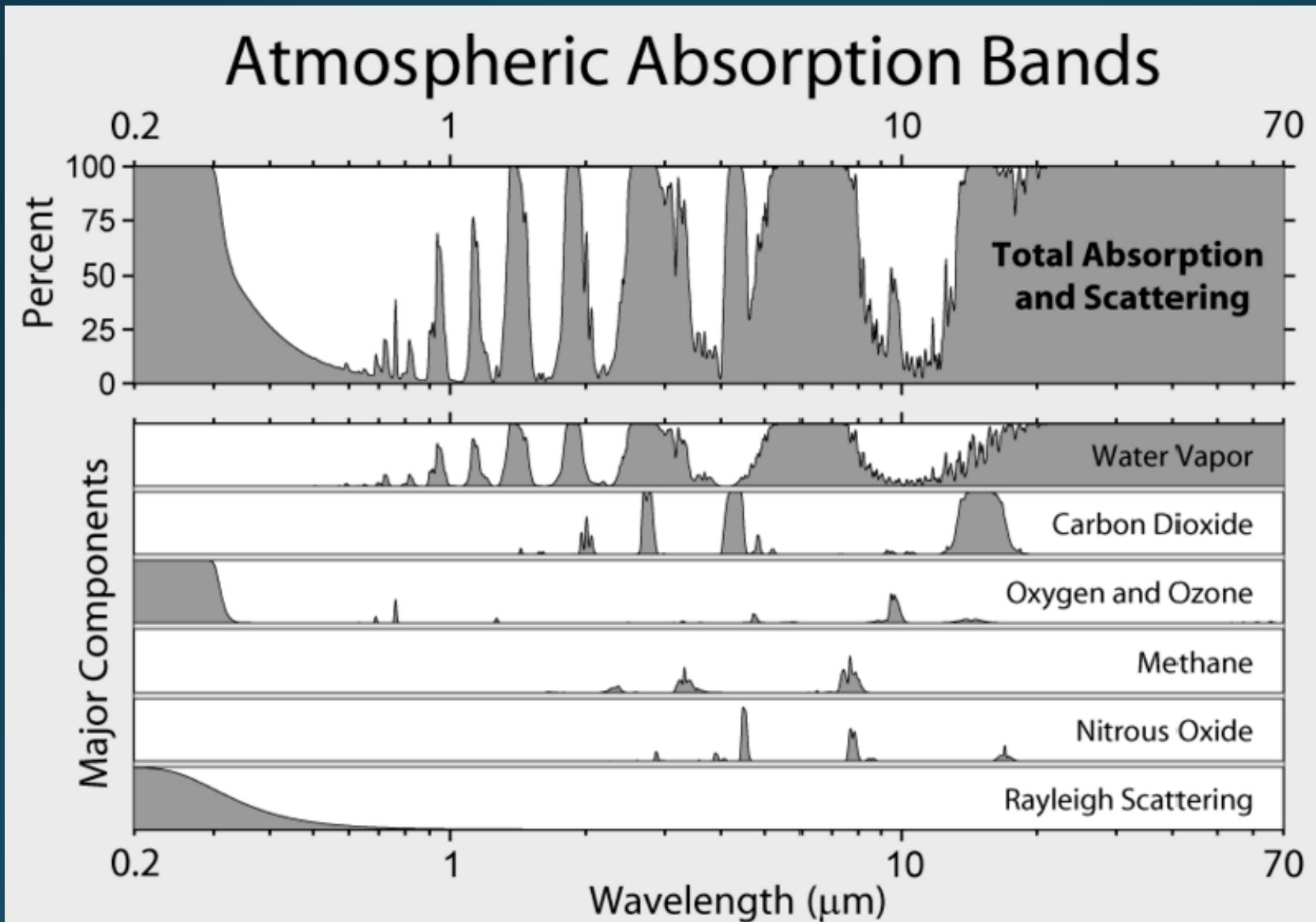


Мерцание

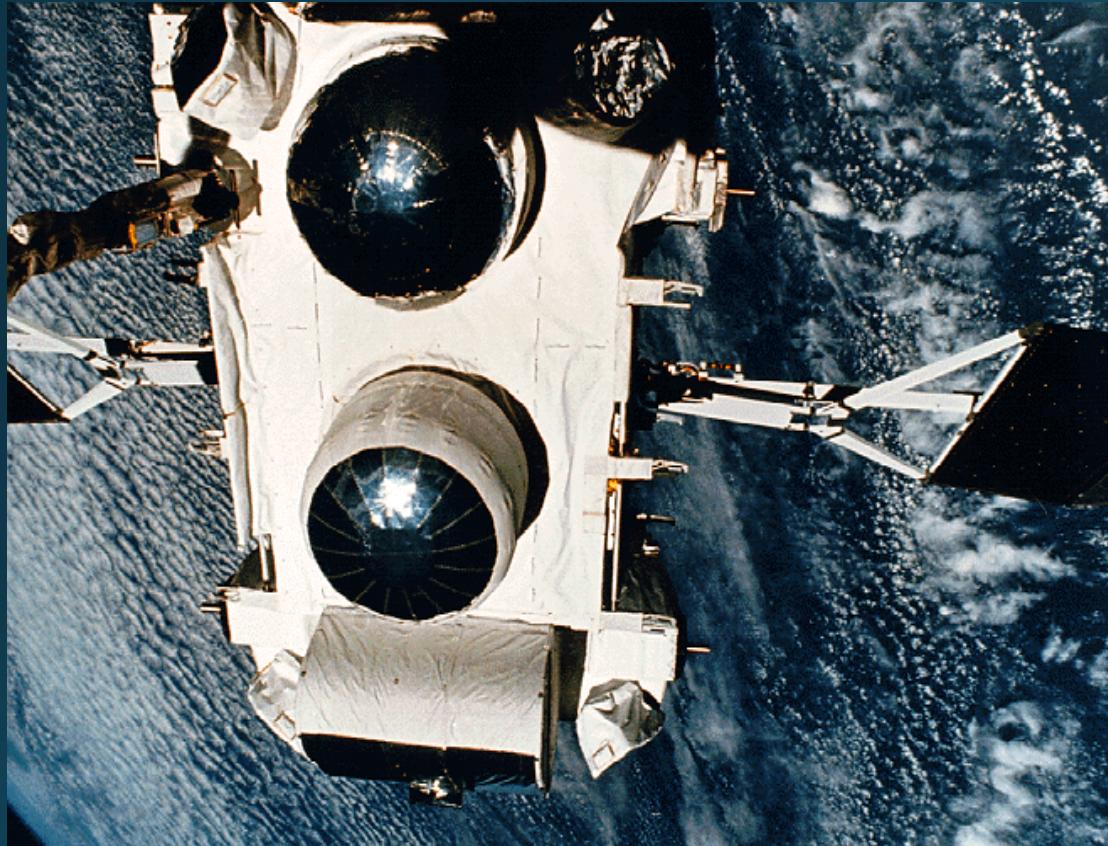
# Поглощение в атмосфере



# Поглощение в УФ и ИК



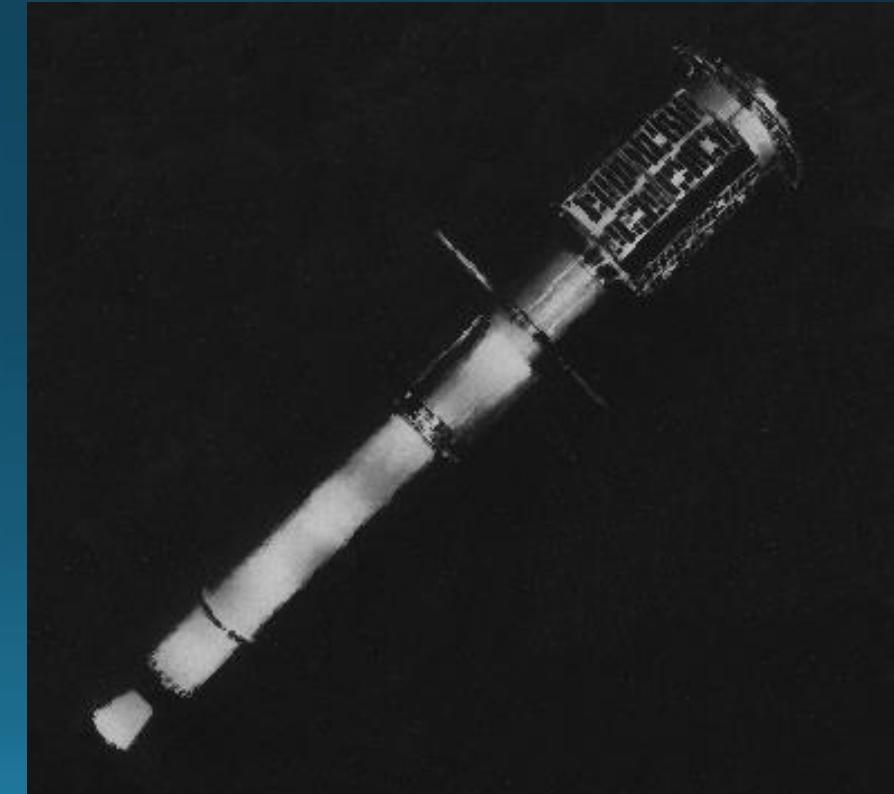
# Гамма-астрономия в космосе



Комptonовская гамма обсерватория

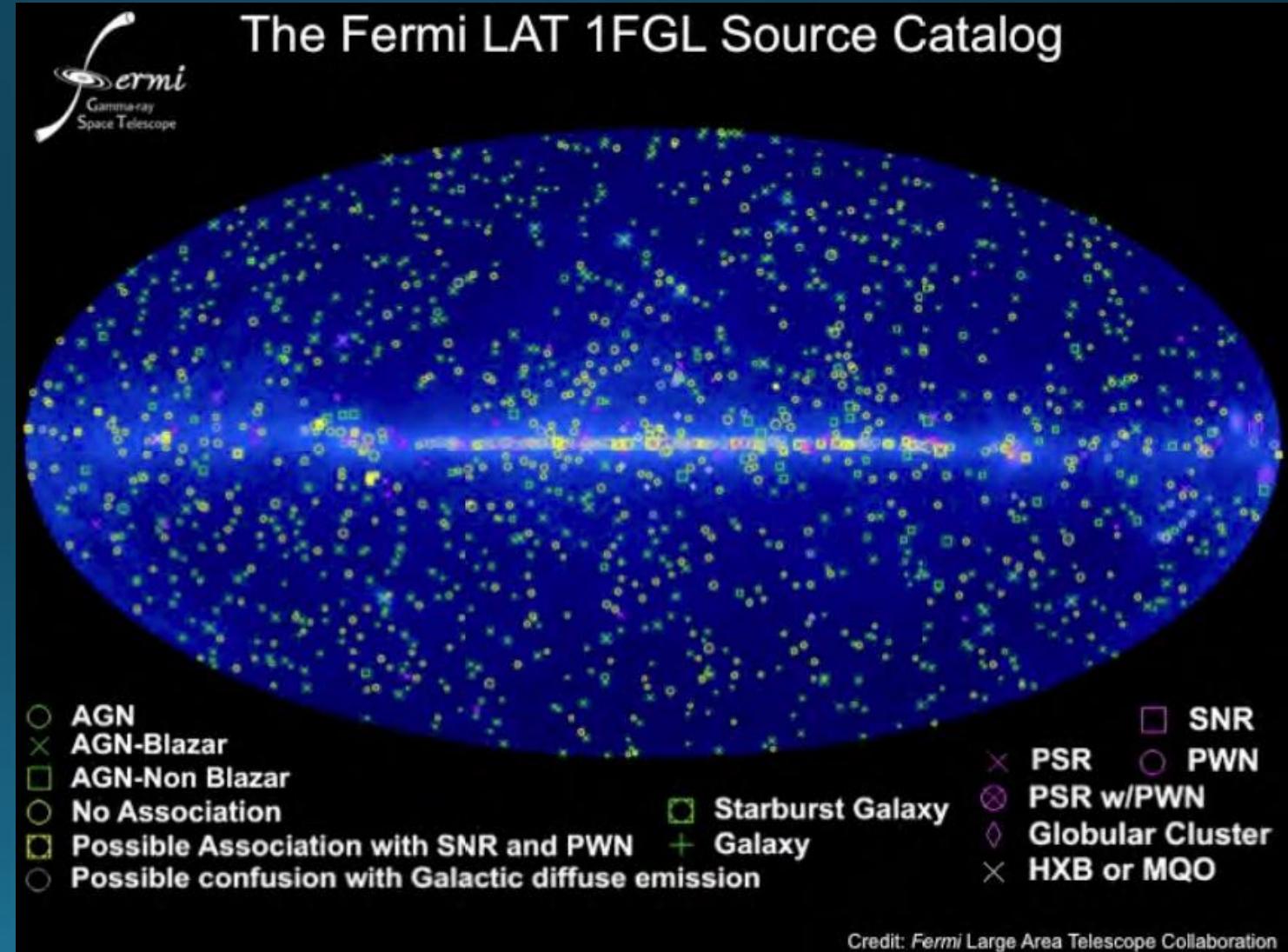
Самое жесткое излучение.

Многие неистовые процессы  
приводят именно к излучению  
гамма-квантов.

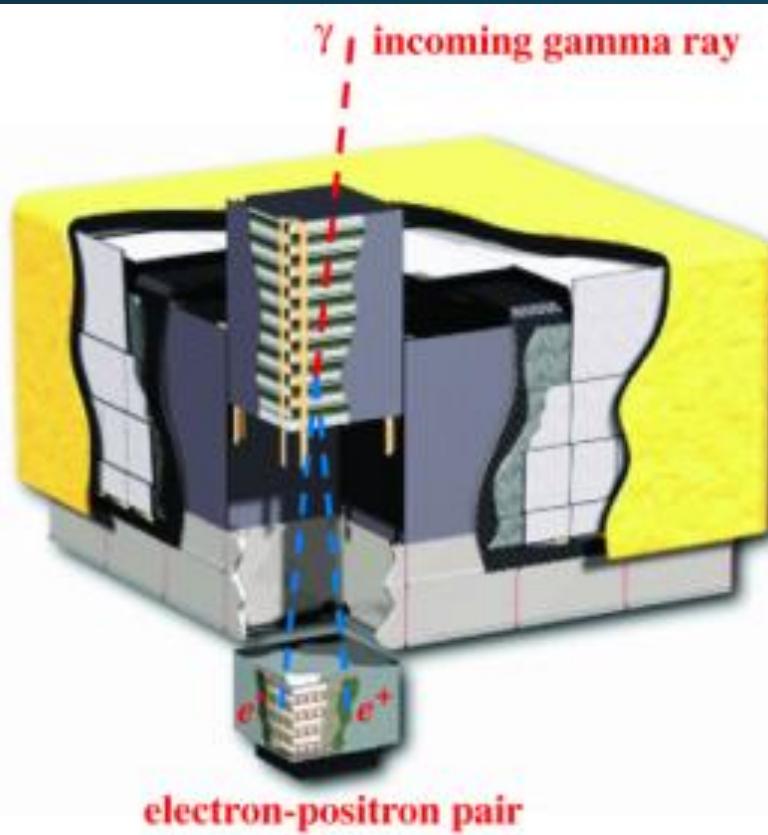


Explorer 11

# Fermi – современная гамма-обсерватория

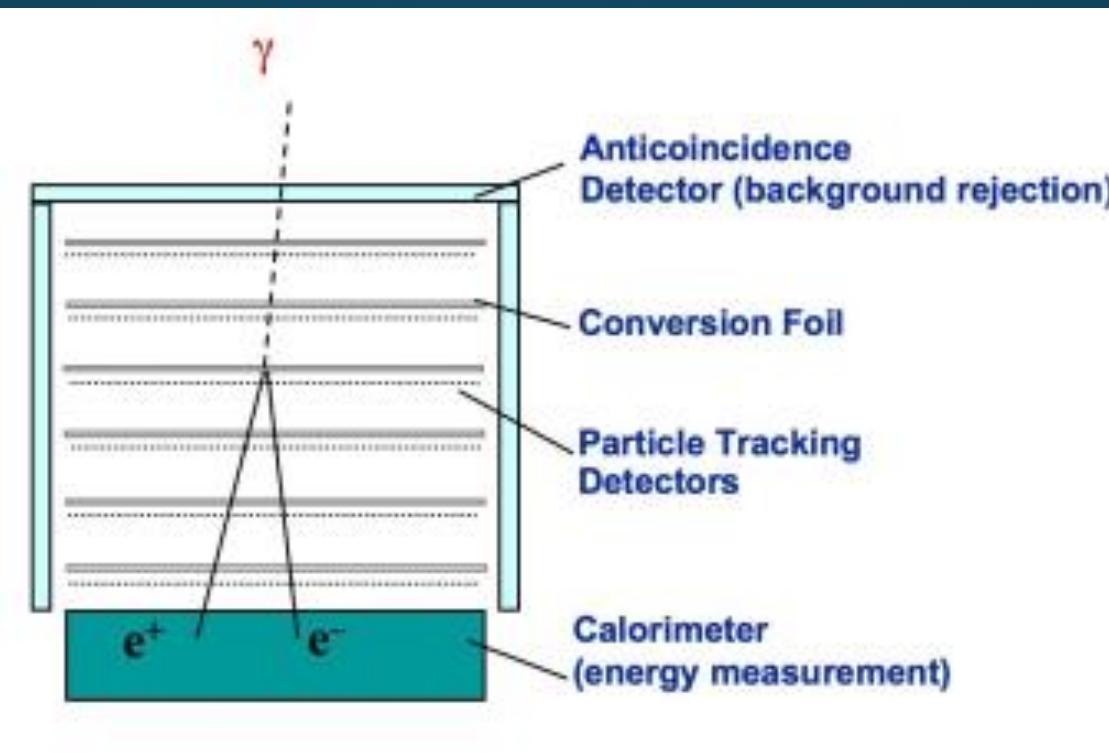


# Устройство детектора Ферми LAT



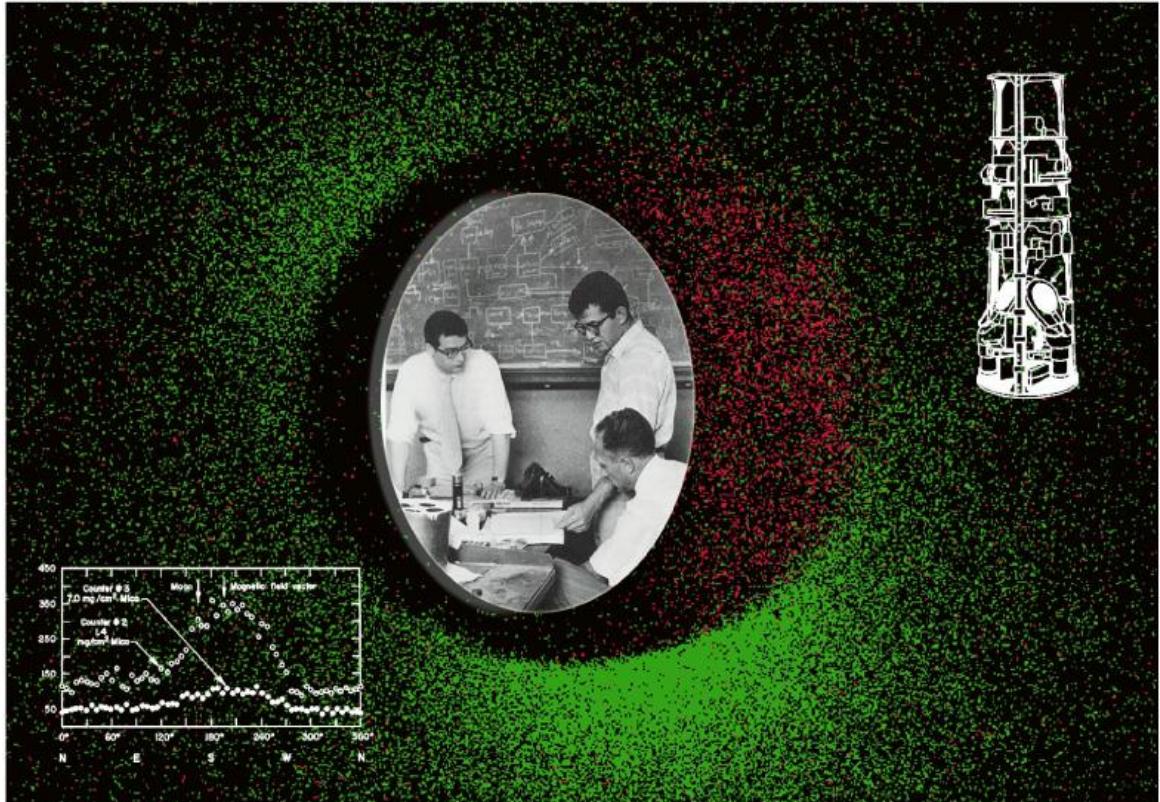
Для настройки прибора его надо калибровать.  
В случае Ферми это проводилось в ЦЕРНе.

Large Area Telescope  
Нет фокусировки.  
Регистрируются частицы.  
Причем – вторичные!

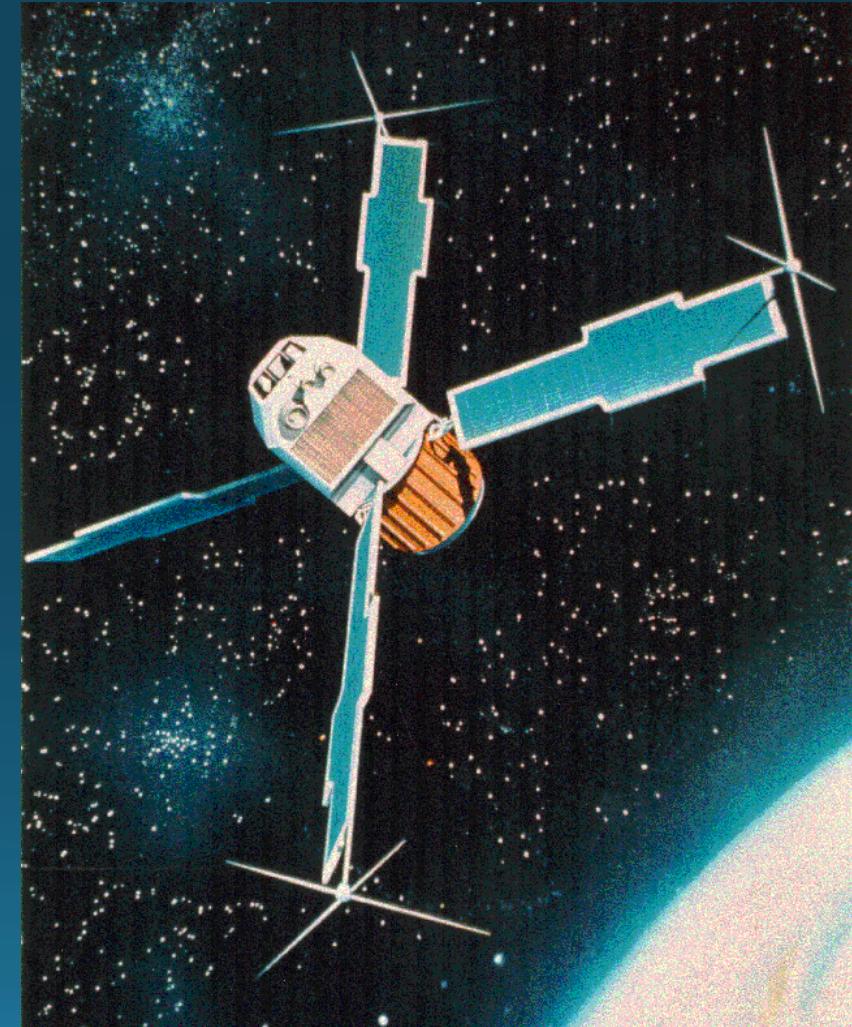


# Рентгеновская астрономия

ROSAT Januar 2003



Max-Planck-Institut für  
extraterrestrische Physik

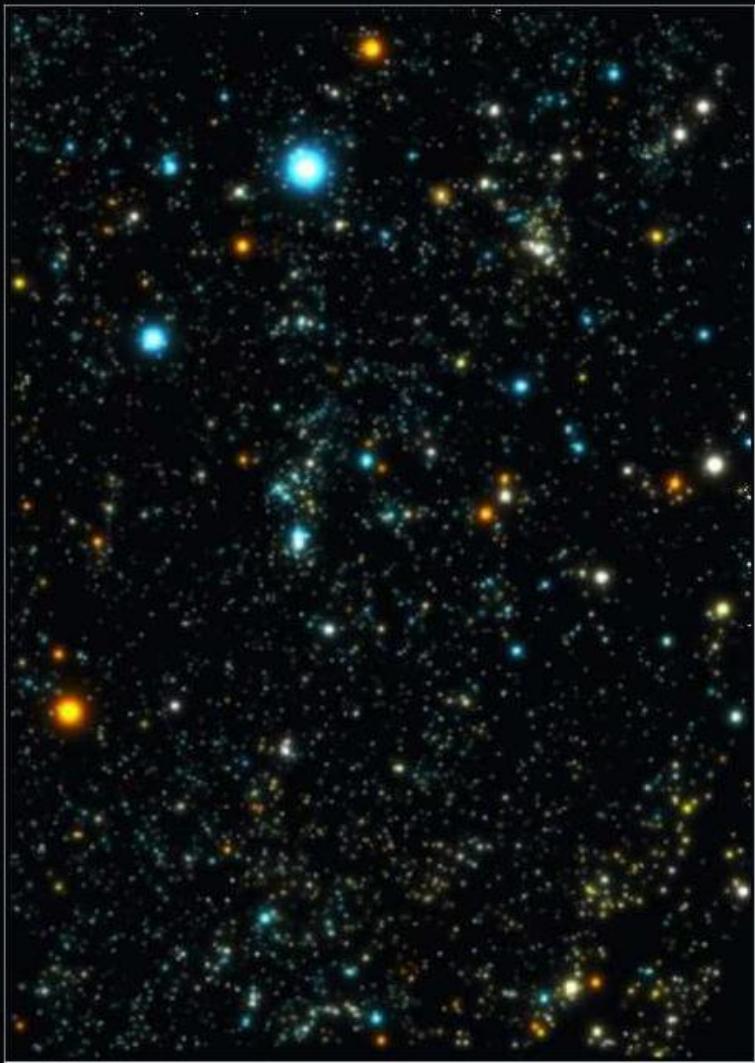


UHURU (1970)

Первые успешные ракетные запуски детекторов  
Были реализованы в начале 1960-х гг.

# Рентген vs. Оптика

THE ROSAT X-RAY SKY AROUND ORION



THE OPTICAL SKY AROUND ORION



Созвездие Орион и Луна

# RXTE

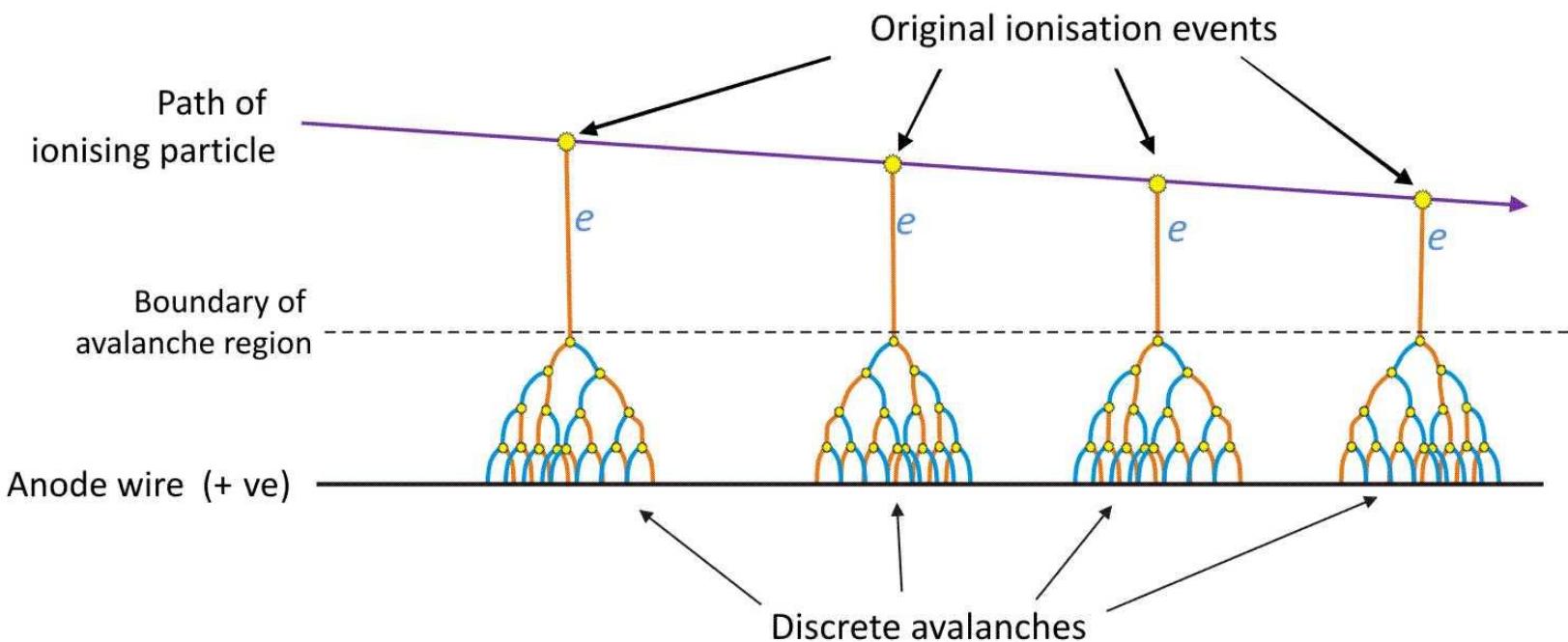
High Gain Antenna  
(radio)

HEXTE

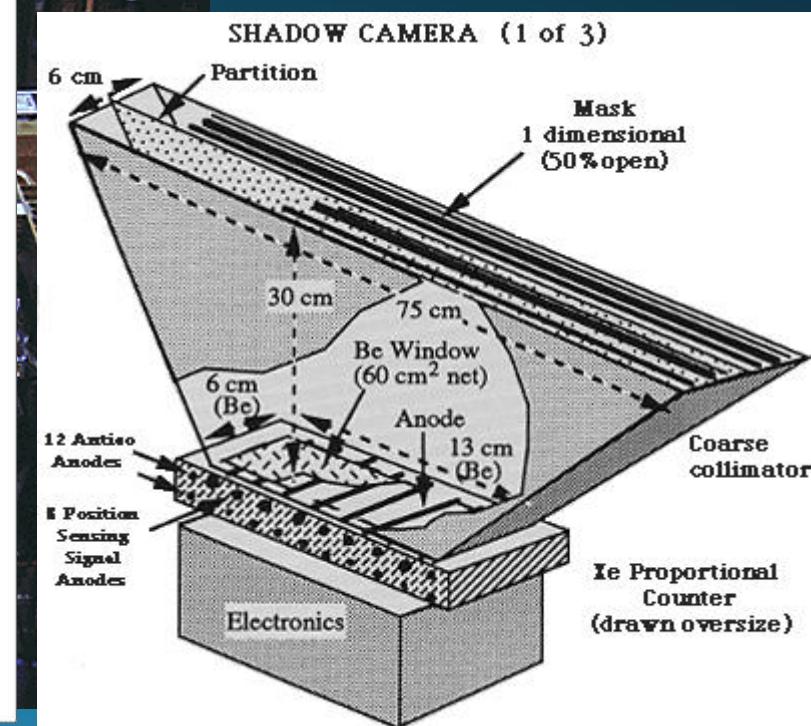
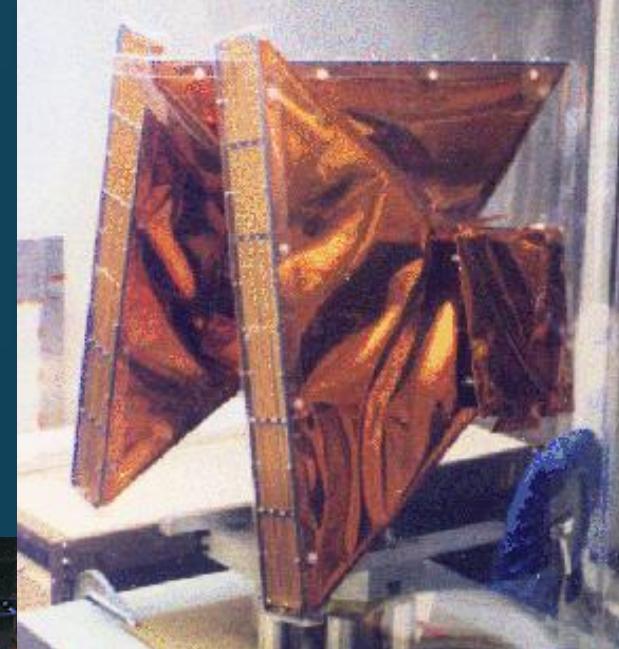
Star Trackers

Пропорциональные счетчики

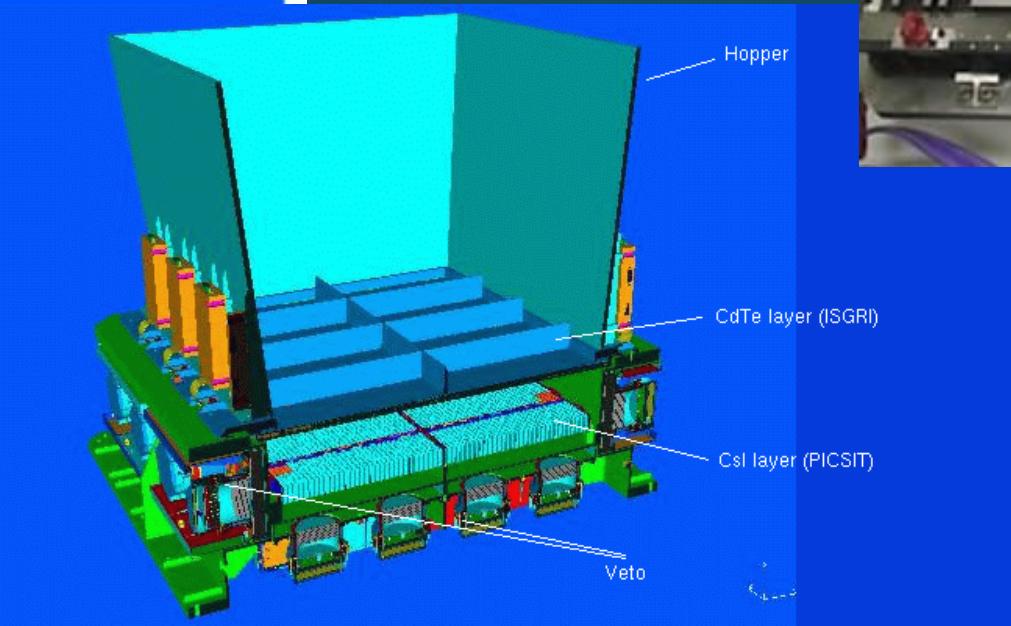
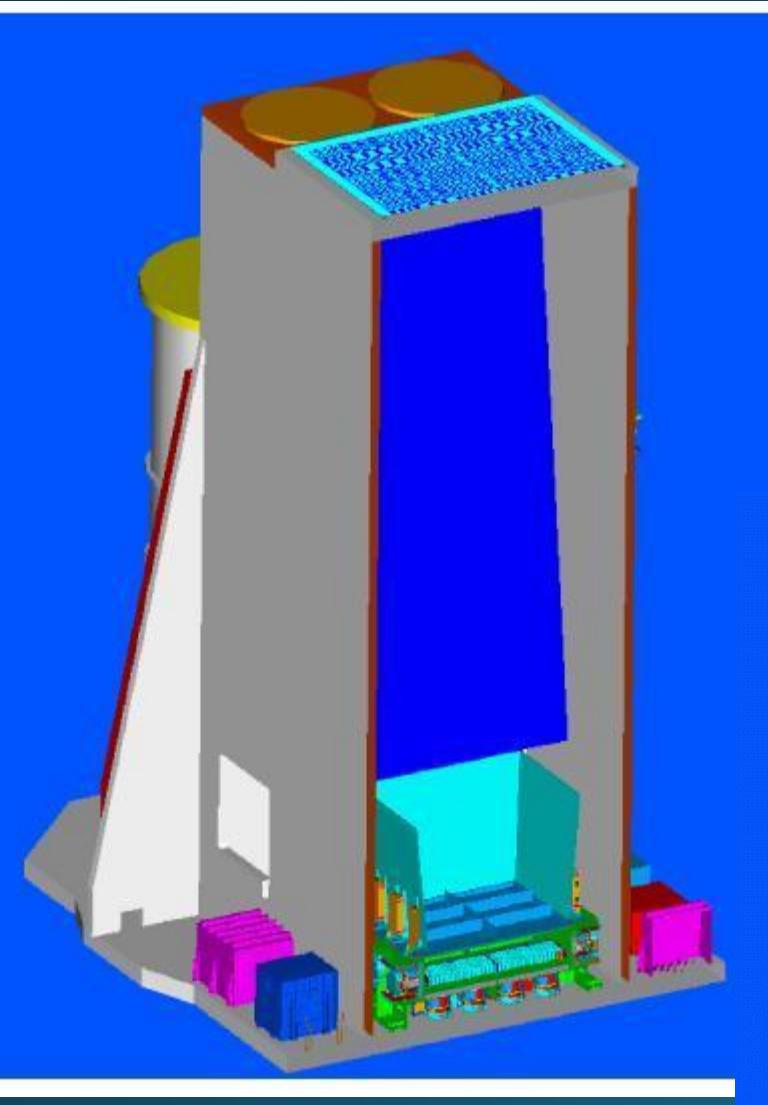
Creation of discrete avalanches in a proportional counter



ASM



# Кодирующие маски. Integral



<http://ipl.uv.es/?q=es/content/page/ibis-coded-mask>

# Современная рентгеновская астрономия

Фокусирующая оптика

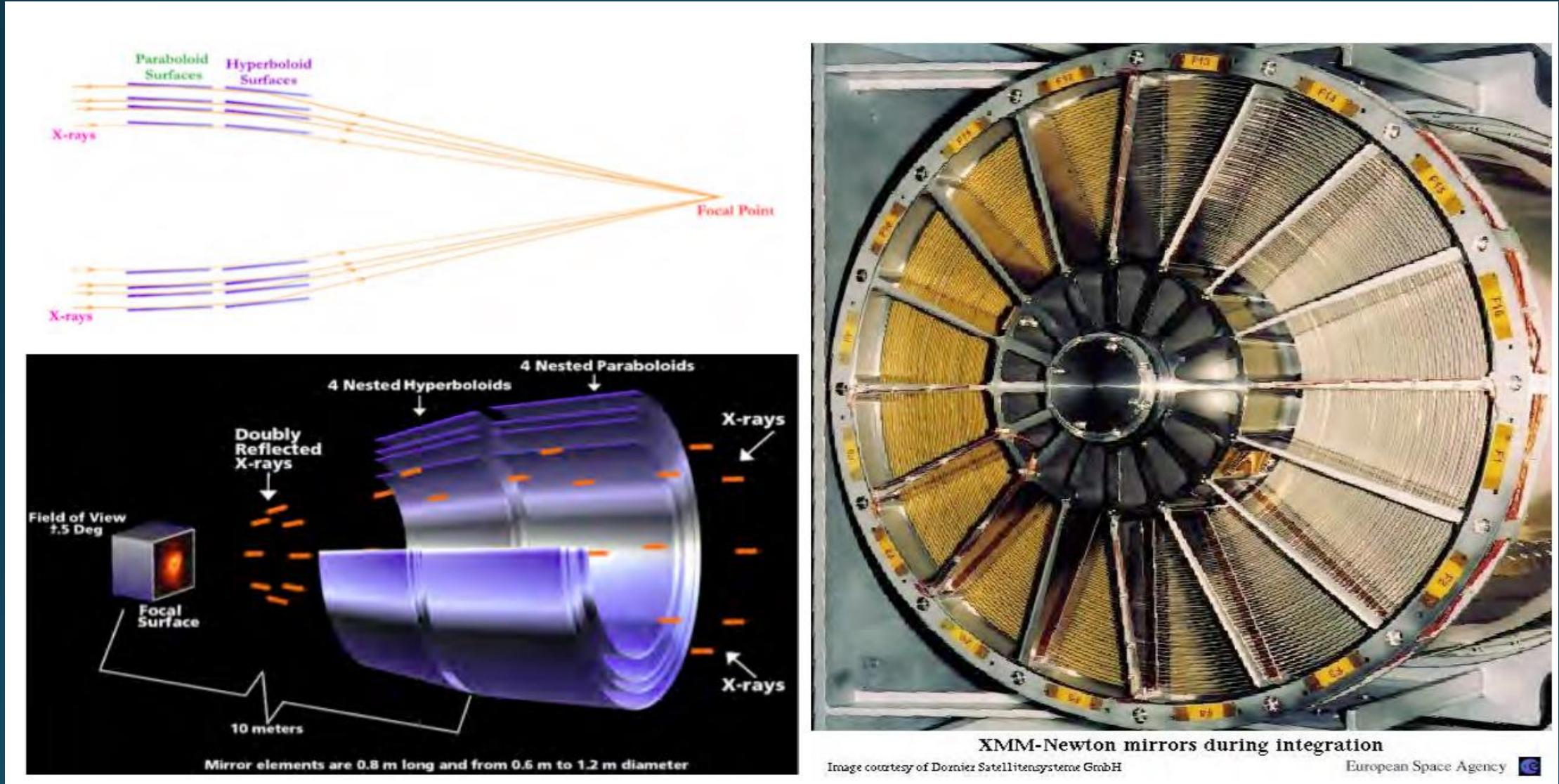


Chandra

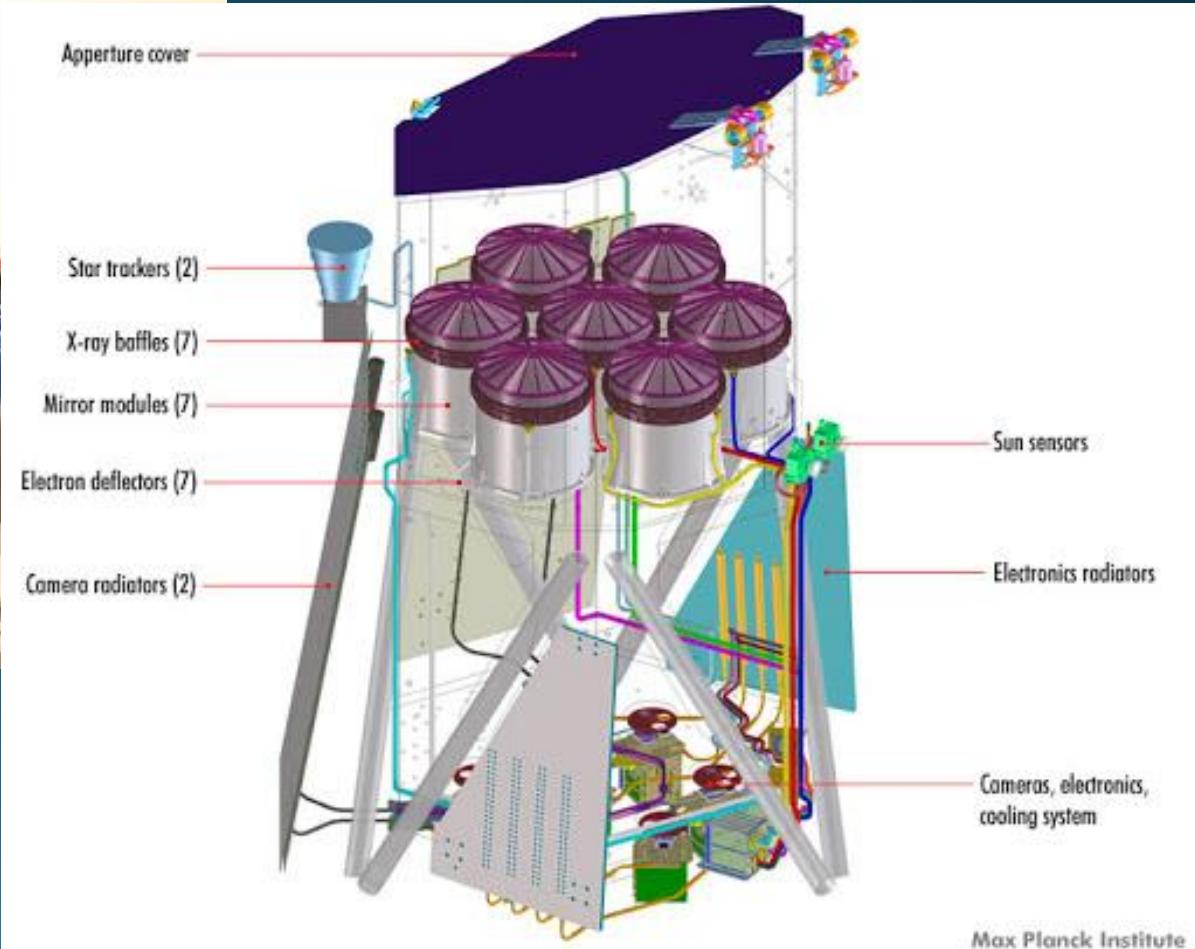
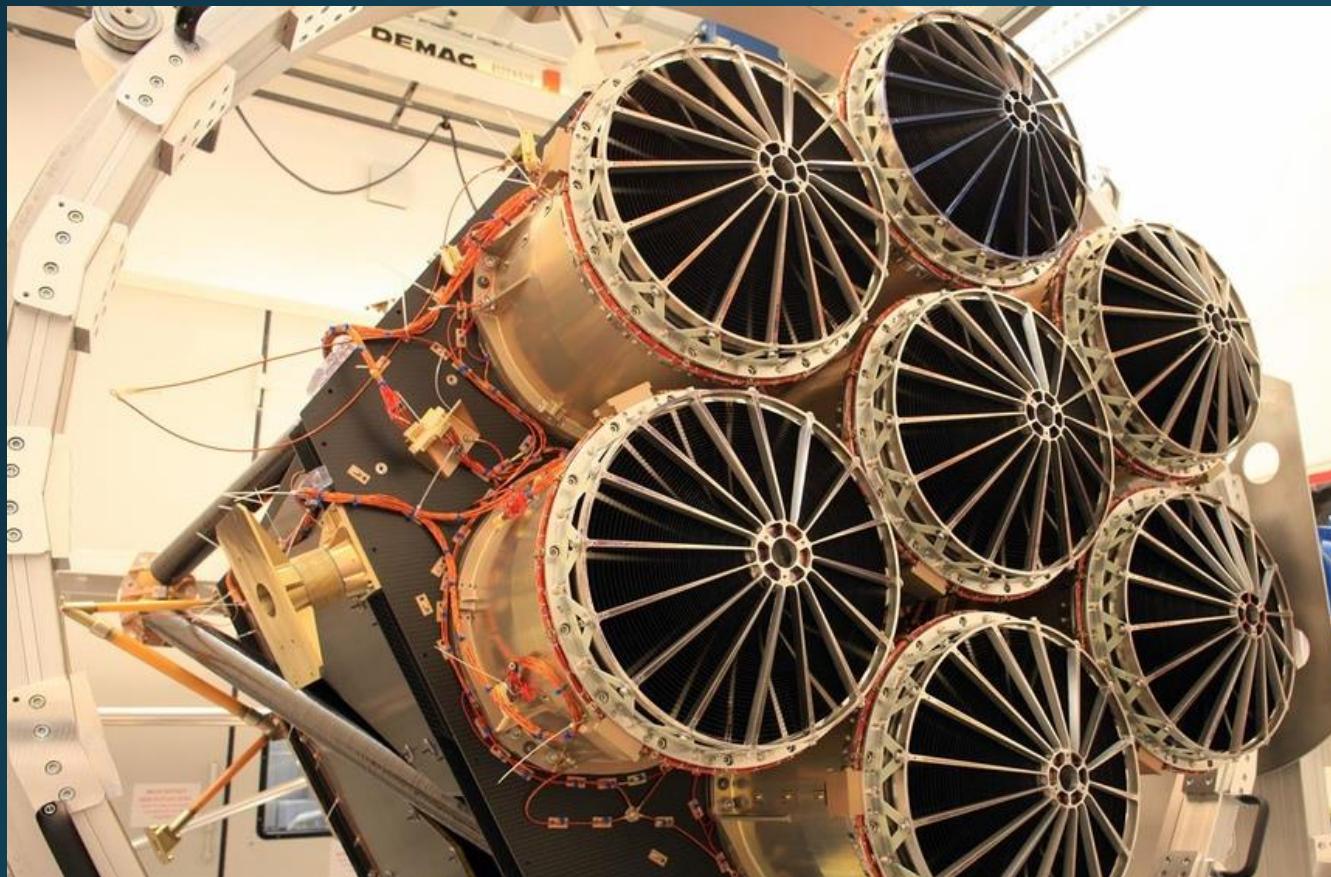


XMM-Newton

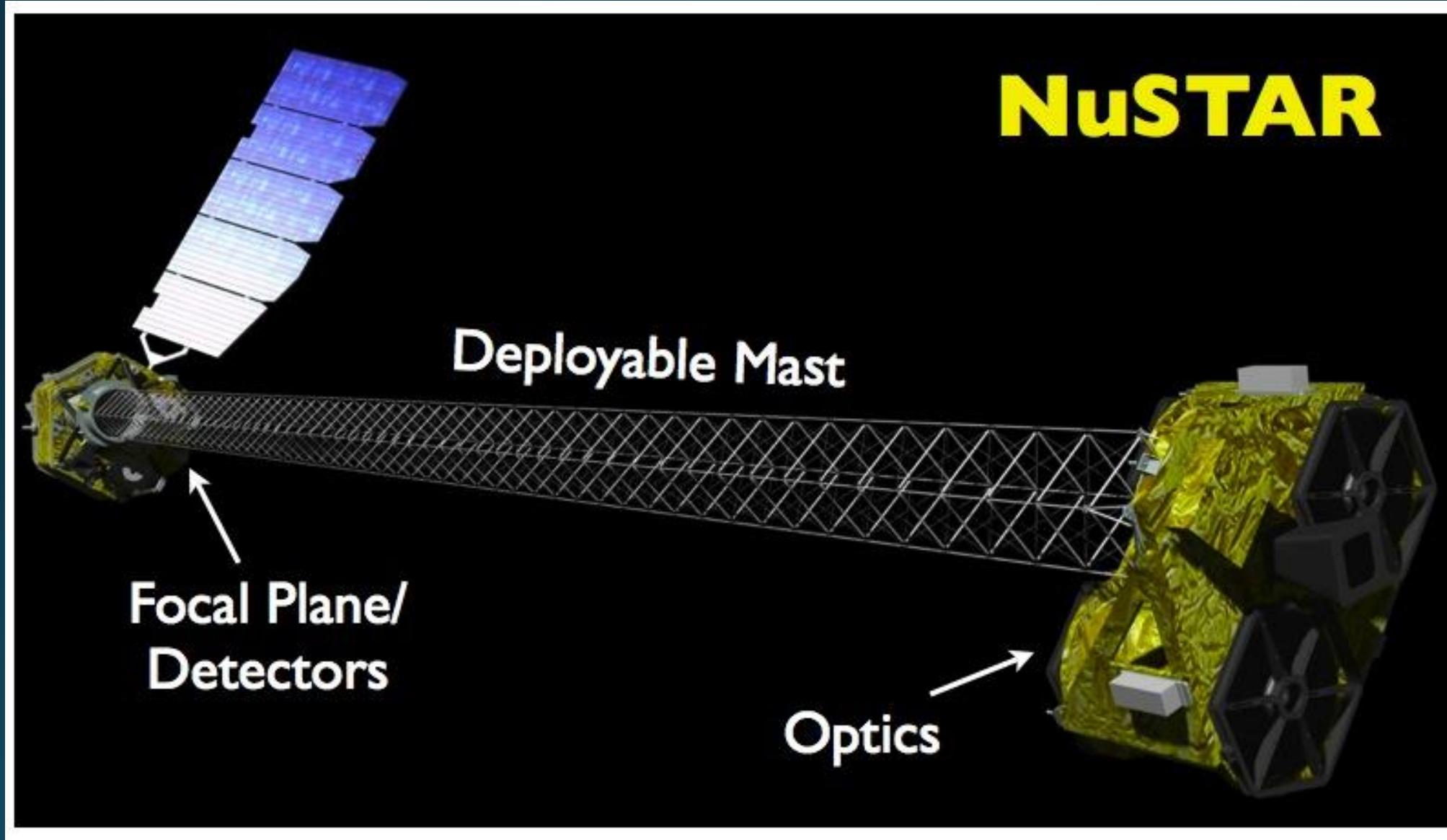
# Зеркала косого падения для рентгеновских телескопов



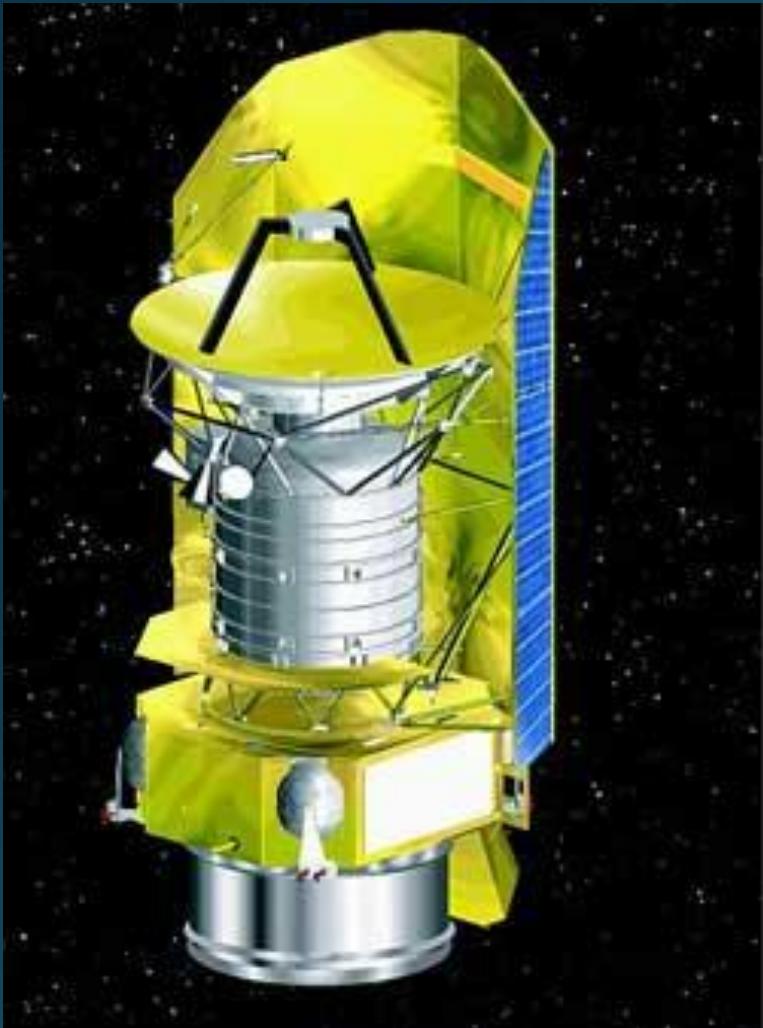
# eROSITA на борту Спектр-РГ



# NuSTAR



# Инфракрасная астрономия



Многие астрофизические процессы лучше наблюдать в ИК диапазоне.

В первую очередь – рождение звезд и планет.

Необходимо охлаждение аппаратуры, что приводит к короткому сроку работы.

Гершель

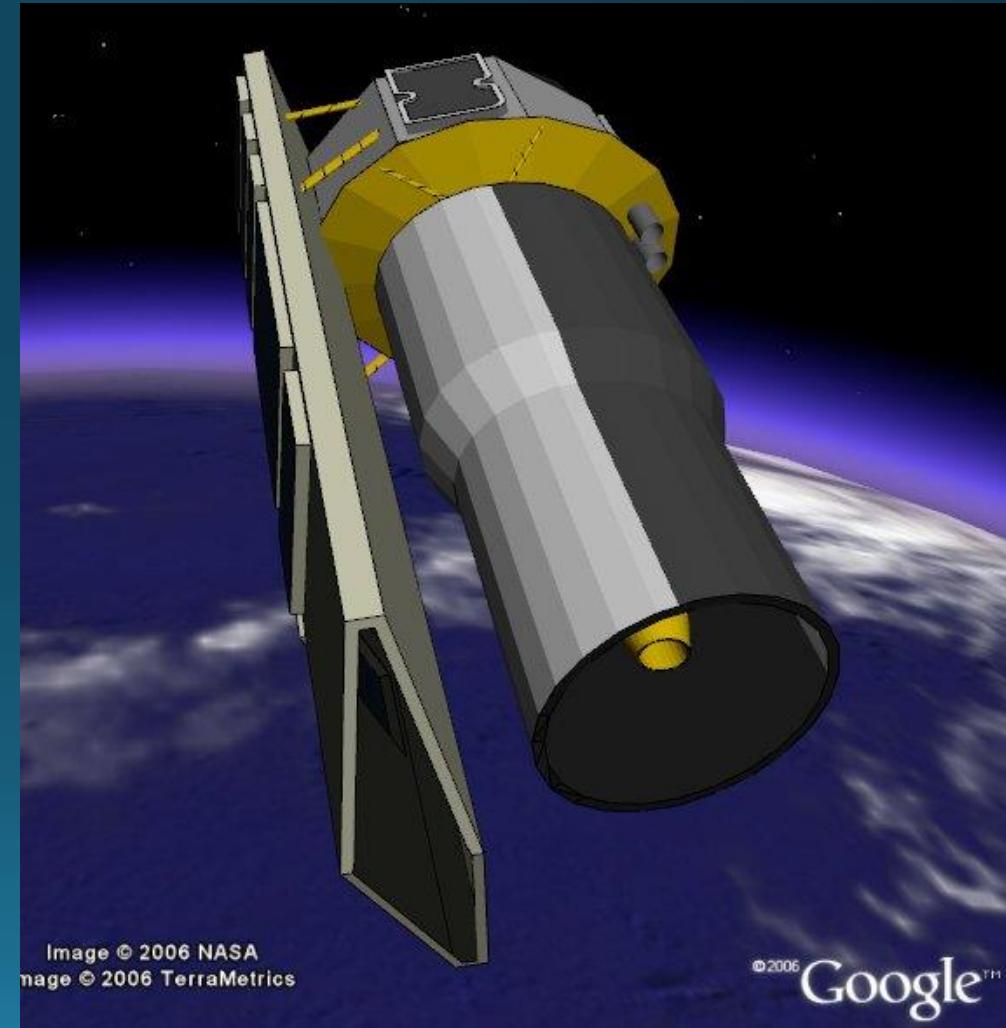
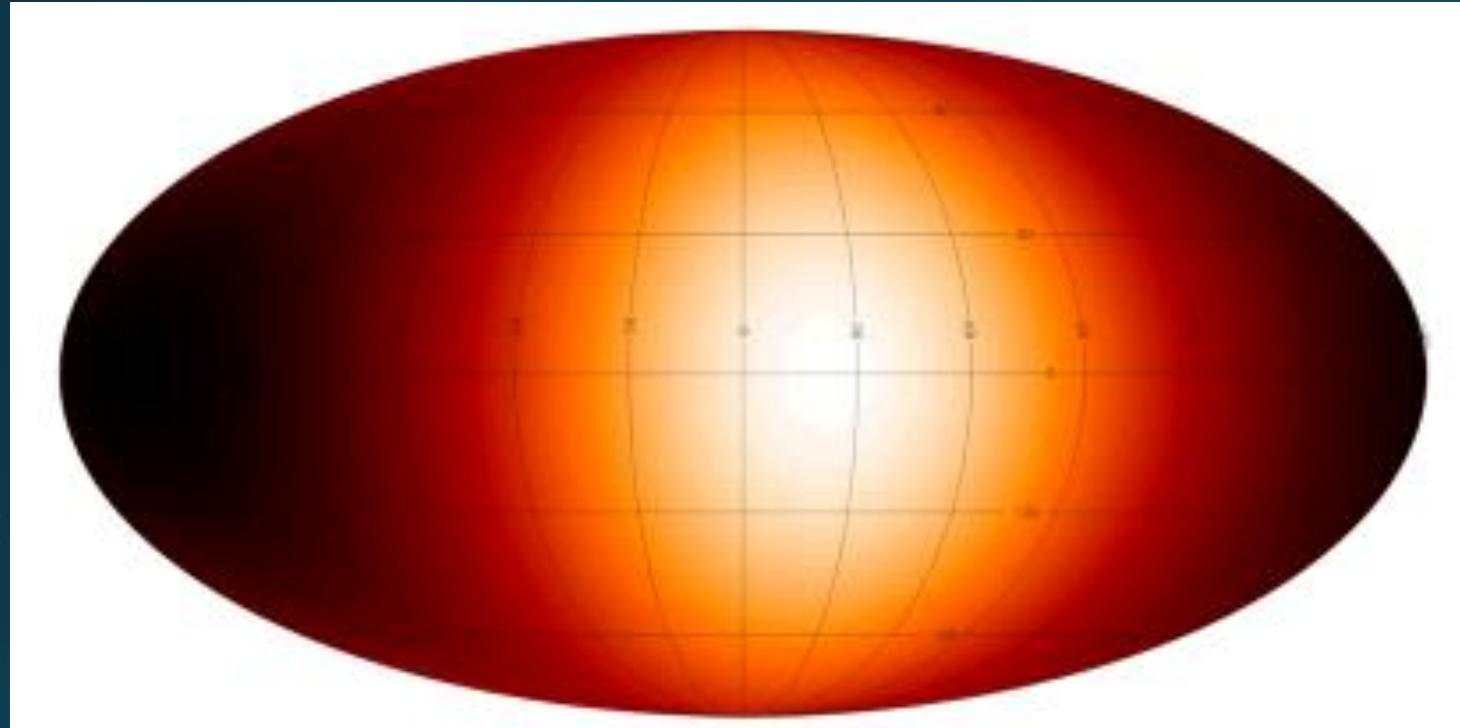


Image © 2006 NASA  
Image © 2006 TerraMetrics

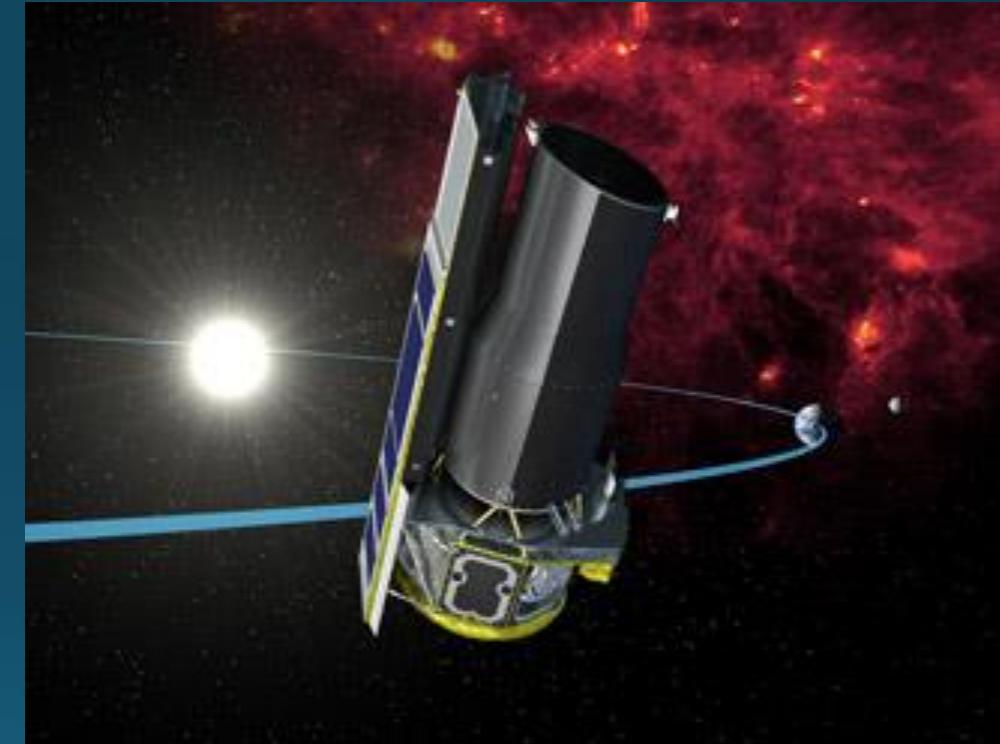
©2006 Google™

Спитцер

# Карта экзопланеты HD 189733b



По данным о затмениях удалось построить карту экзопланеты.  
Горячее пятно в экваториальной области.



Инфракрасная космическая  
обсерватория имени Спирцера.

# Космический телескоп



Несмотря на диаметр «всего лишь» 2.4 м телескоп по ряду параметров превосходит крупнейшие наземные инструменты.

Кроме того, он может наблюдать в УФ и ИК.

Carina nebula

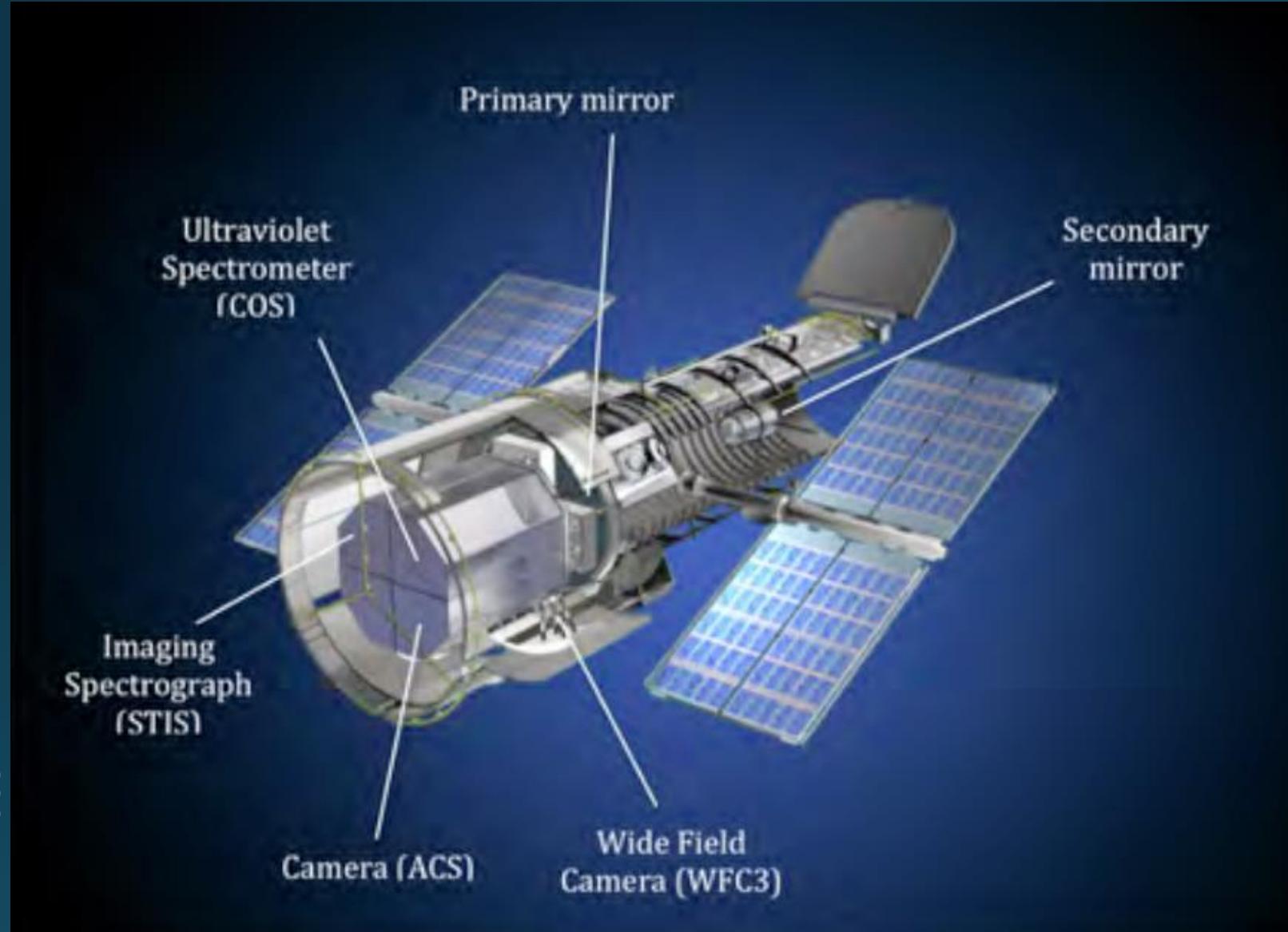


Visible



Infrared

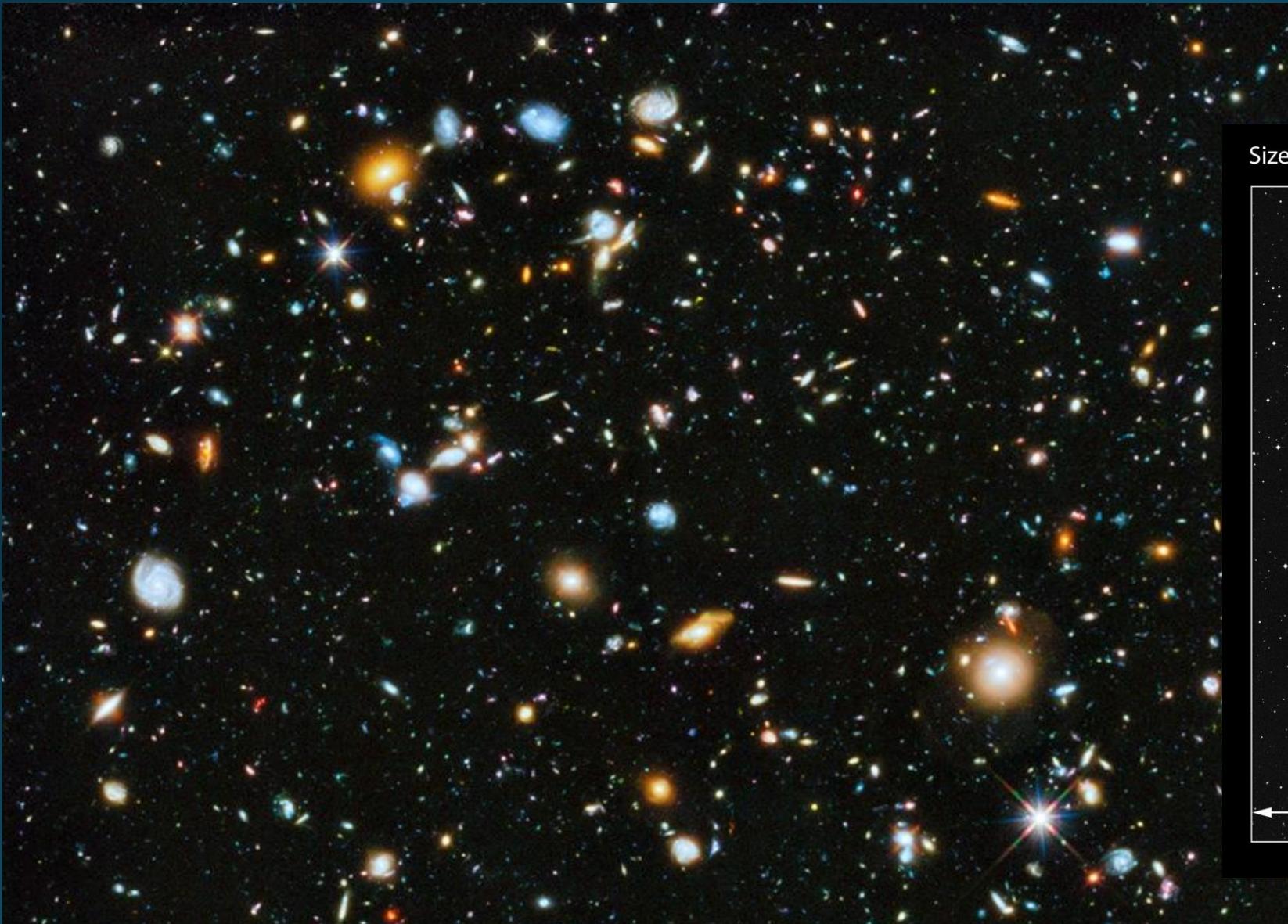
# Приборы Хабла



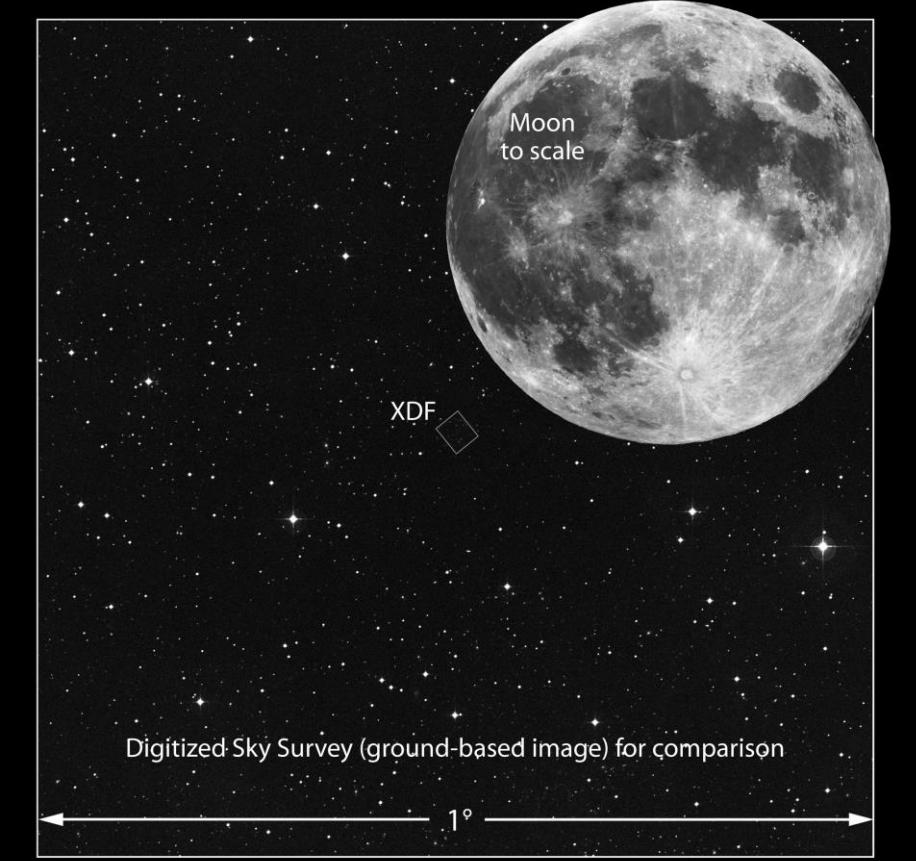
Телескоп может строить изображения и получать спектры в видимом, ИК и УФ диапазонах спектра.

Наблюдение объектов до 31 звездной величины

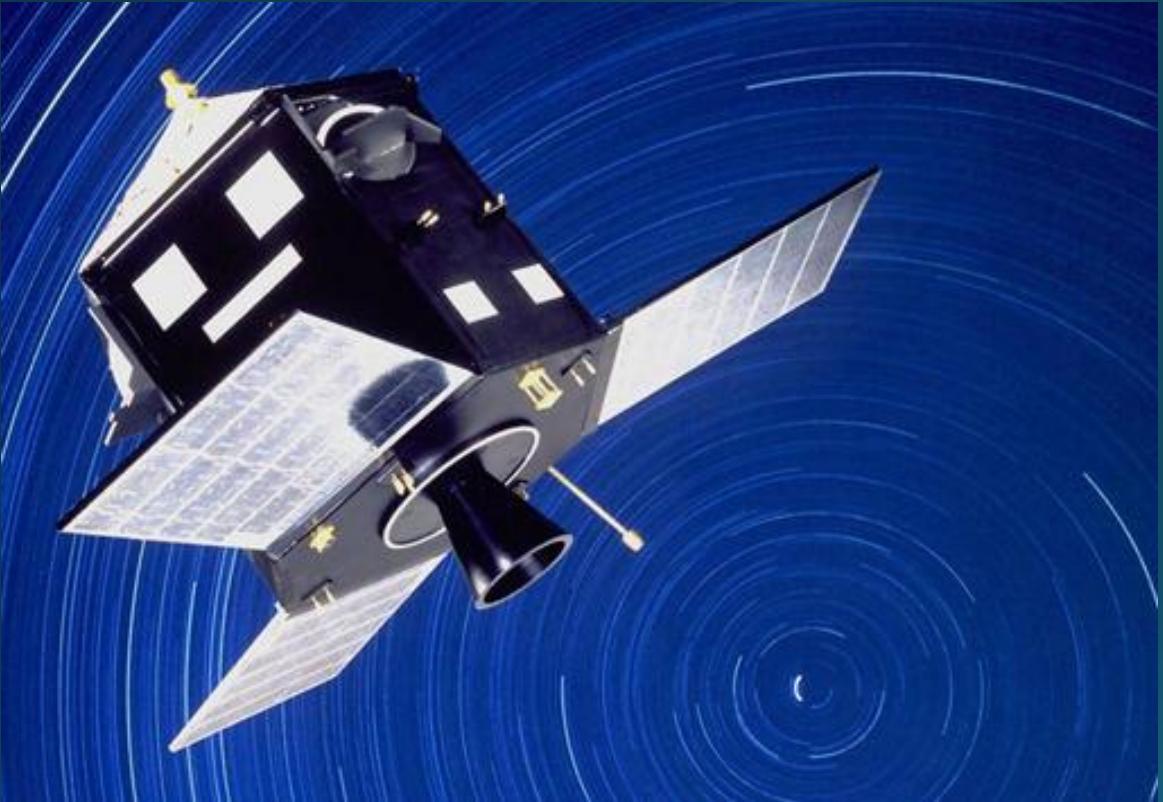
# Ультраглубокое поле Хаббла



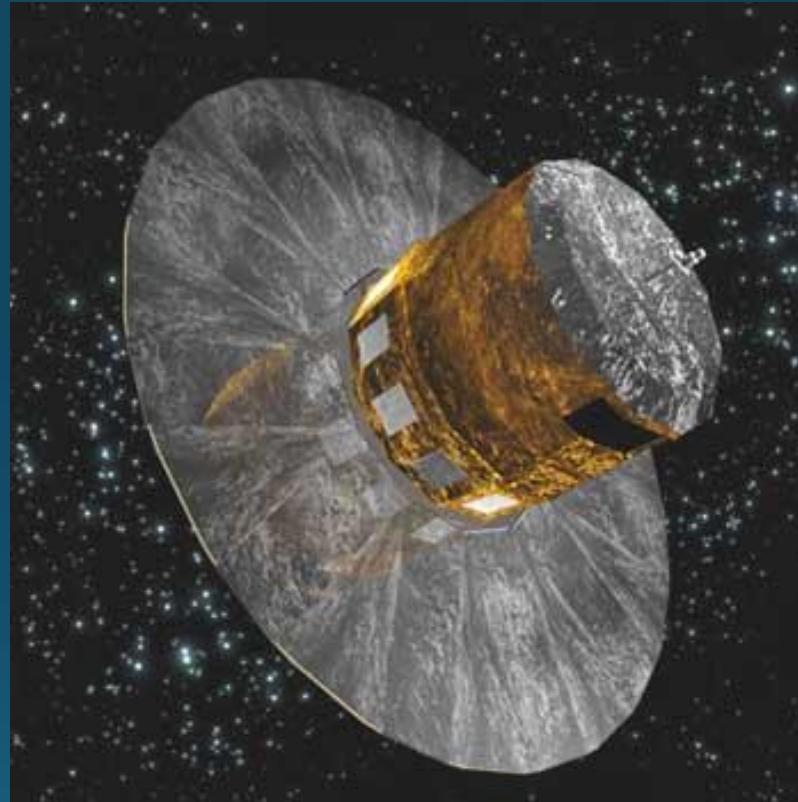
Size of Hubble eXtreme Deep Field on the Sky



# Астрометрические наблюдения из космоса



Hipparcos



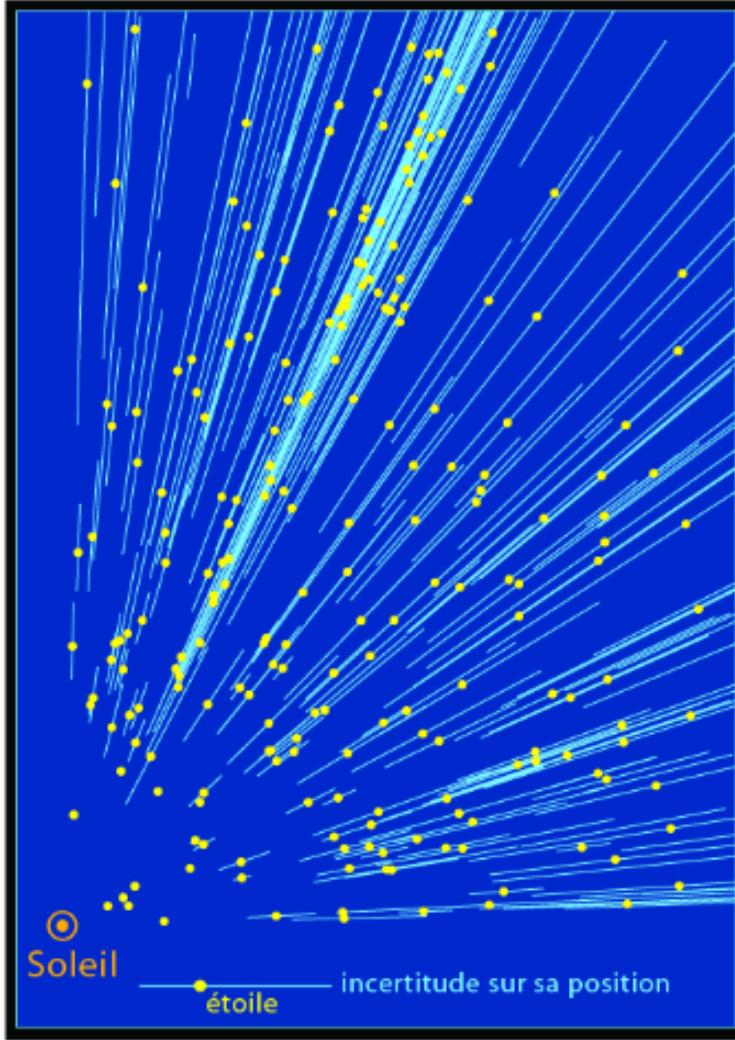
GAIA

Спутник Gaia впервые даст нам трехмерную карту половины Галактики. См. детальное описание в 1609.04153

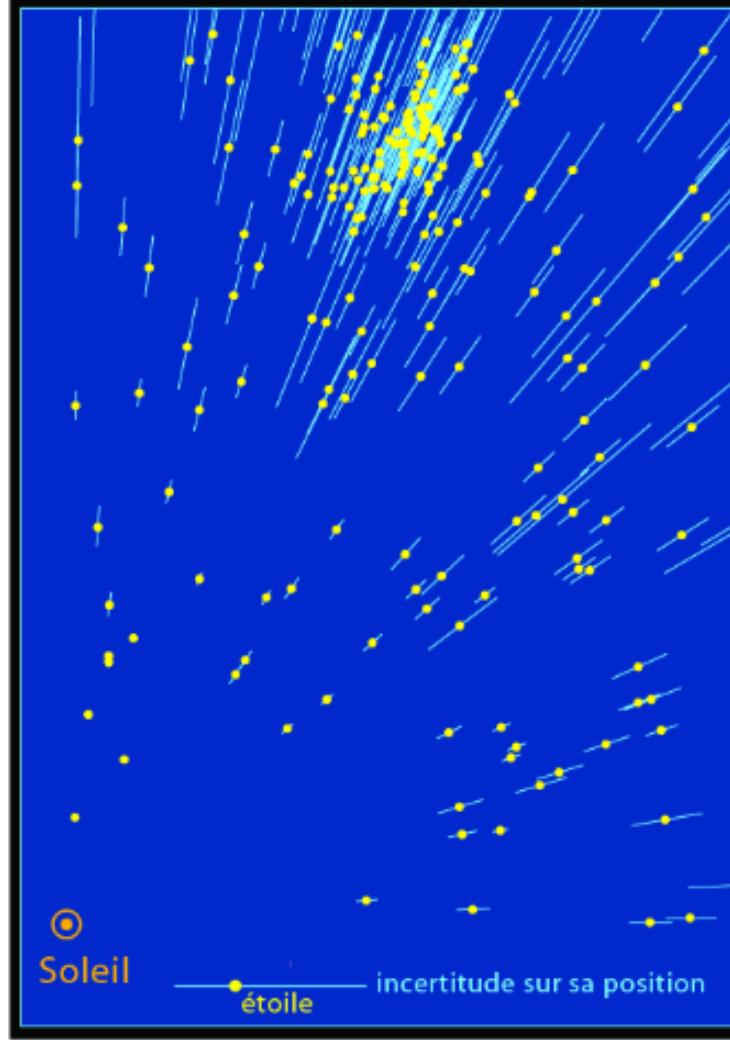
Наблюдения из космоса произвели революцию в астрометрии.

# Пределы точного измерения расстояний

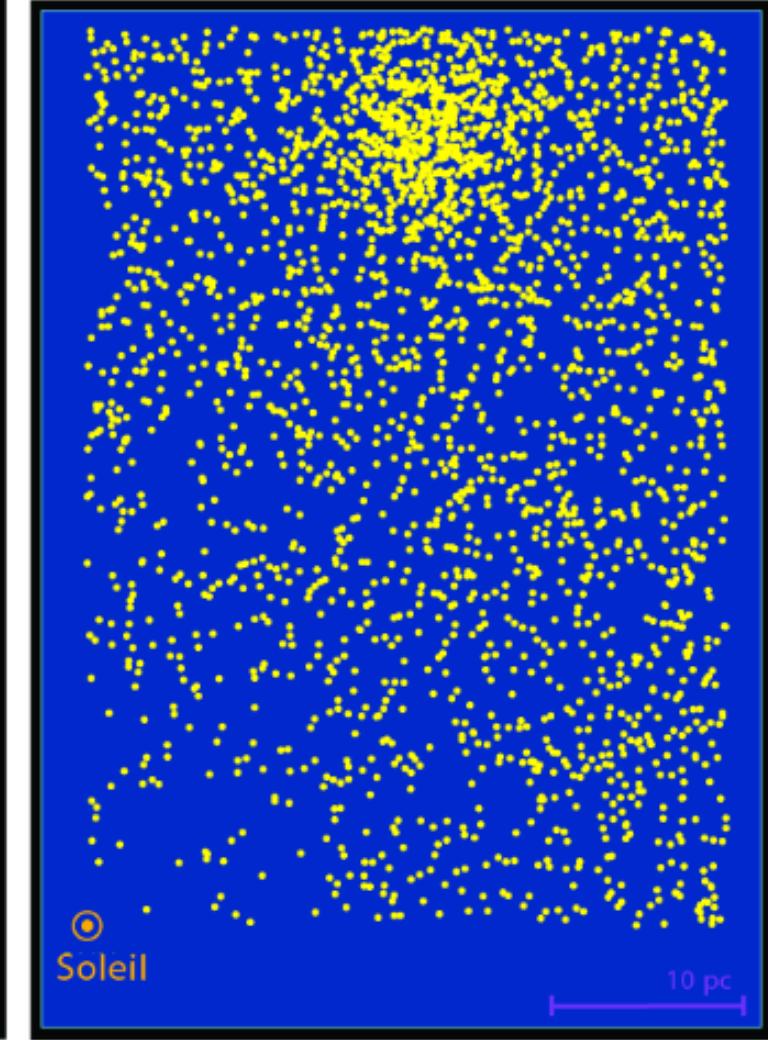
Sol



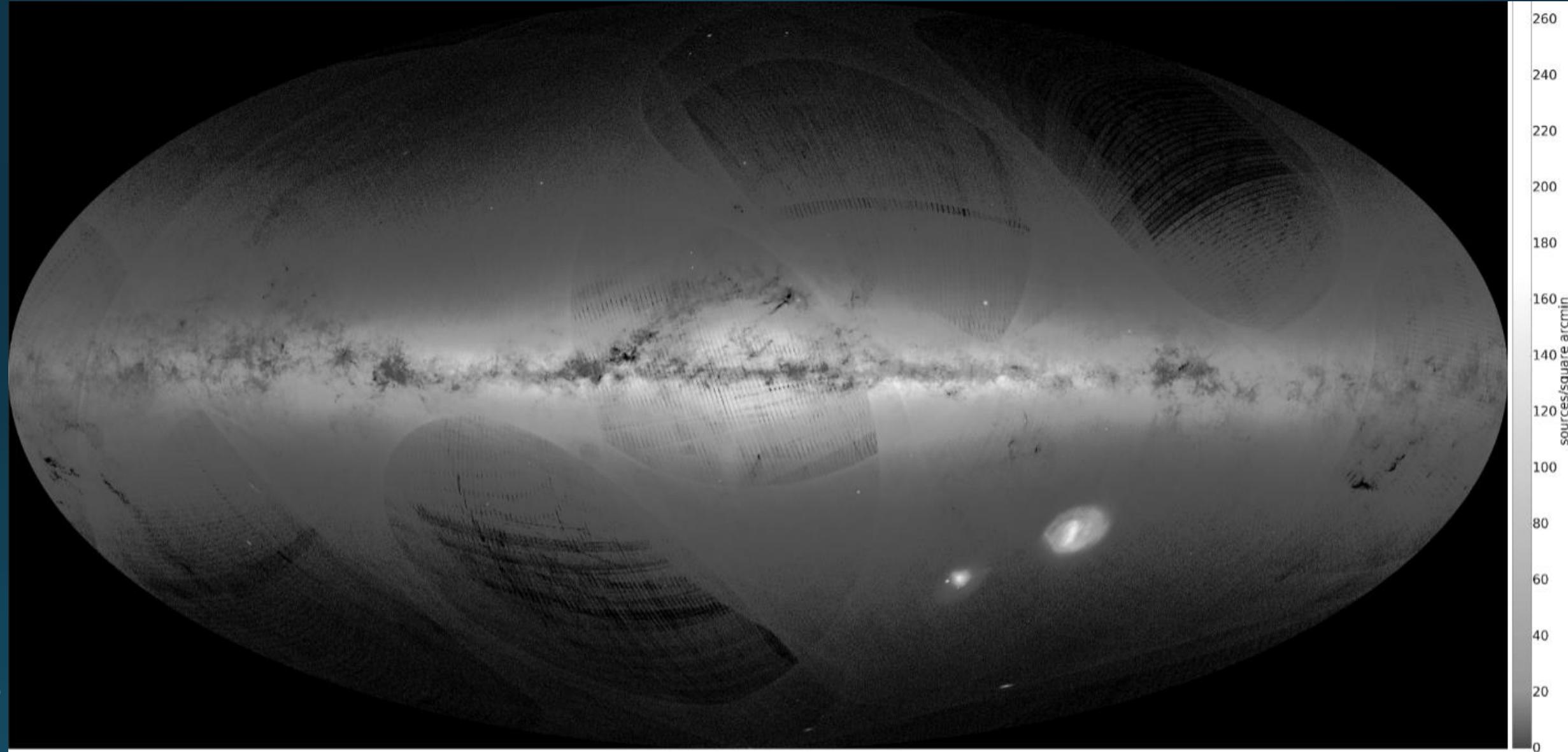
Hipparcos (1990)



Gaia (2020)



# Первый релиз данных Gaia



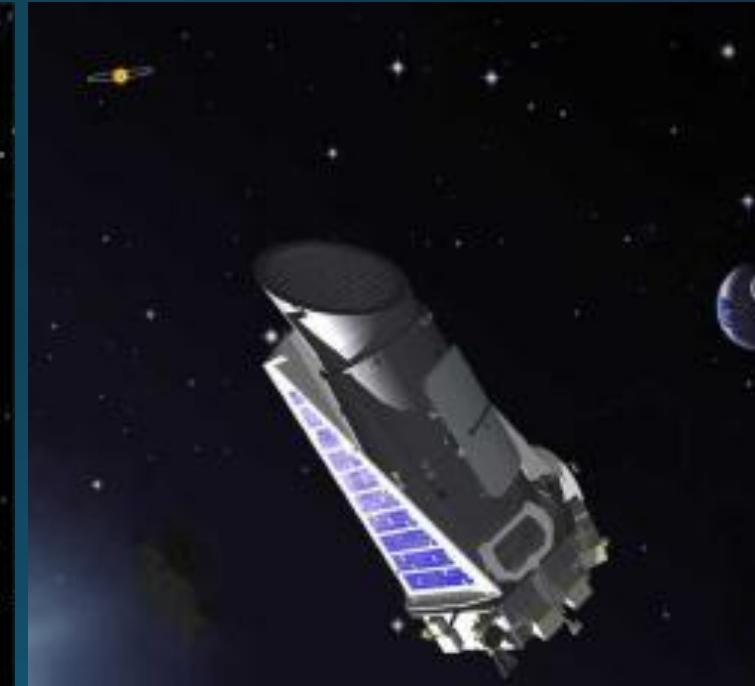
# Поиски экзопланет



CoRot



TESS

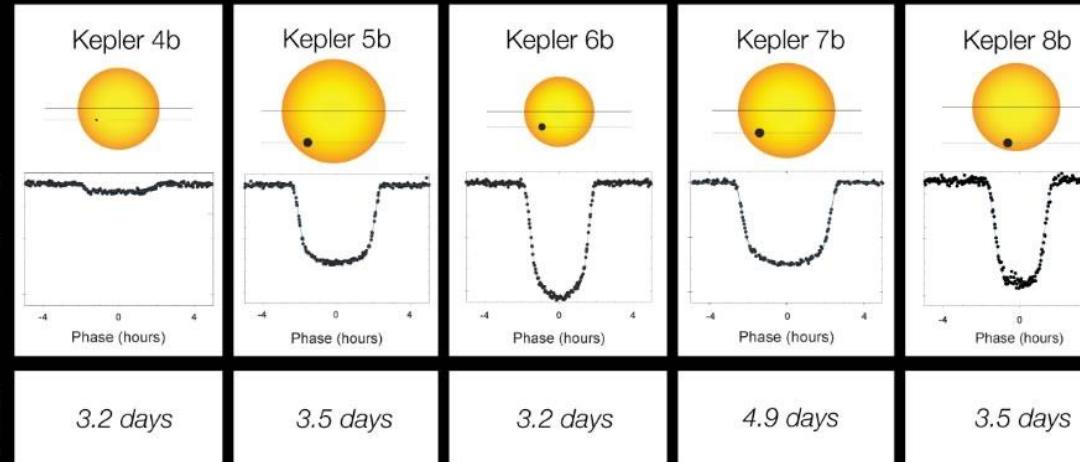


Kepler

# Кривые блеска при транзитах

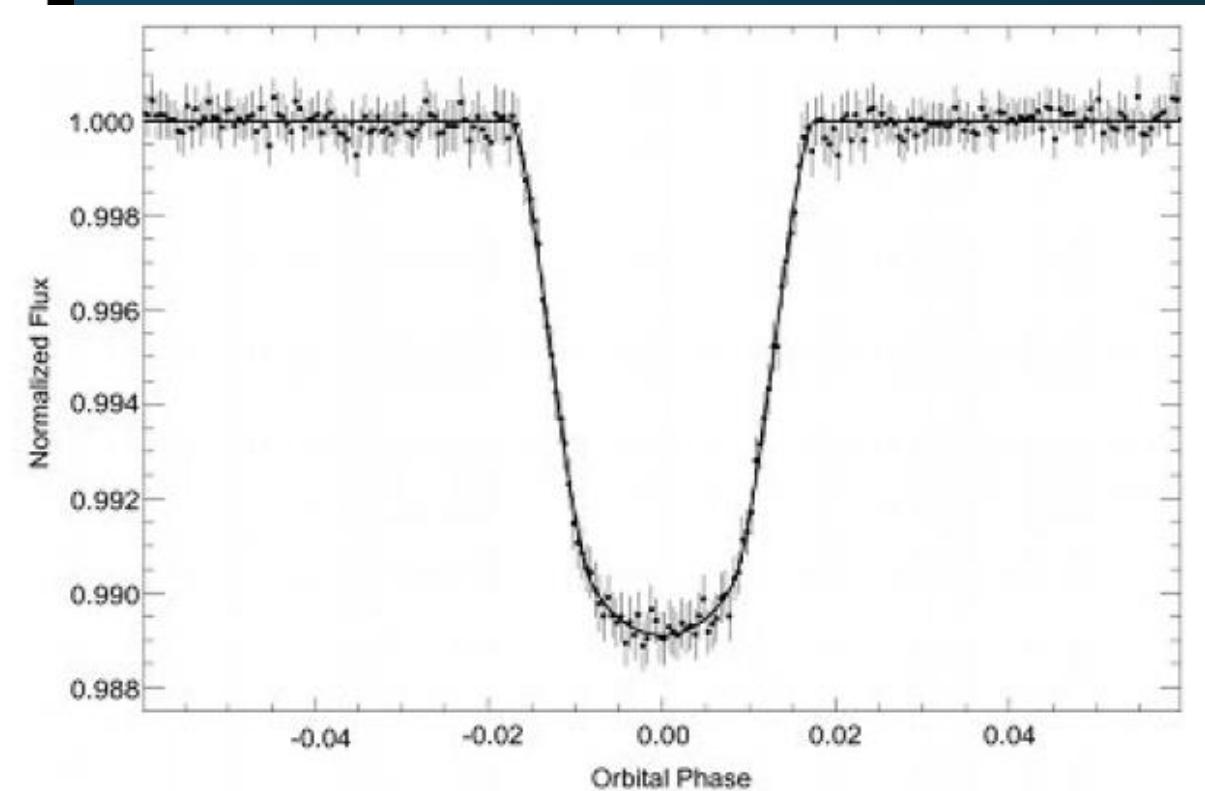
## Transit Light Curves

<http://kepler.nasa.gov>

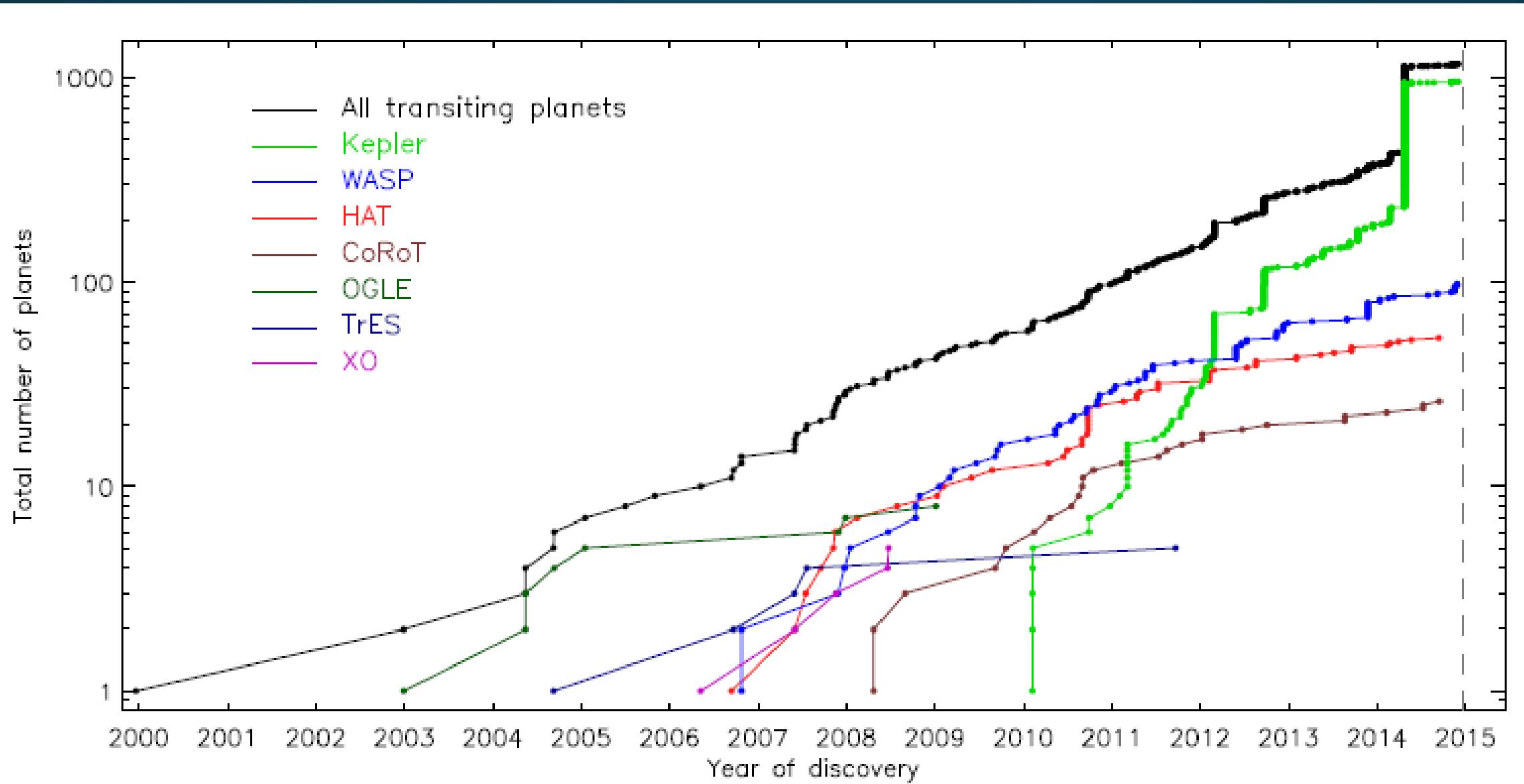


Необходимо проводить измерения,  
сохраняя точность в течение нескольких  
периодов обращения планеты.

Падение блеска может составлять  
тысячные или даже десятитысячные  
доли полного потока.



# Темп открытия транзитных планет



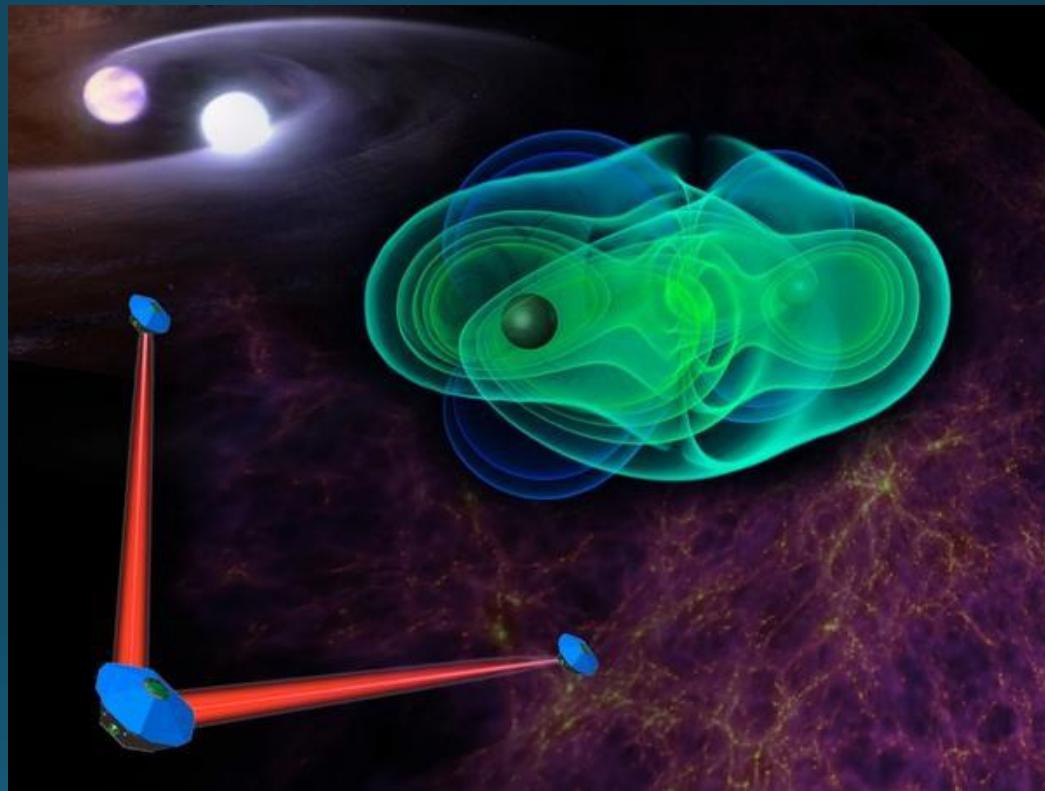
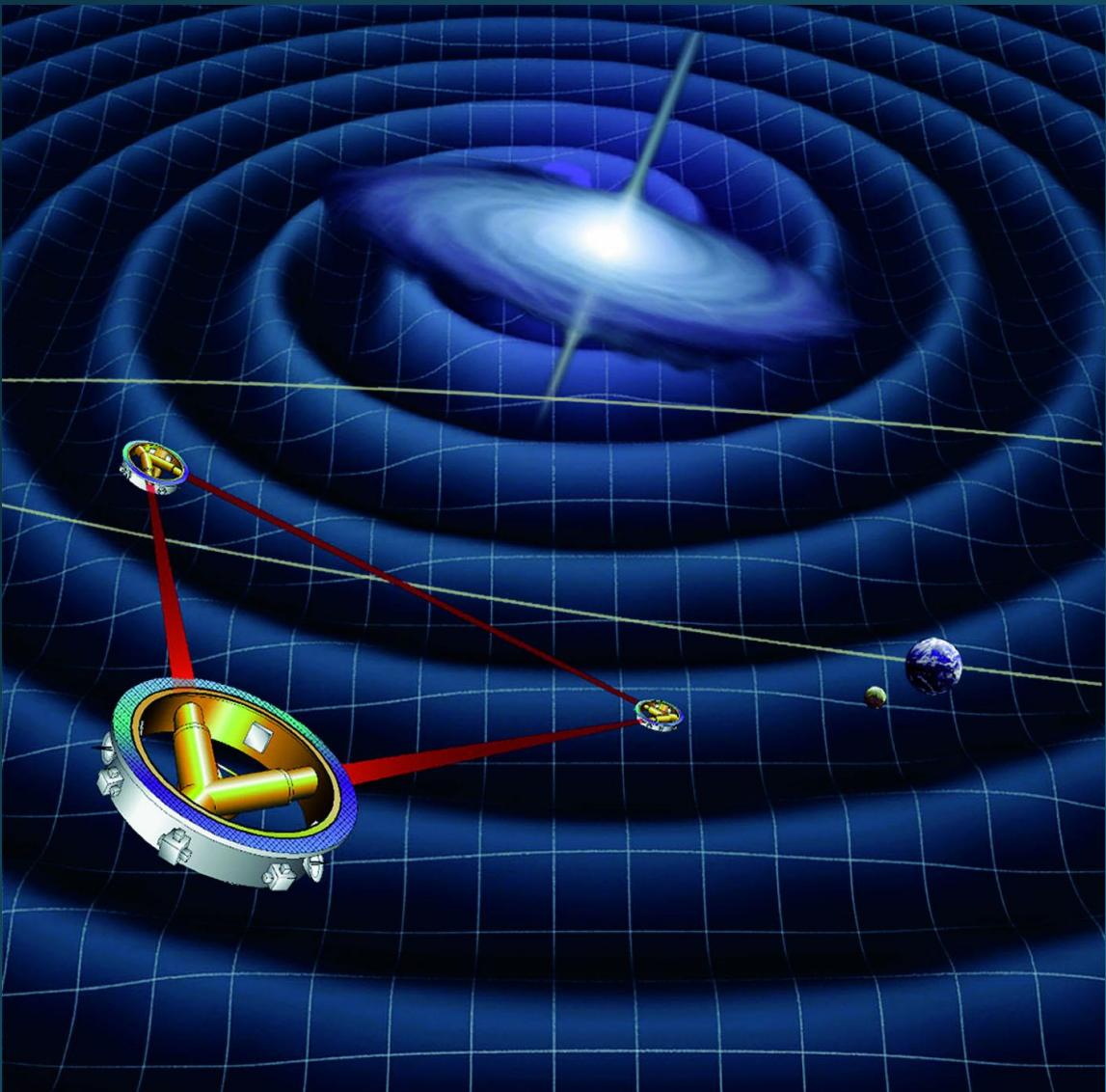
# Радиоастрон



Космический  
интерферометр

Рекордное  
угловое разрешение

# Космический проект eLISA



2.5 миллиарда долларов  
NASA сняла свое финансирование  
Сейчас ESA одобрена заявка на запуск  
упрощенного варианта в 2034 г.  
В новом виде проект назван eLISA.  
В 2016 г. NASA вернулось в проект!

# Космические лучи

Возможно, что следующим шагом в изучении космических лучей сверхвысоких энергий будет запуск специальных космических аппаратов.

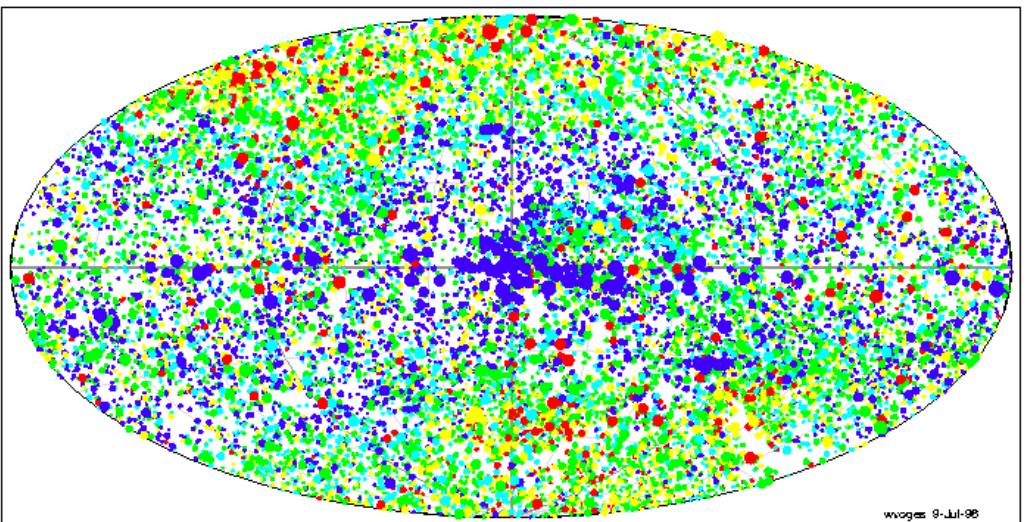
Задача: изучение редких частиц очень высоких энергий.



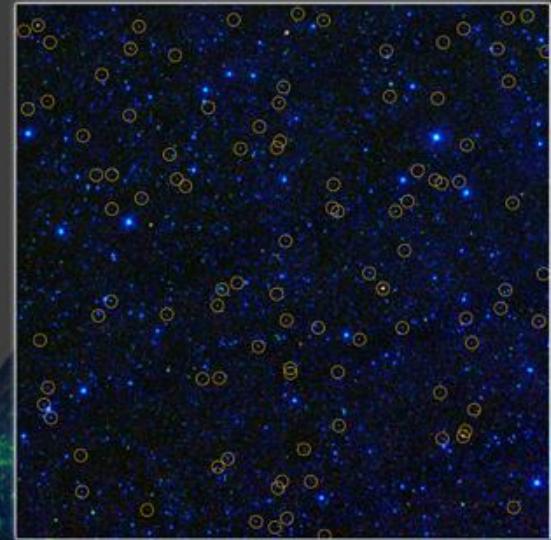
# Обзоры

**ROSAT ALL-SKY SURVEY Bright Sources**

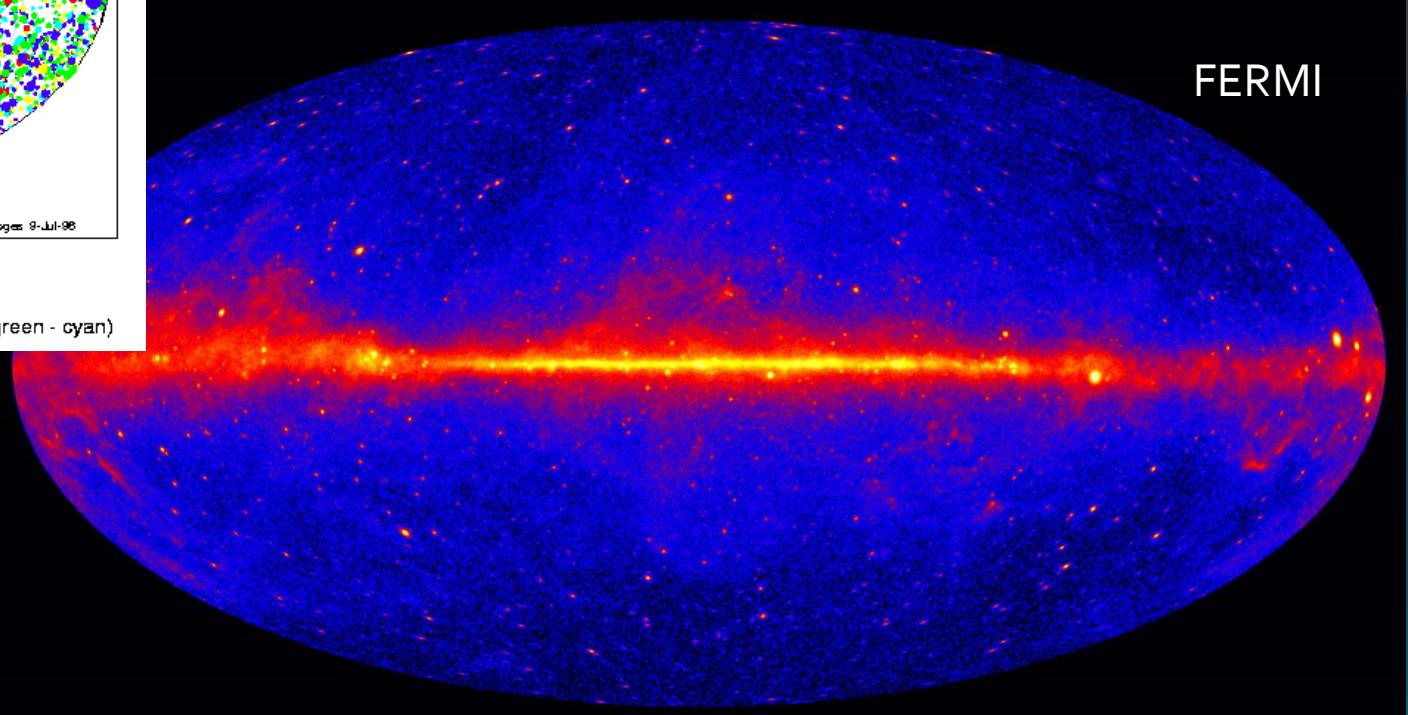
Aitoff Projection  
Galactic II Coordinate System



Energy range: 0.1 - 2.4 keV  
Number of RASS-II sources: 18811  
Hardness ratio: -1.0 | -0.4 | -0.2 | 0.2 | 0.6 | 1.0    (soft -> hard : magenta - red - yellow - green - cyan)



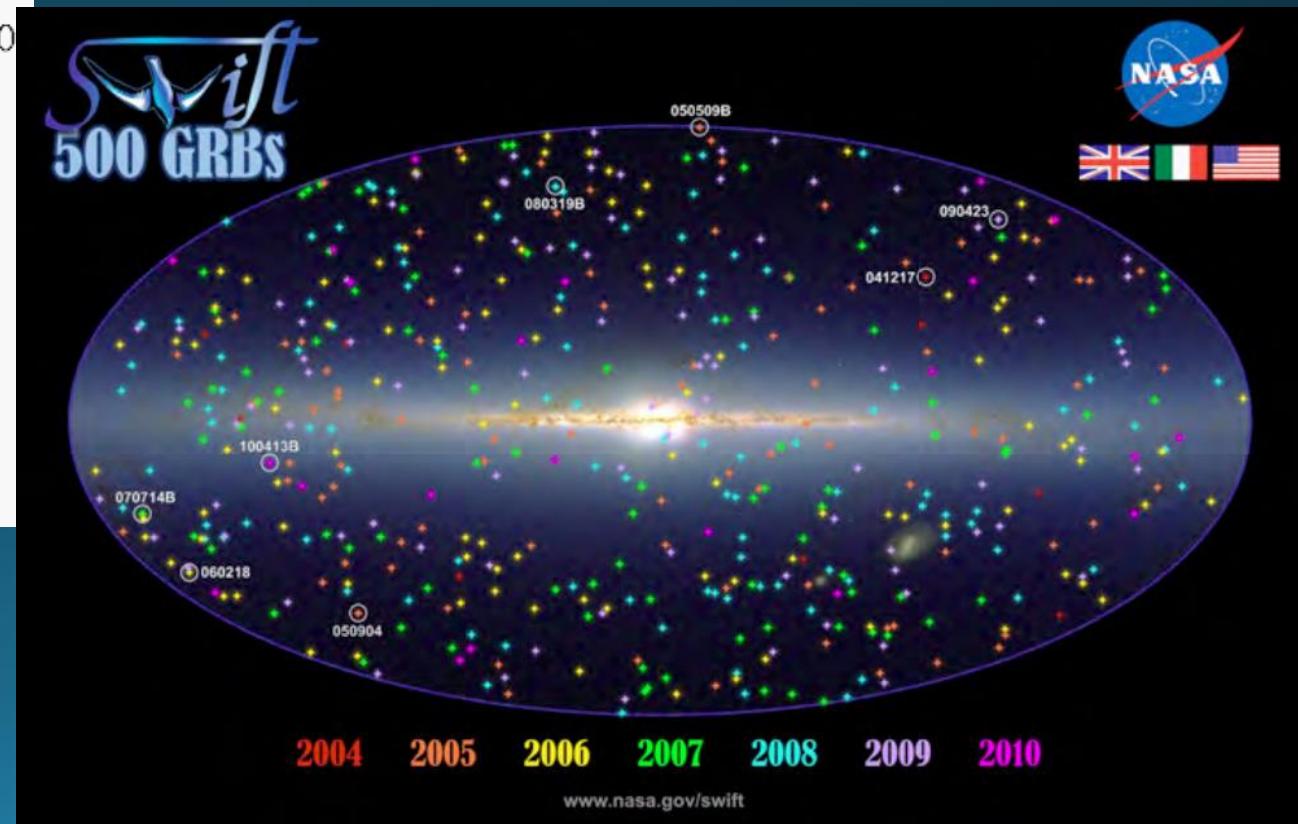
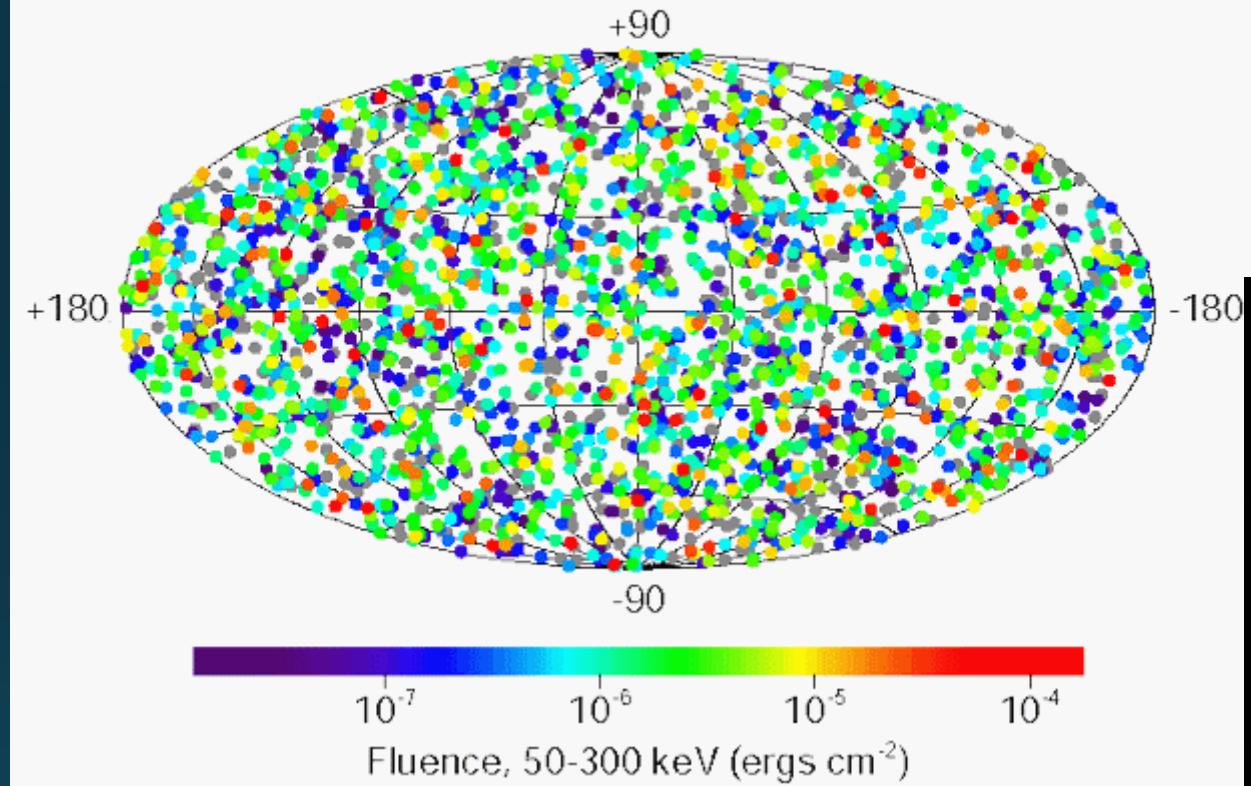
WISE



FERMI

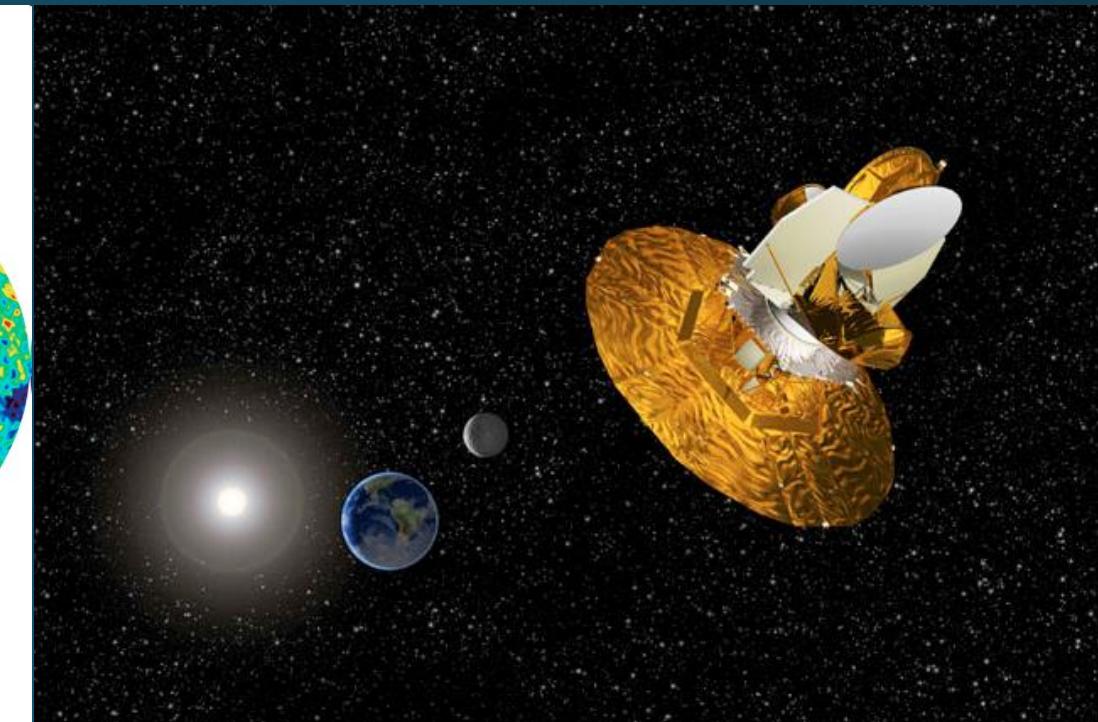
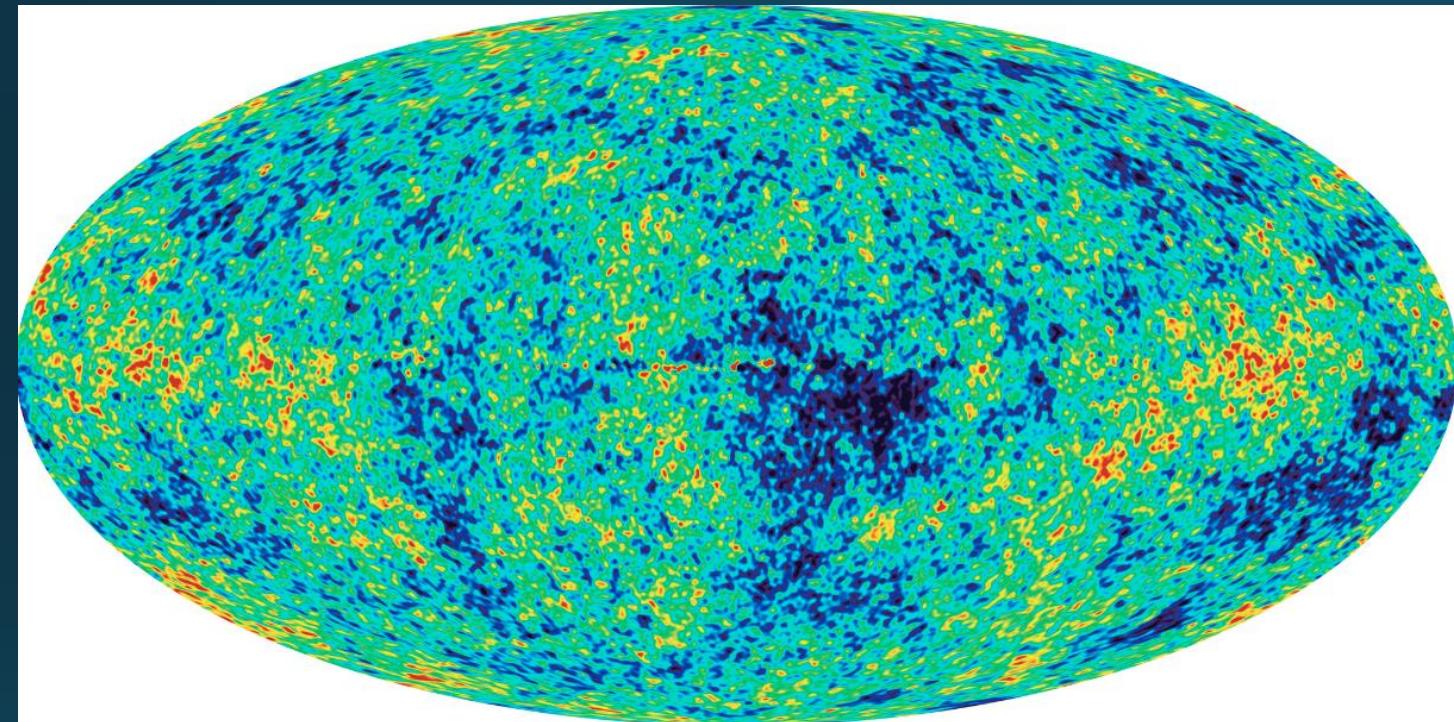
# Мониторинг неба

2704 BATSE Gamma-Ray Bursts



# Спутник WMAP

Спутник WMAP (США)



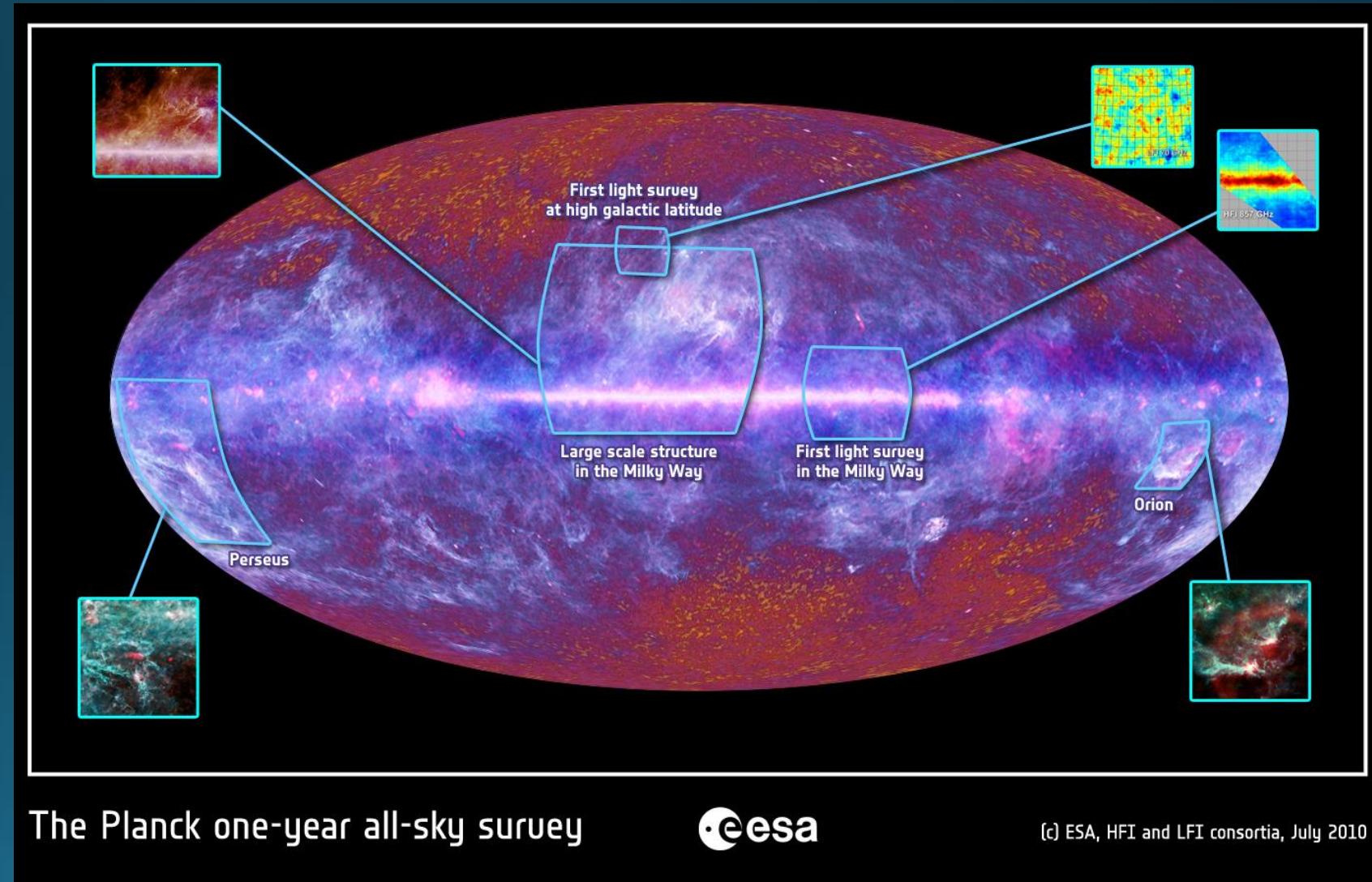
Задача инструмента — изучение микроволнового (реликтового) фона, несущего информацию о молодой Вселенной.

То есть это космологический прибор.

Однако, поскольку на реликтовое излучение накладывается излучение нашей Галактики, спутник получил важнейшую информацию о свойствах нашей звездной системы.

# Результаты спутника Planck

Наблюдения микроволнового фона на 100 - 857 ГГц



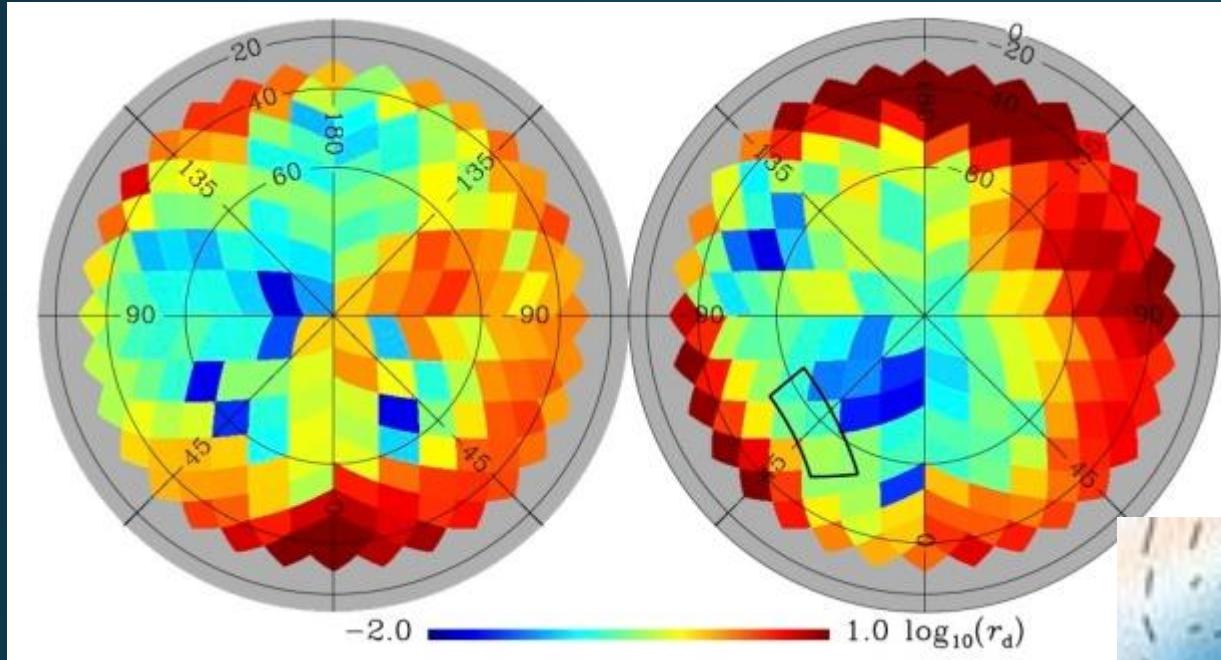
The Planck one-year all-sky survey



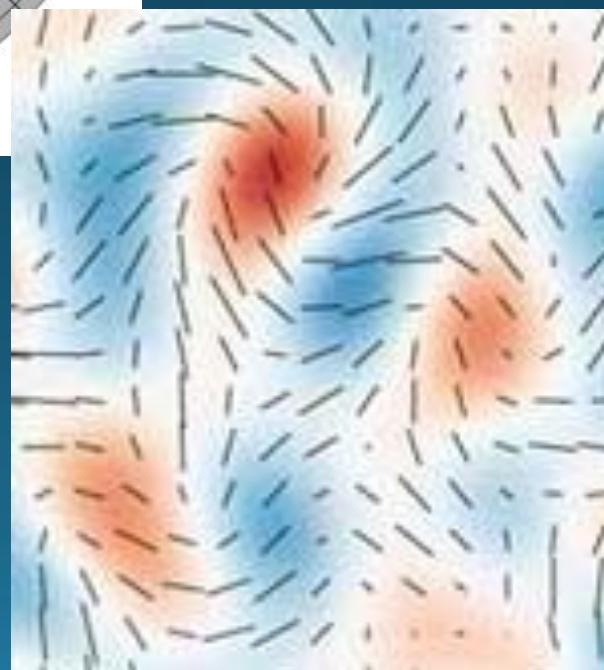
© ESA, HFI and LFI consortia, July 2010

# BICEP2 vs. Planck

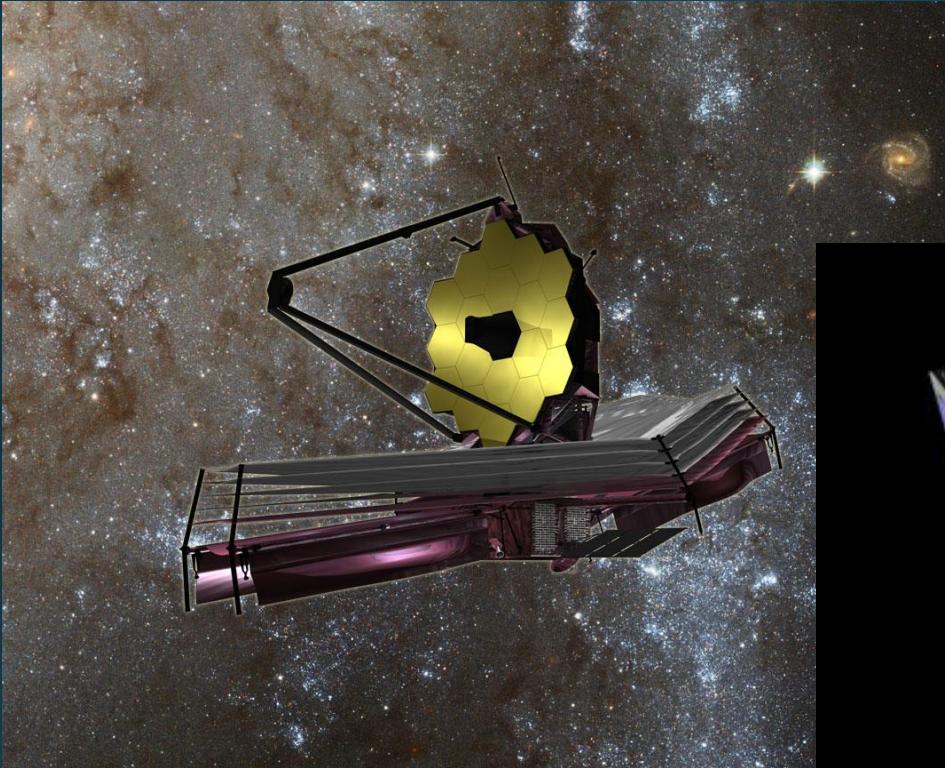
1409.5738



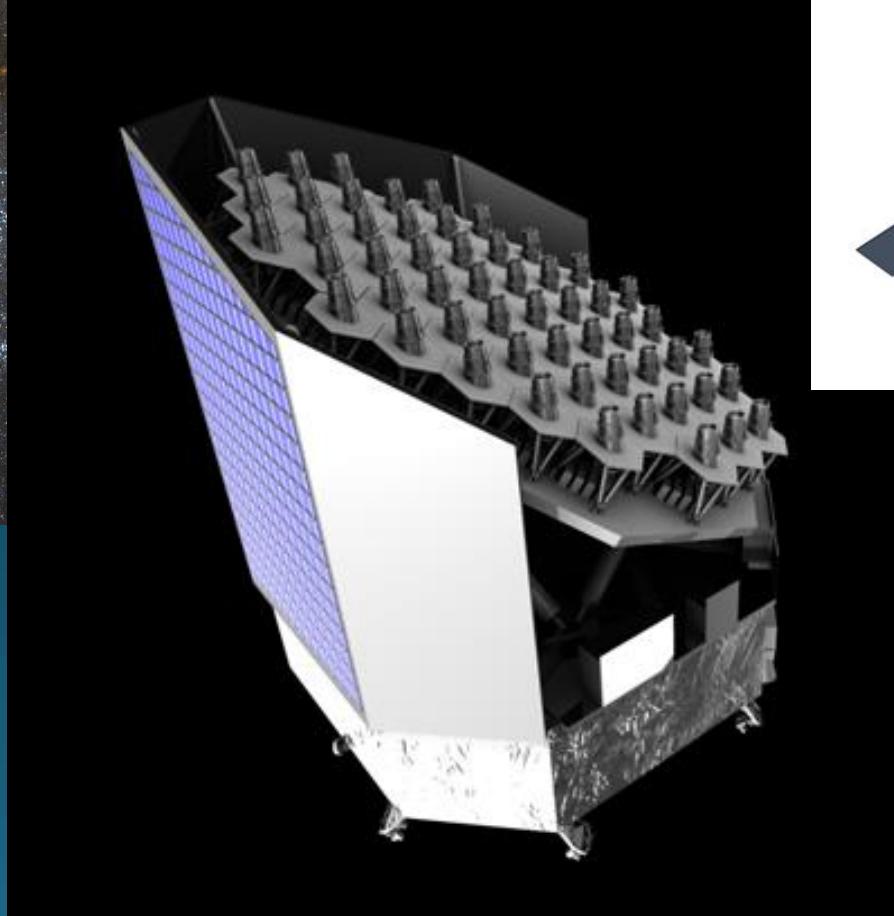
Установить истину помогло то, что Планк  
может наблюдать все небо на разных частотах.



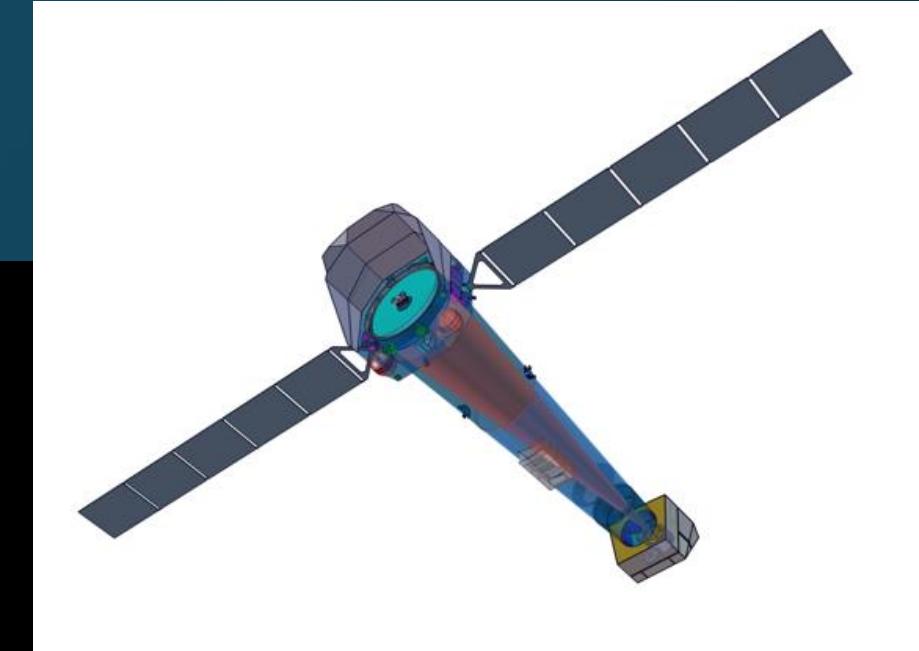
# Астрономия XXI века



JWST (2021)



Plato (2026)



ATHENA (2034)