



ЗАЧЕМ СЕГОДНЯ ЗАНИМАТЬСЯ АСТРОНОМИЕЙ (И ПОЧЕМУ ЭТО ТАК ДОРОГО)?

СЕРГЕЙ ПОПОВ

НА ВЕС ЗОЛОТА



Рыночная цена золота ~1220\$ за унцию
(т.е., около 40\$ за грамм – 40 млн. \$ тонна)

ПРЕДМЕТЫ РОСКОШИ



Шуба весит 2-3 кг
при стоимости <20-30 тыс. \$



2 600 000\$ 1.9 тонны (<2000\$ за кг)

В КАЖДОМ ДОМЕ

Упаковка лекарства может стоить >100\$ при массе препарата в несколько грамм и даже меньше (если говорить об активном веществе)

Это сравнимо с золотом и даже дороже.



ДОРОГИЕ НАУЧНЫЕ ПРОЕКТЫ



eVLA
Апгрейд на
90 млн. \$



Giant Segmented Mirror Telescope
Миллиард долларов без аппаратуры



Wide Field Camera 3
132 млн. \$

МАСШТАБ ЦЕН



В Decadal Survey принято, что

- Для космических исследований
 - Большие (дорогие) проекты – дороже миллиарда долларов
 - Средние (умеренно дорогие) – от 300 миллионов до миллиарда
- Для наземных установок
 - Большие (дорогие) – дороже 135 миллионов долларов
 - Средние (умеренно дорогие) – от 4 до 135 миллионов долларов

Дорогой в космосе – JWST
Дорогой на Земле - LSST

Средний в космосе – WMAP, SWIFT, WISE

СРАВНИМ.....

http://content.time.com/time/photogallery/0,29307,1912203_1913321,00.html



US AIR FORCE / STAFF SGT BENNIE J. DAVIS III

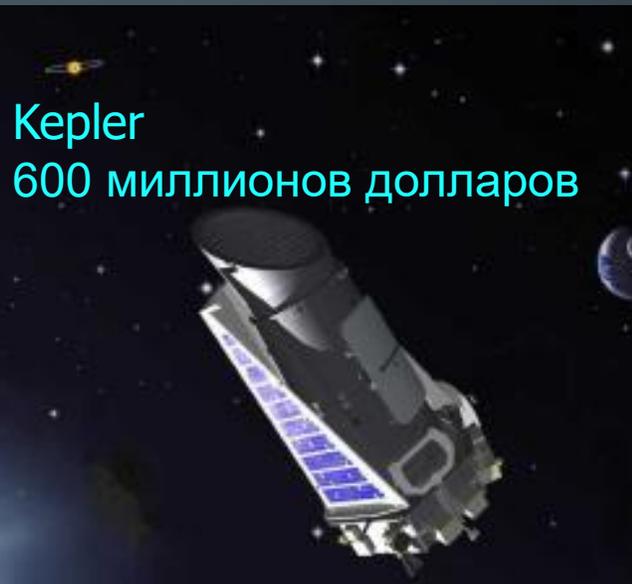
B-2 Spirit: \$2.4 billion

◀ BACK

NEXT ▶

1	<i>Pirates of the Caribbean: On Stranger Tides</i>	2011	\$378.5
2	<i>Pirates of the Caribbean: At World's End</i>	2007	\$300
3	<i>Avengers: Age of Ultron</i>	2015	\$279.9
4	<i>John Carter</i>	2012	\$263.7
5	<i>Tangled</i>	2010	\$260
6	<i>Spider-Man 3</i>	2007	\$258
7	<i>Harry Potter and the Half-Blood Prince</i>	2009	\$250
	<i>The Hobbit: The Battle of the Five Armies</i>	2014	\$250
9	<i>Spectre</i>	2015	\$245
10	<i>Avatar</i>	2009	\$237
11	<i>The Dark Knight Rises</i>	2012	\$230
12	<i>The Chronicles of Narnia: Prince Caspian</i>	2008	\$225
	<i>The Lone Ranger</i>	2013	\$225
	<i>Pirates of the Caribbean: Dead Man's Chest</i>	2006	\$225
	<i>Man of Steel</i>	2013	\$225
	<i>The Hobbit: The Desolation of Smaug</i>	2013	\$225
17	<i>The Avengers</i>	2012	\$220
18	<i>Men in Black 3</i>	2012	\$215
	<i>Oz the Great and Powerful</i>	2013	\$215

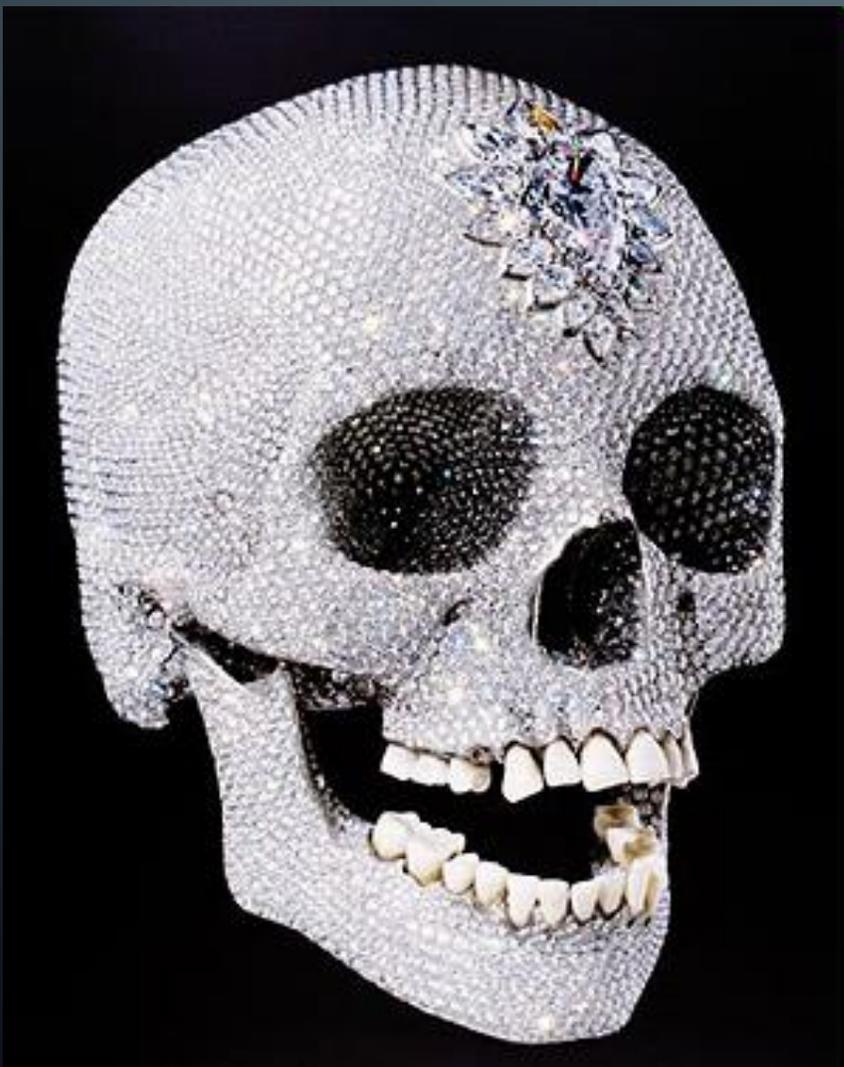
wikipedia.org



Kepler

600 миллионов долларов

ПОЧЕМУ ДОРОГО?



- Новые уникальные разработки
- Единичные экземпляры
- Высокие технологии
- Космос
- Риски

РИСКИ



Важен технологический риск.
Например, для WFIRST он мал,
а для JWST – велик.

Важен риск отклонения от сроков выполнения
(например, для очень дорогих проектов
с большим числом участников из разных стран)

Также есть риски, связанные с
высокой стоимостью проекта:
кризис и тп. могут повлечь закрытие.

В ЧЕМ ЦЕЛЬ?



**Задача – делать *действительно* важные открытия,
участвовать в движении науки вперед.**

КАКИЕ ВОПРОСЫ ЗАДАЕМ?

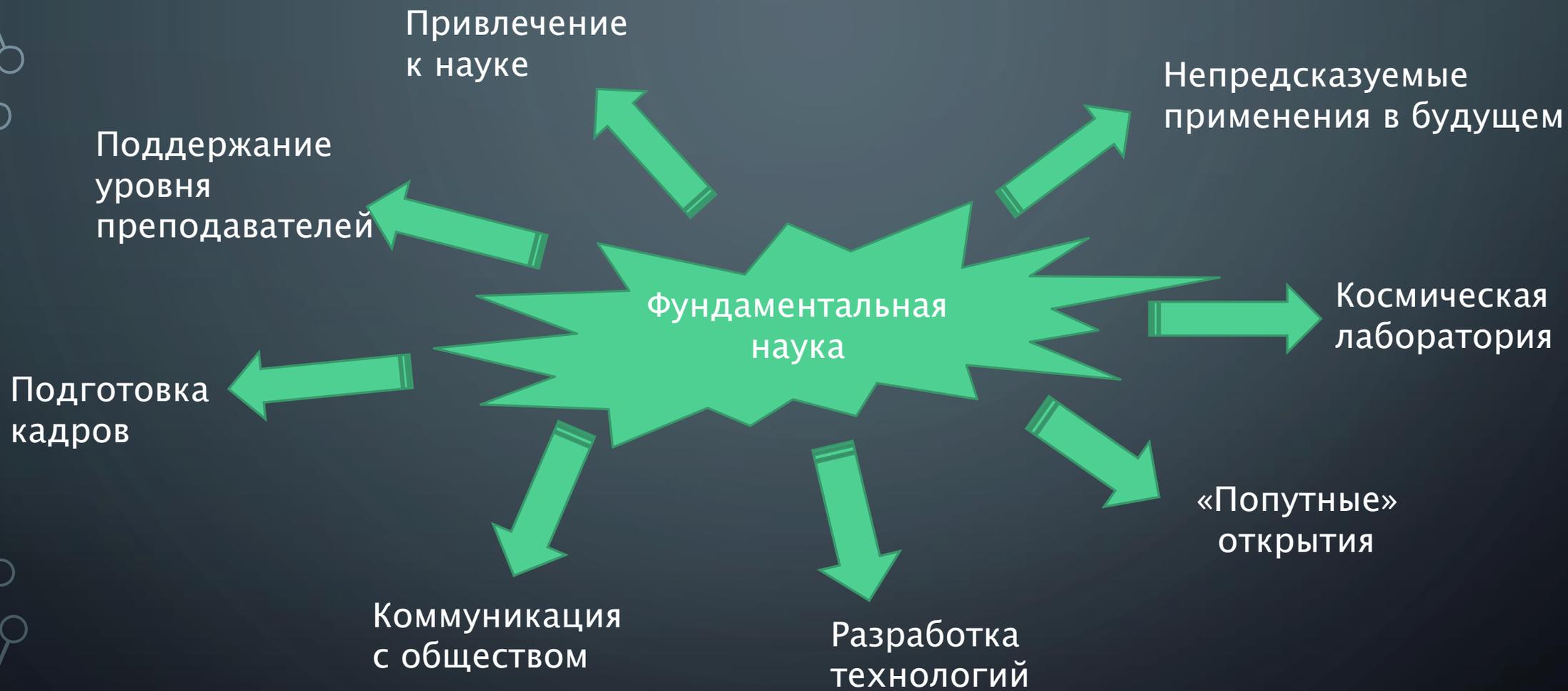
Зачем все это нужно???



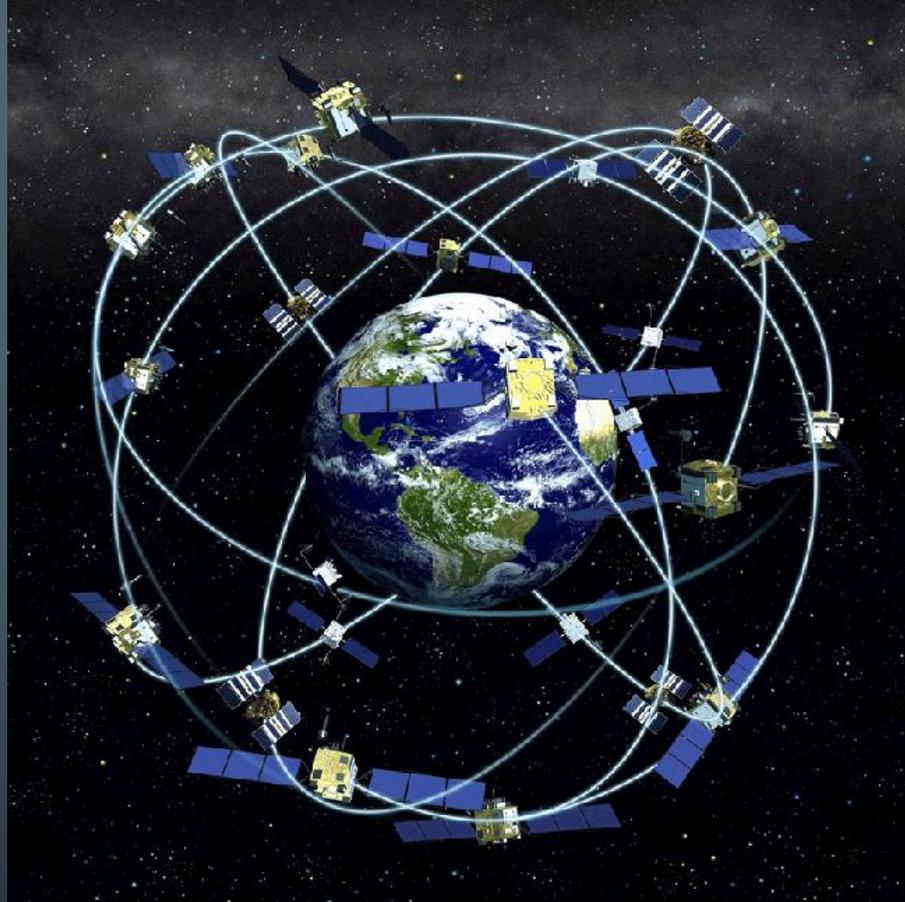
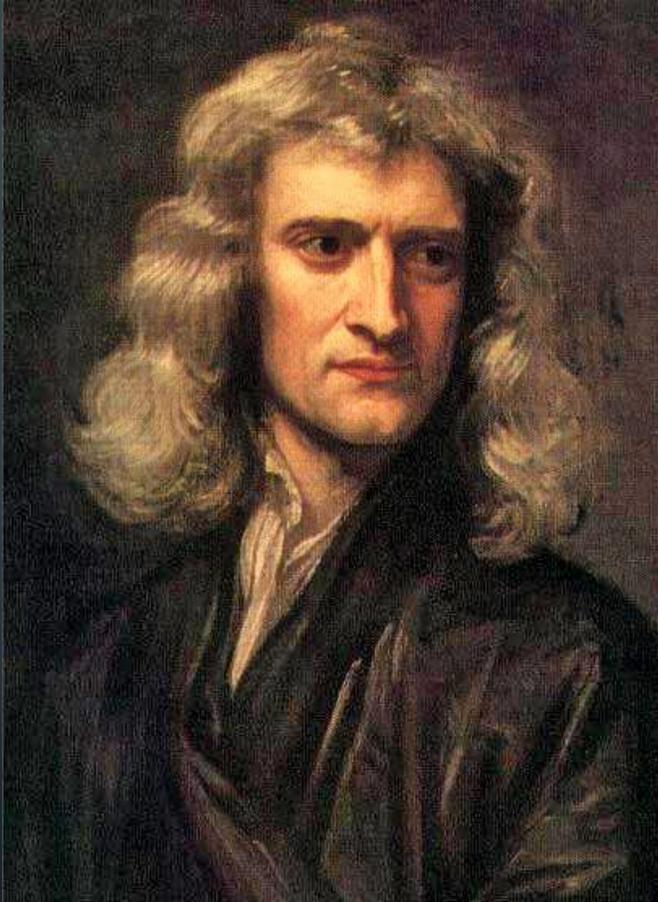
Первичны вопросы, на которые мы ищем ответы. Часто оказывается, что вопрос достаточно сложен, а потому ответ на него найти трудно. В экспериментальных науках эта трудность часто выражается в высокой стоимости эксперимента.

Простые (дешевые) пути поиска ответов уже пройдены.

Дорогой проект – это шоссе через джунгли.



НЕПРЕДСКАЗУЕМЫЕ БУДУЩИЕ ПРИМЕНЕНИЯ



<http://www.space.com/19794-navstar.html>

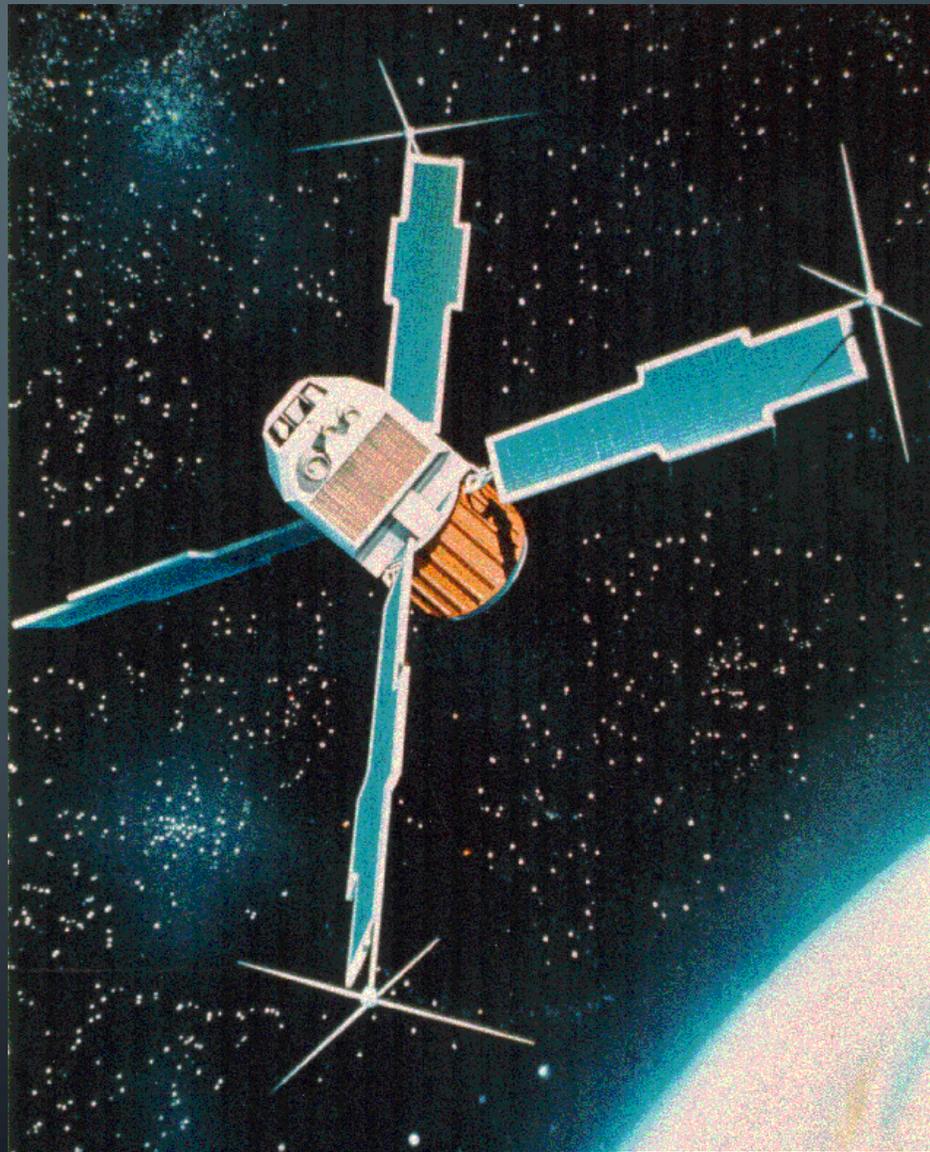
В 17–18 веках было трудно представить, для каких практических нужд понадобятся работы по изучению движения тел Солнечной системы

РЕНТГЕНОВСКИЕ ДЕТЕКТОРЫ

<http://science.howstuffworks.com/transport/flight/modern/airport-security4.htm>



Первые рентгеновские детекторы в аэропортах были разработаны фирмой, работавшей над первыми детекторами для рентгеновской астрономии.



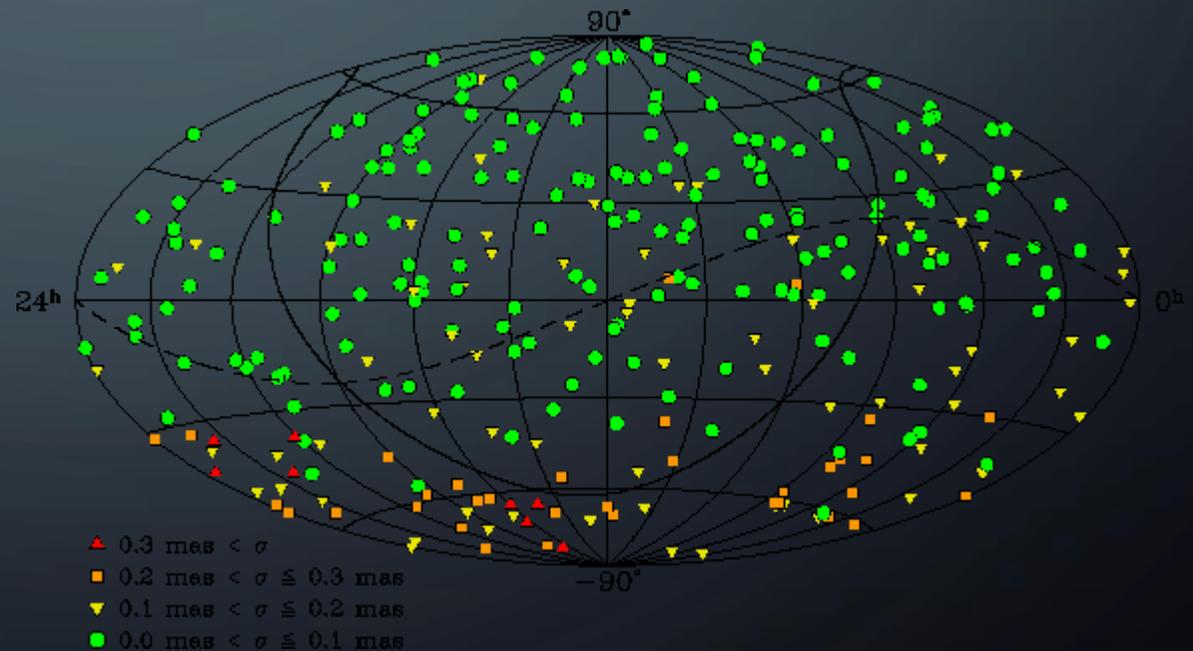
<https://www.cfa.harvard.edu/hea/hm/uhuru.html>

КВАЗАРЫ

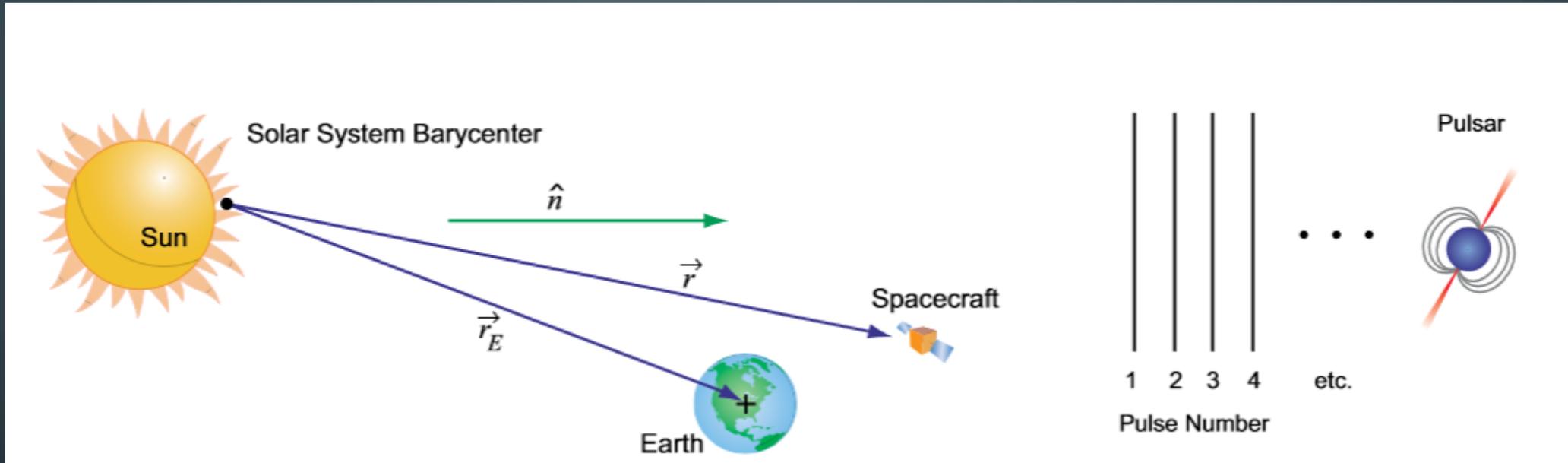
Сейчас основой точнейших каталогов, являющихся базой всех систем ориентации, является примерно три сотни квазаров.

Мало кто мог предположить 50 лет назад, что новый тип астрономических источников получит такое важное практическое применение.

International Celestial Reference Frame



ОРИЕНТАЦИЯ СПУТНИКОВ ПО РЕНТГЕНОВСКИМ ПУЛЬСАРАМ



http://www.nrl.navy.mil/content_images/06FA5.pdf

Все ведущие космические агентства в мире (включая российское) сейчас работают над созданием систем навигации, основанных на наблюдении рентгеновского излучения стабильных одиночных пульсаров.

WI-FI

<http://www.abc.net.au/science/articles/2009/10/28/2726708.htm>



Ключевой вклад в разработку Wi-Fi внесли радиоастрономы. В первую очередь, Джон О'Салливан. Целью разработки была обработка данных радионаблюдений.

КОММУНИКАЦИИ С ОБЩЕСТВОМ

OUTREACH ACTIVITIES

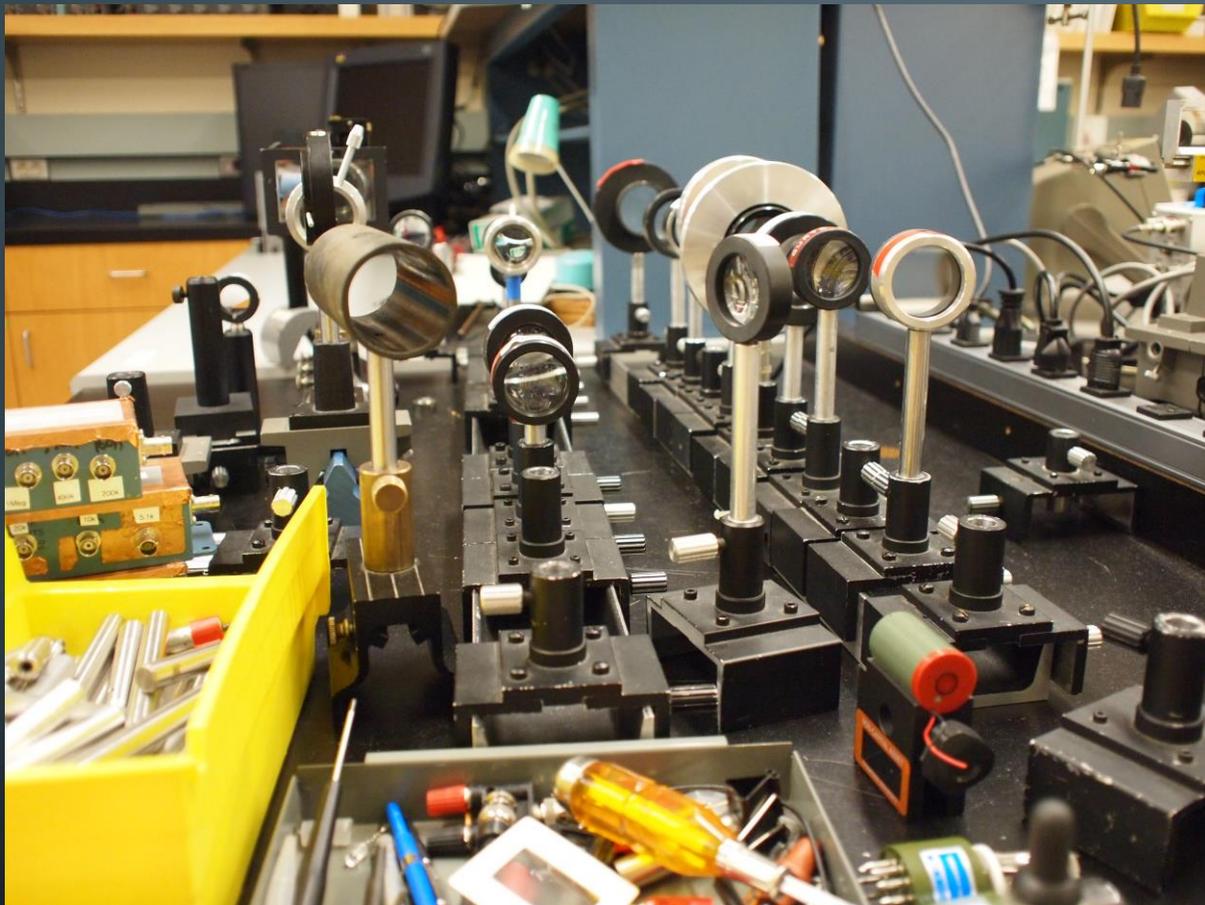
<http://www.ast.cam.ac.uk/>



Современная наука стала достаточно сложной и специализированной, а потому сложной для понимания. Не обо всех научных открытиях можно рассказывать одновременно доступно, интересно и достаточно точно.

ЕСТЕСТВЕННАЯ ЛАБОРАТОРИЯ

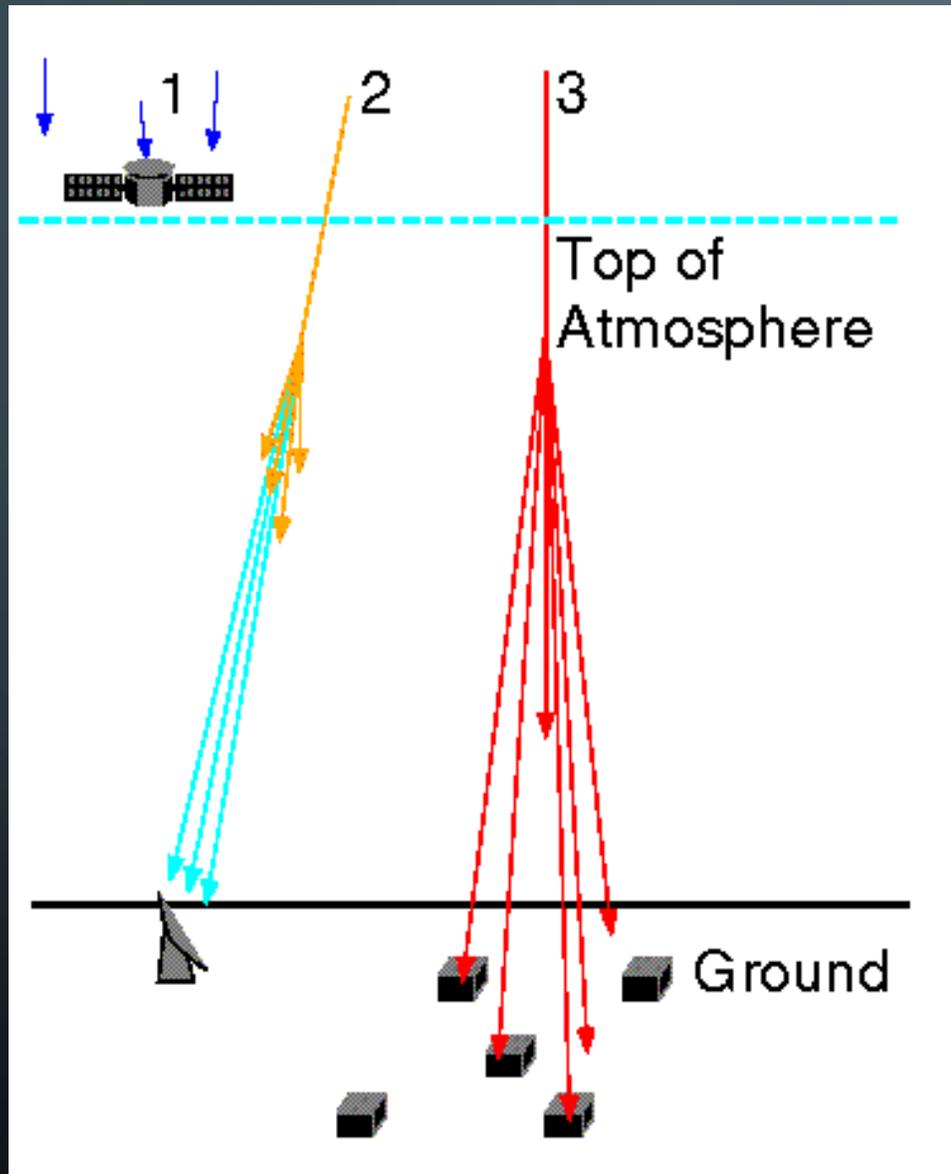
В астрофизических условиях мы в гораздо меньшей степени ограничены по масштабам, энергиям ...



physics.stanford.edu

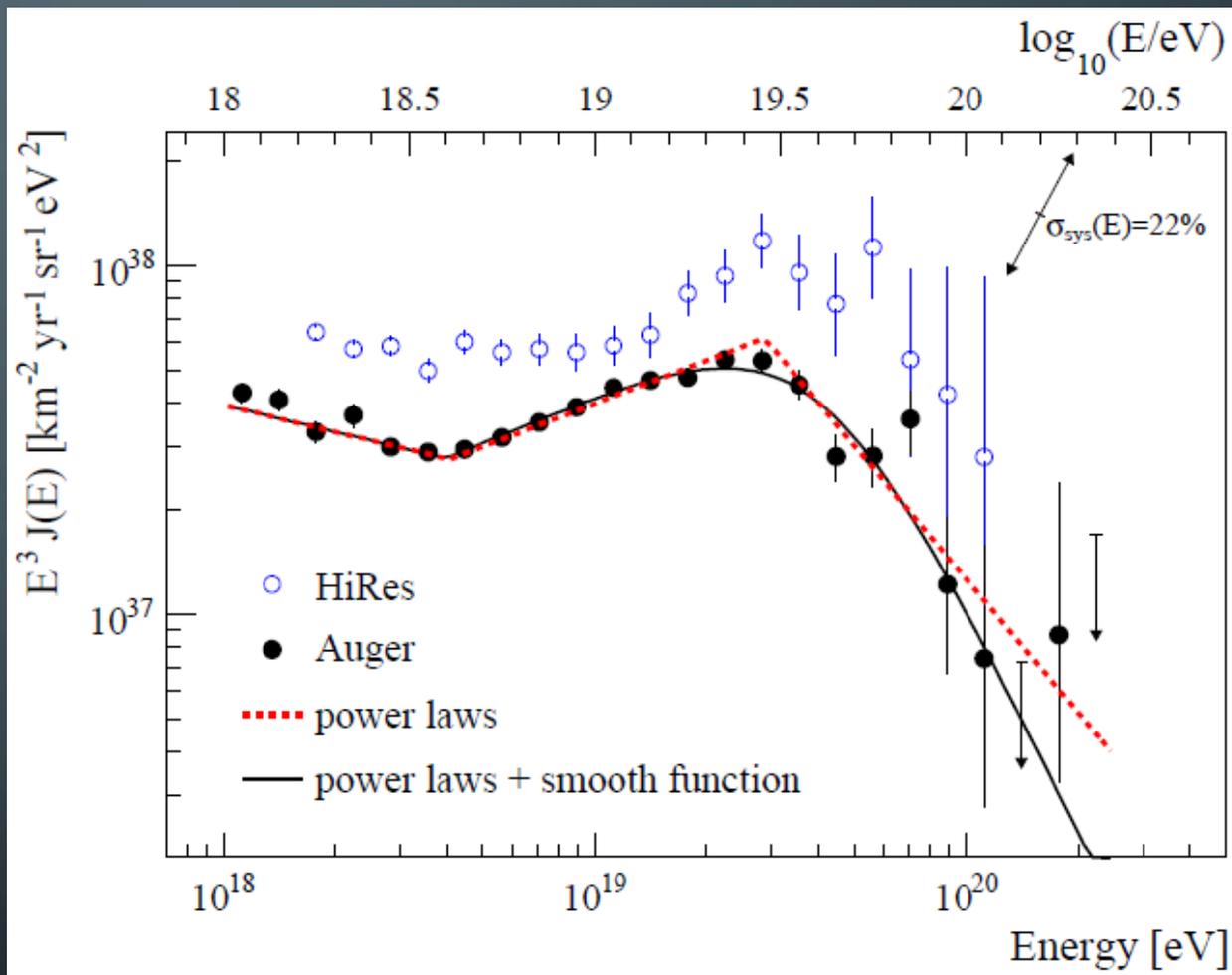
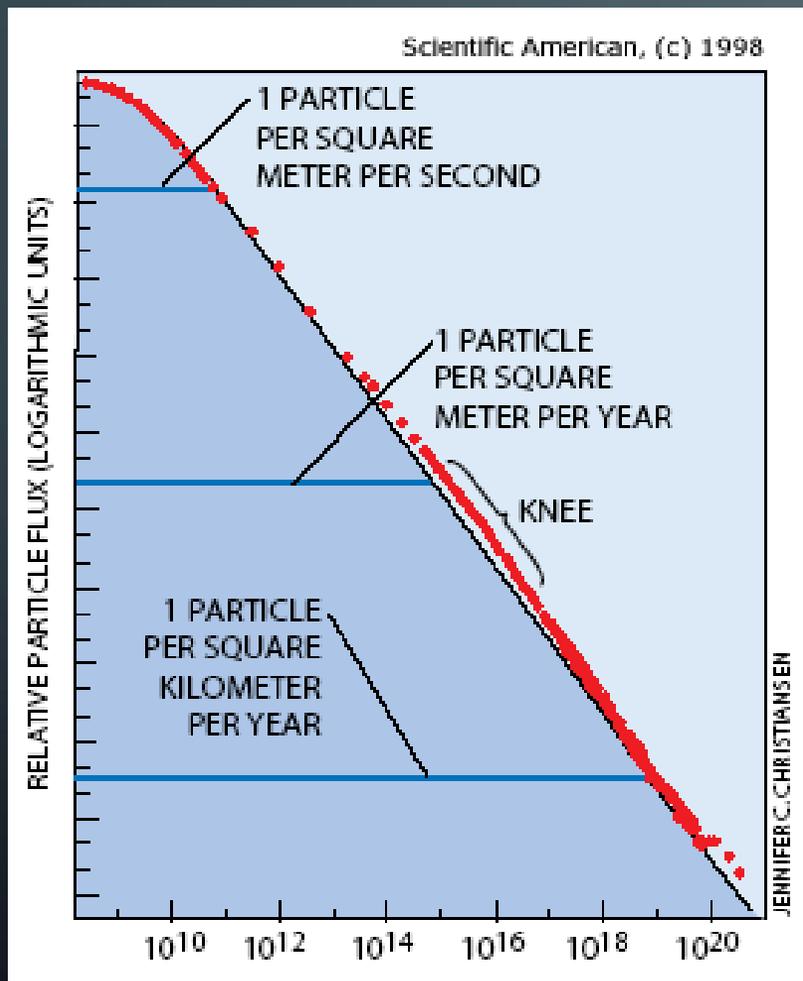
nasa.gov

РЕГИСТРАЦИЯ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ



- Можно регистрировать первичные космические лучи над атмосферой на космических аппаратах, или же в самой верхней атмосфере на баллонах
- Можно регистрировать оптическое излучение, возникающее при взаимодействии первичных частиц с атмосферой
- Наконец, можно регистрировать сами вторичные частицы наземными детекторами

КОСМИЧЕСКИЕ ЛУЧИ САМЫХ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ



Частицы с энергиями в сотни миллионов раз больше, чем на БАК.

ОБСЕРВАТОРИЯ ИМЕНИ ОЖЕ



Обсерватория
им. Пьера Оже

Более 1000 наземных детекторов.
Плюс 24 телескопа.

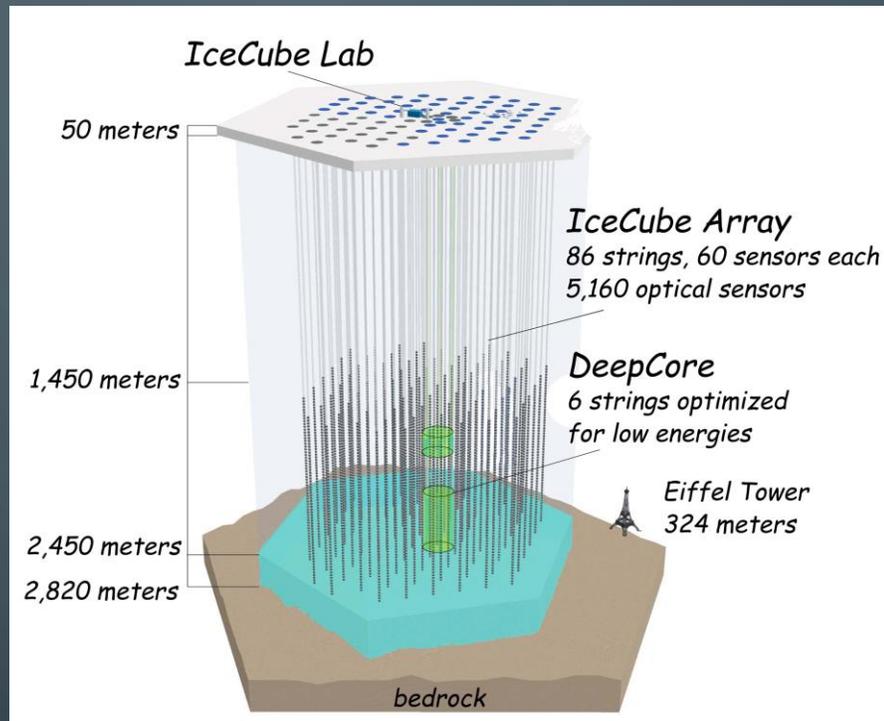
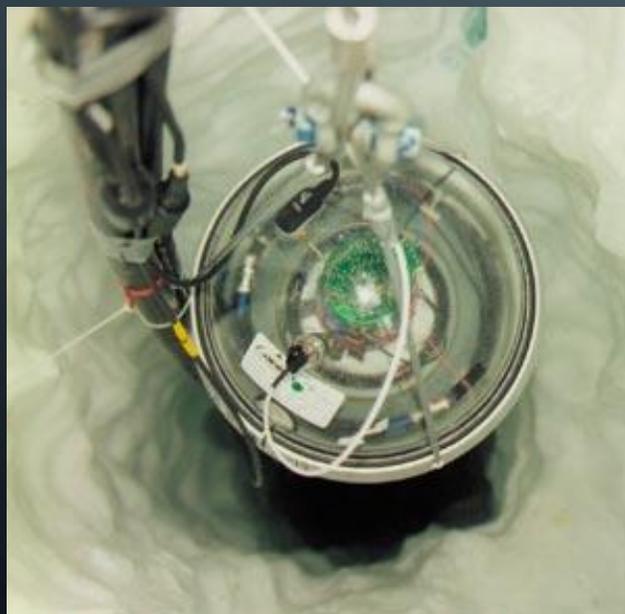
КОСМИЧЕСКИЕ ПРОЕКТЫ



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

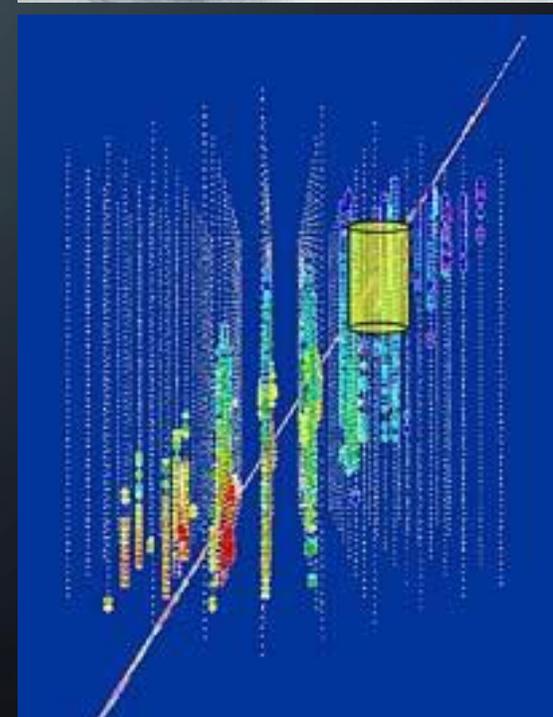
Задача: изучение редких частиц очень высоких энергий.

НАБЛЮДЕНИЯ НЕЙТРИНО

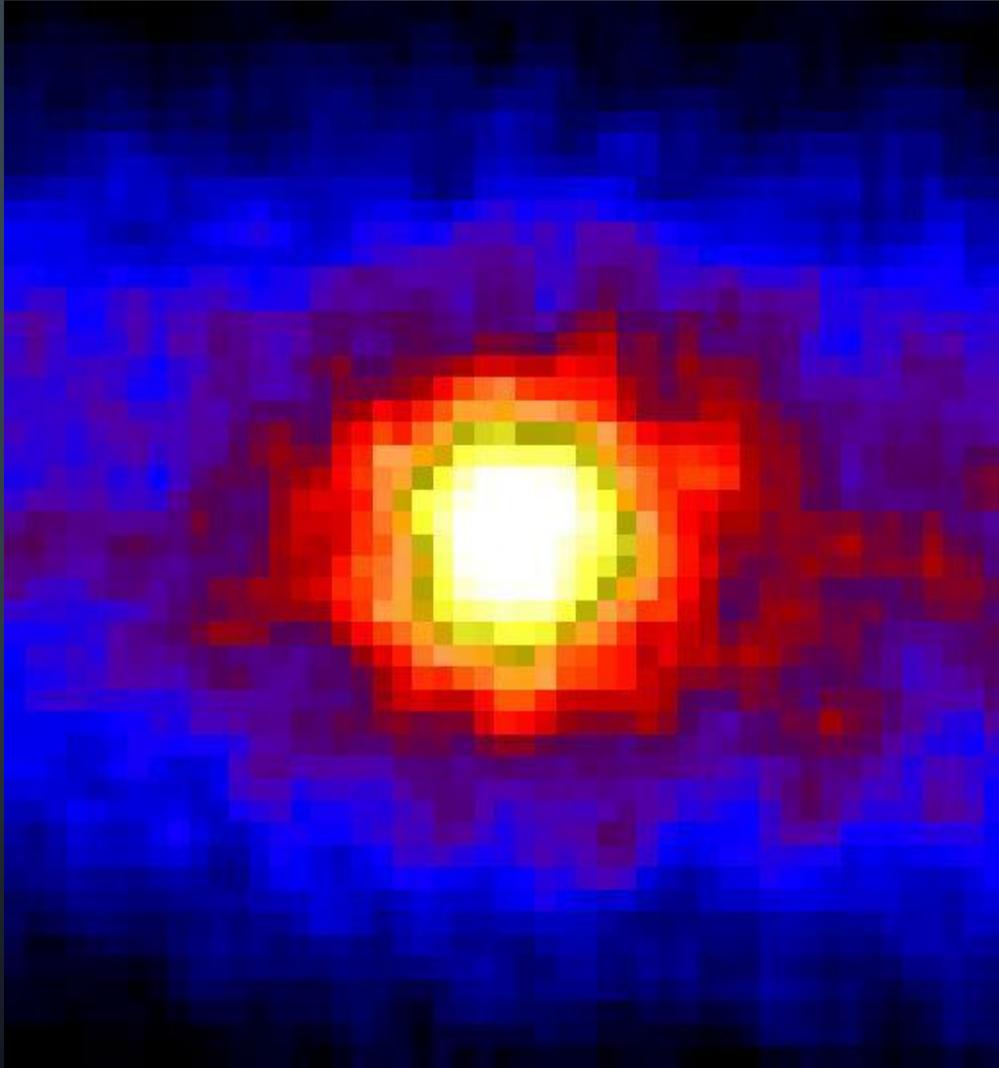


Эксперимент AMANDA
в Антарктиде.

Кубический километр
IceCube



НЕЙТРИННАЯ АСТРОФИЗИКА



Нейтрино от Солнца



Нейтрино от взрывов сверхновых

ГРАВИТАЦИОННЫЕ ВОЛНЫ



Предсказаны Общей теорией относительности.

Возникают при слиянии нейтронных звезд и черных дыр.

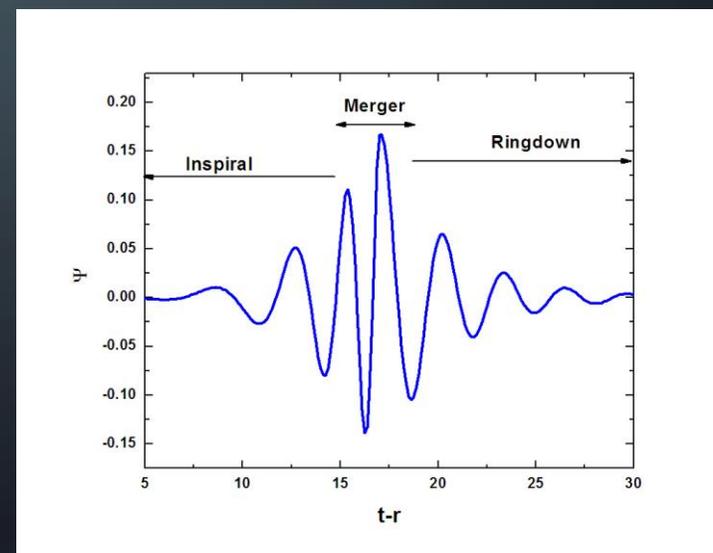
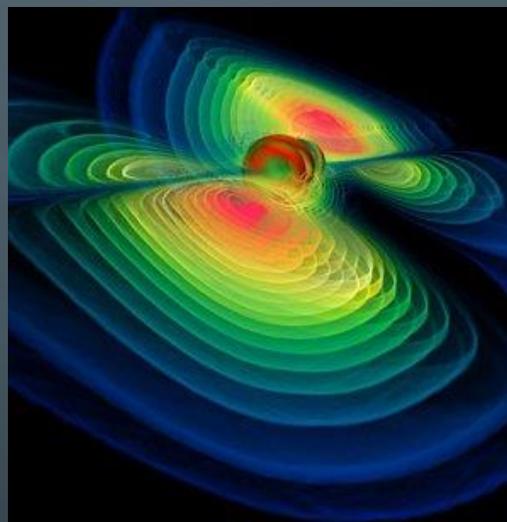
А также при вращении нейтронных звезд и при эволюции тесных двойных звезд.



КАК УВИДЕТЬ ГОРИЗОНТ?

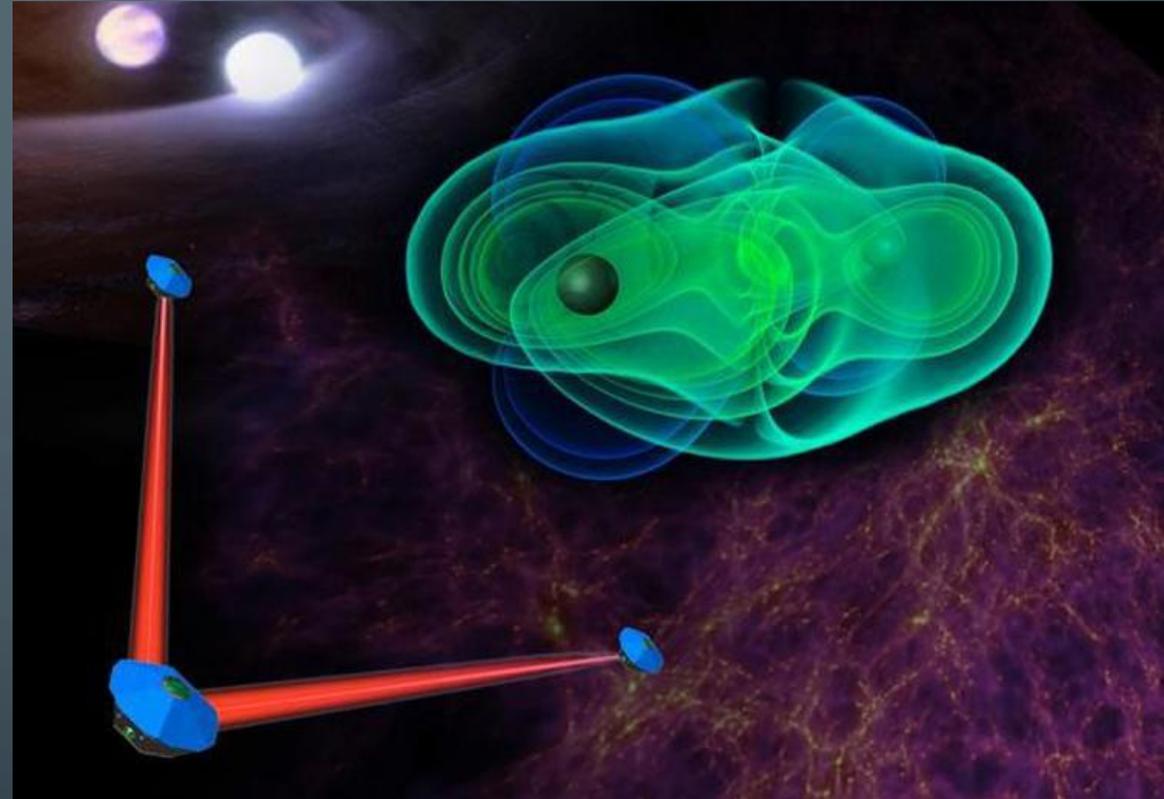
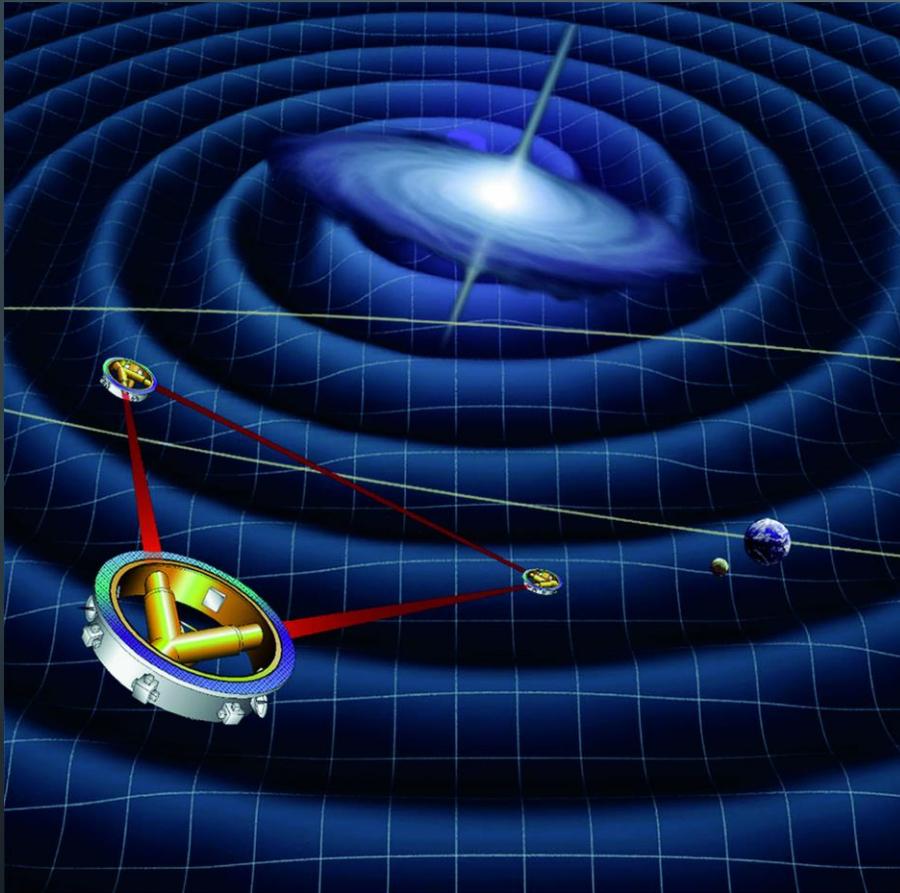


Детектор LIGO



Слияние черных дыр

КОСМИЧЕСКИЙ ПРОЕКТ LISA



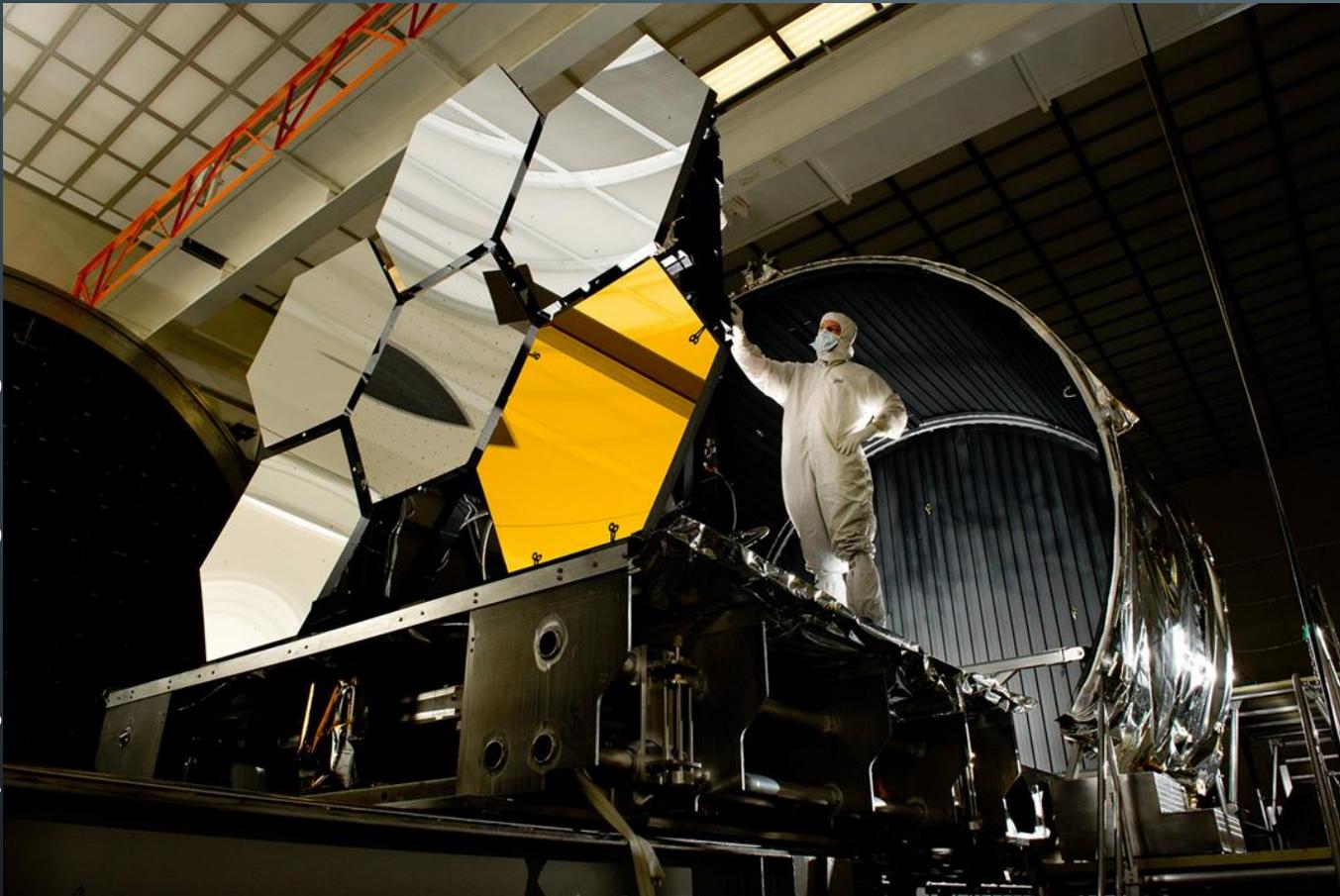
www.elisascience.org

2.5 миллиарда долларов
NASA снимает свое финансирование
Европа, в начале, не одобрила
сокращенный вариант eLISA/NGO.

Сейчас одобрена новая заявка. 2032-34г.

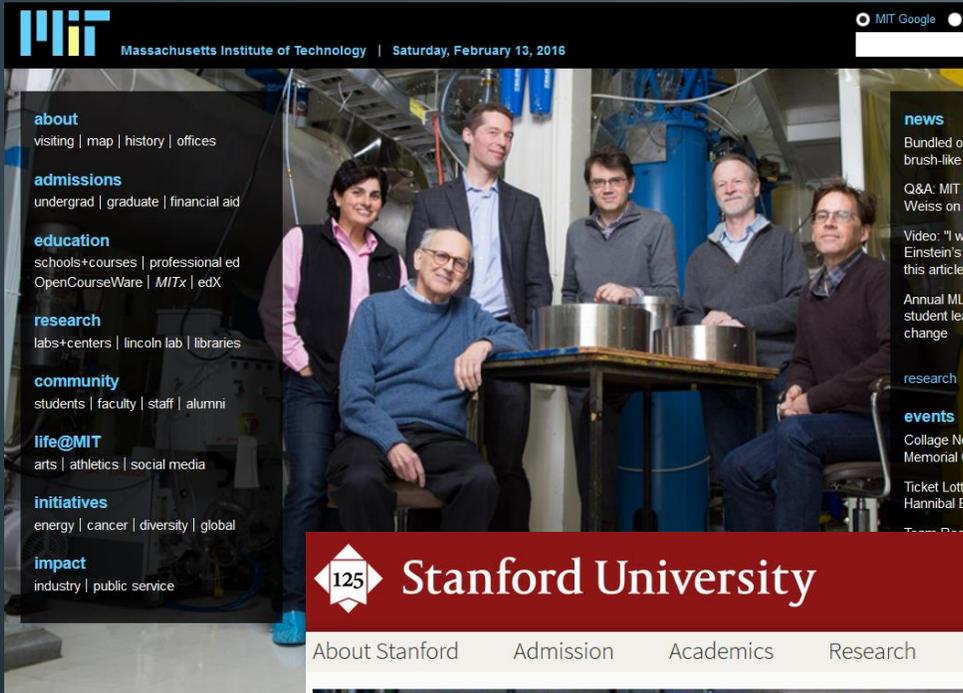
РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЙ

http://jwst.nasa.gov/images_mirror50.html



Создание нового уникального оборудования неизбежно требует разработки новых технологий. Впоследствии они находят себе многочисленные применения.

ПОДДЕРЖАНИЕ УРОВНЯ



MIT Massachusetts Institute of Technology | Saturday, February 13, 2016

- about
visiting | map | history | offices
- admissions
undergrad | graduate | financial aid
- education
schools+courses | professional ed
OpenCourseWare | MITx | edX
- research
labs+centers | lincoln lab | libraries
- community
students | faculty | staff | alumni
- life@MIT
arts | athletics | social media
- initiatives
energy | cancer | diversity | global
- impact
industry | public service

news
Bundled op
brush-like
Q&A: MIT p
Weiss on L
Video: "I wo
Einstein's f
this article"
Annual MLH
student lea
change
research |
events
Collage Ne
Memorial C
Ticket Lotte
Hannibal B
Team Des

125 Stanford University

About Stanford Admission Academics Research Campus Life

STUDENTS FACULTY / STAFF PARENTS ALUMNI



Caltech

About Caltech News & Events Research & Education Join Us

Gravitational Waves Detected

LIGO has opened a new window on the universe with the first direct observation of these ripples in spacetime. >

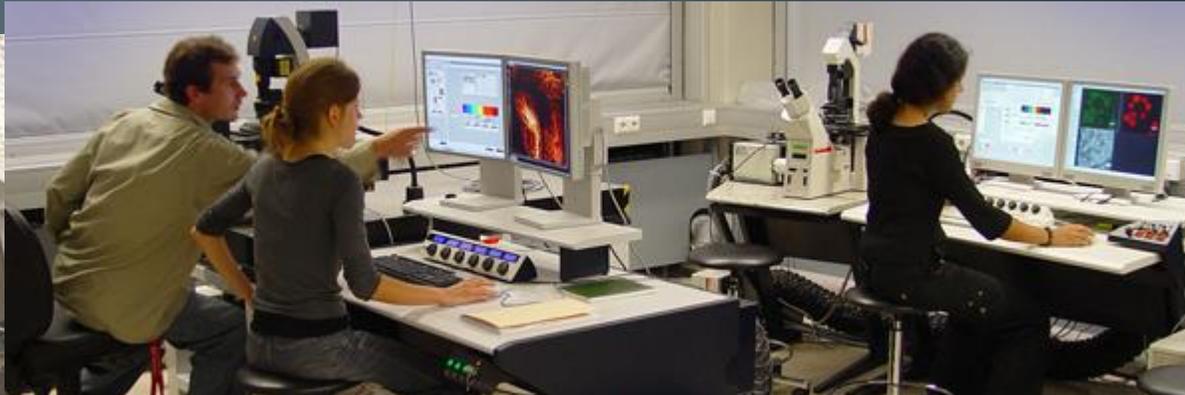


Looking for gravitational waves

How Stanford physicists helped answer one of the biggest questions in the universe

ПОДГОТОВКА КАДРОВ

mpi-magdeburg.mpg.de



geosociety.wordpress.com

mpibpc.mpg.de

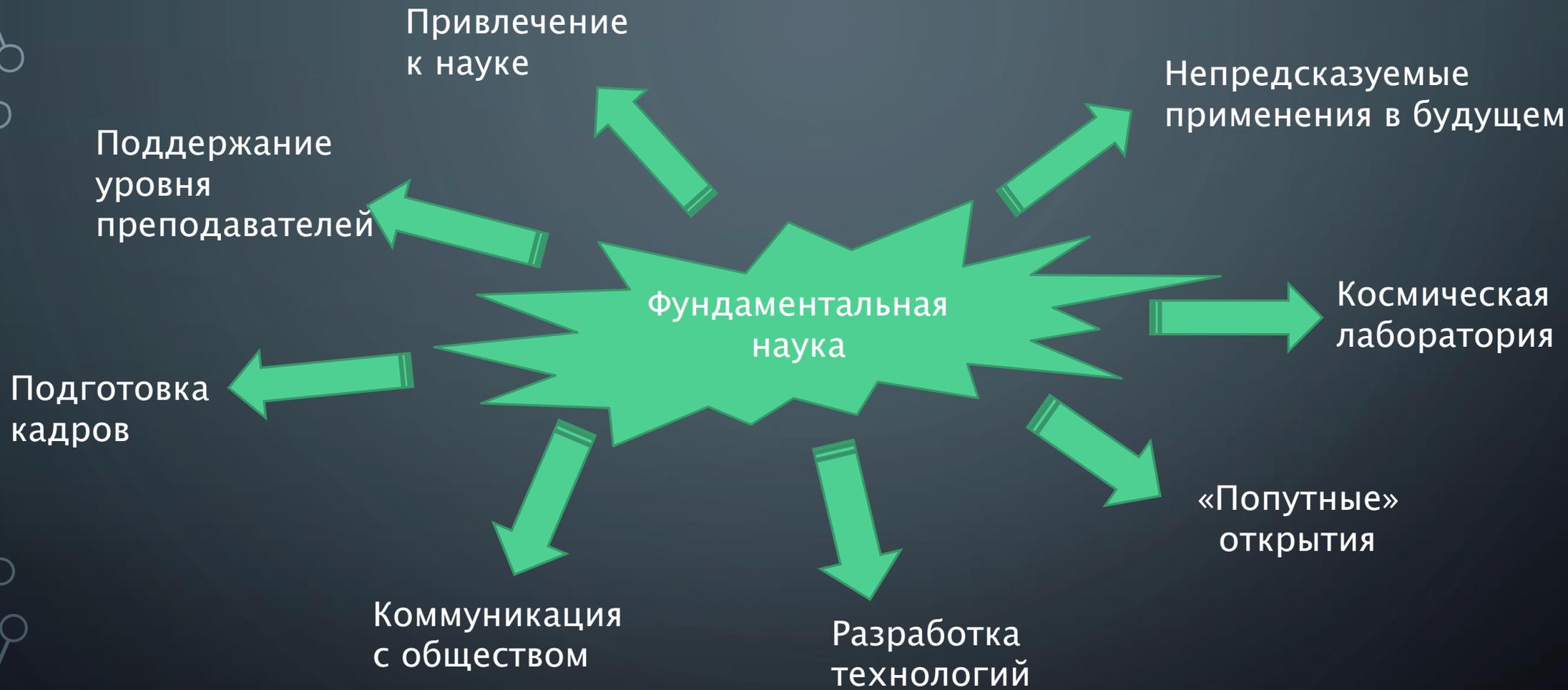
Лишь малая доля студентов и аспирантов научных специальностей поле учебы будут заниматься фундаментальной наукой. Но за время учебы они получают уникальные навыки и знания.

ЗАВЛЕЧЕНИЕ В НАУКУ

<http://pics-about-space.com>



Для активного и плодотворного занятия наукой важна мотивация.

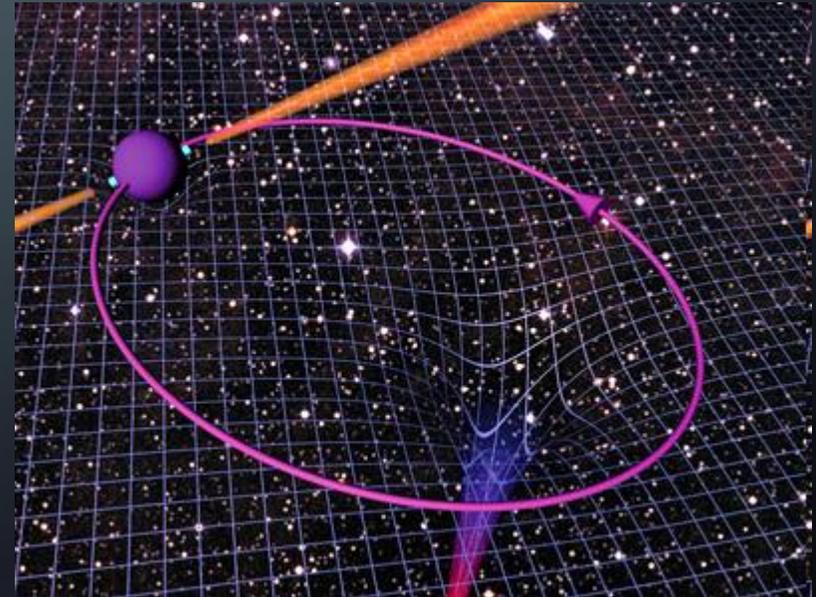


ПОДХОД К НОВЫМ БОЛЬШИМ ПРОЕКТАМ

Свободный поиск
(в 10 раз глубже)
Chandra, XMM

Конкретные задачи
(Higgs, темная материя)

Поисковые задачи
(ЧД+пульсар)
SKA



АСТРОНОМИЧЕСКИЙ VS. ФИЗИЧЕСКИЙ

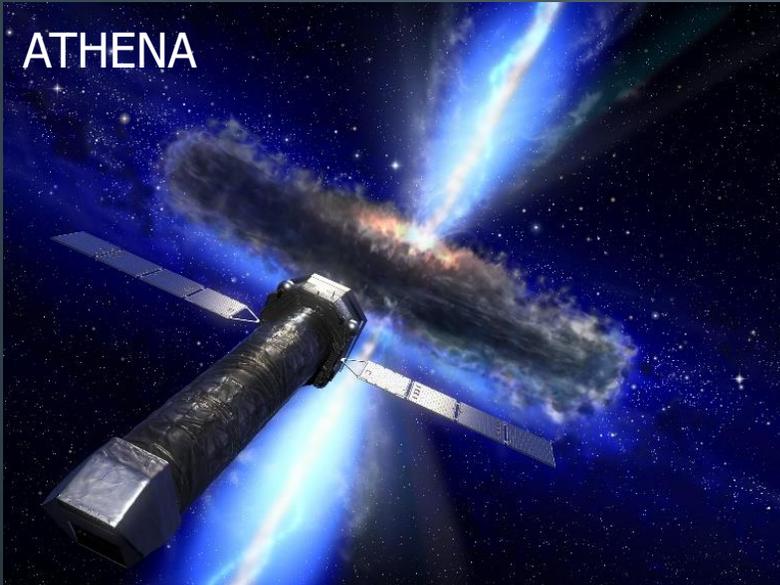


Конкретная задача.
Большие коллективы.



Много независимых групп.
Заявки.
Комитеты по распределению времени

КАК ВЫБРАТЬ?



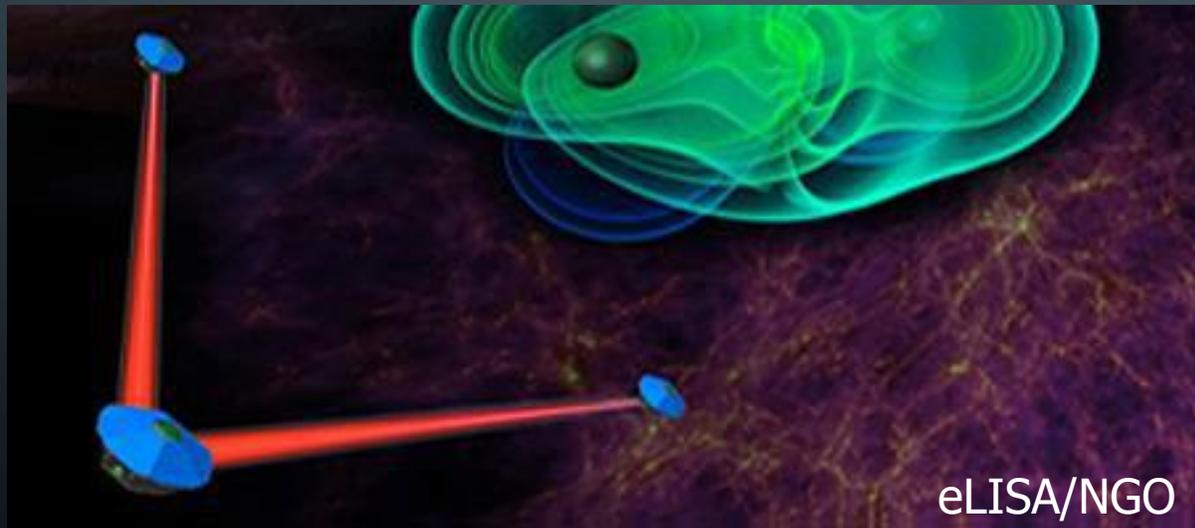
ATHENA

Недавно ЕКА выбирало проект крупной миссии.

В финал вышло три. Победителем стал JUICE – миссия к Юпитеру и его спутникам.

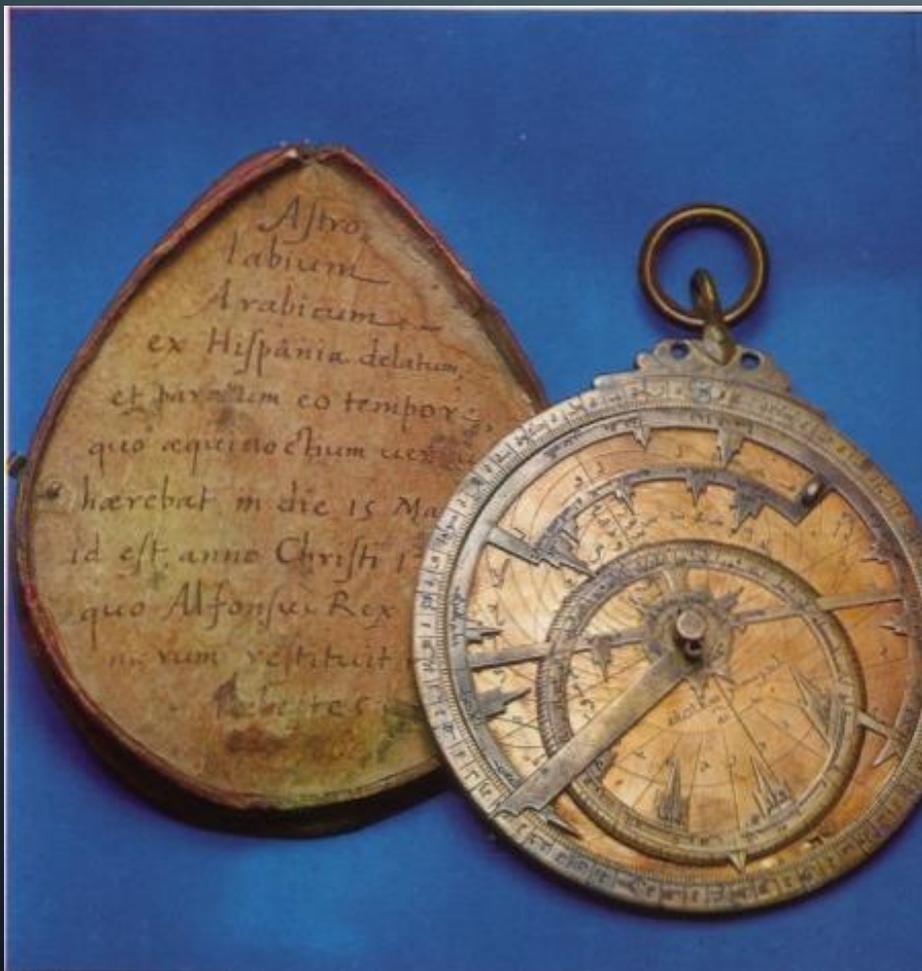


Juice



eLISA/NGO

ДРЕВНЯЯ АСТРОНОМИЯ



Измерения углов с помощью простейших Приборов.

Определение относительных положений звезд и планет.

Ну и конечно же определение времени.



ПЕРВЫЕ ТЕЛЕСКОПЫ



1564-1642



1609-10 гг.

ЧТО ВАЖНО

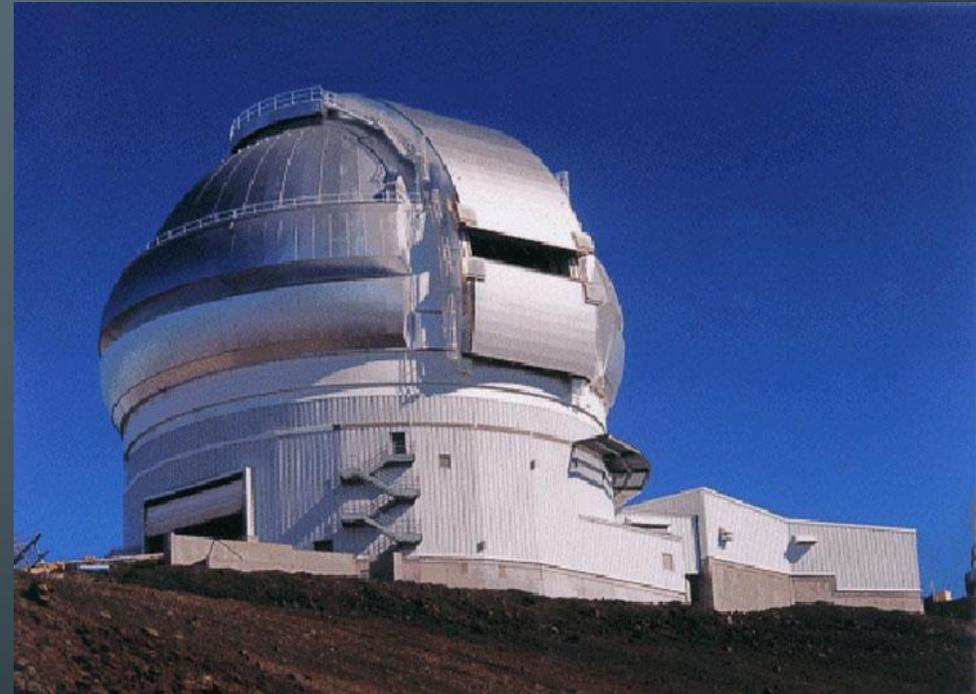


Важно не «я астроном, как Галилей», а «я делаю открытия с самой передовой техникой, как Галилей».

БОЛЬШИЕ ОПТИЧЕСКИЕ ТЕЛЕСКОПЫ

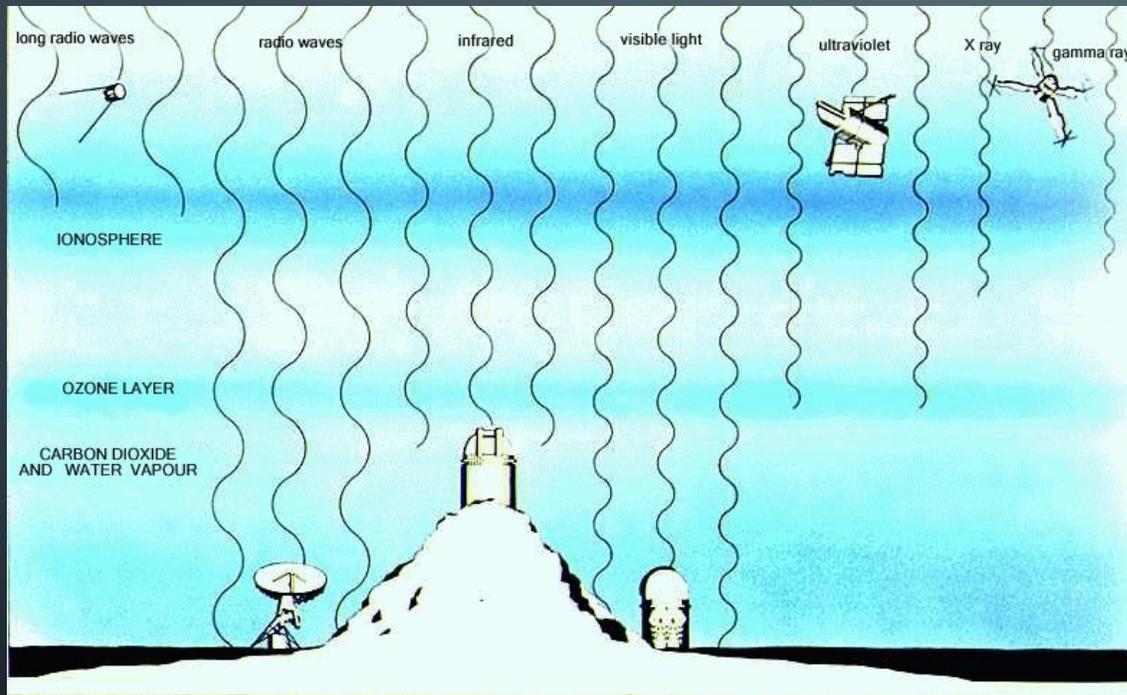


БТА 6 метров



Gemini 8 метров

НАБЛЮДЕНИЯ ИЗ КОСМОСА



Поглощение



Мерцание

КОСМИЧЕСКИЙ ТЕЛЕСКОП ИМЕНИ ХАББЛА

Космический телескоп имени Хаббла (США)

Стоимость: около \$6 млрд.

\$10 млрд с учетом эксплуатации.

Телескопу, расположенному в космосе, не мешает земная атмосфера.

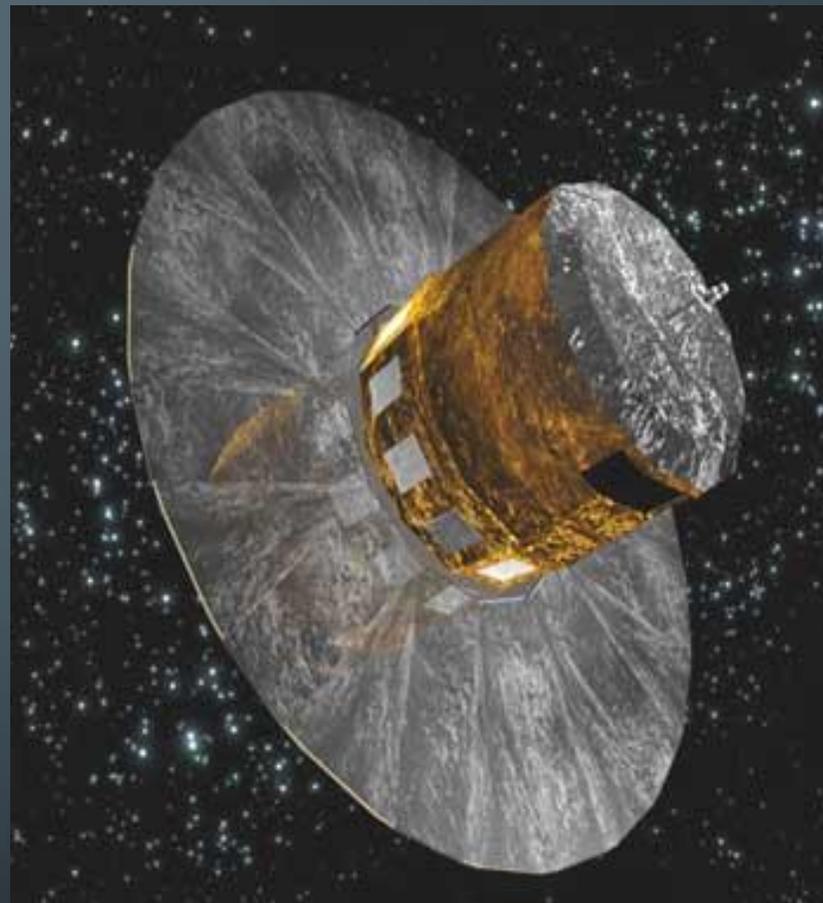
Поэтому изображения получаются более четкими, можно рассмотреть детали и объекты, недоступные земным, пусть и более крупным инструментам.



АСТРОМЕТРИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ ИЗ КОСМОСА



Hipparcos
600 миллионов евро



GAIA
650 миллионов евро

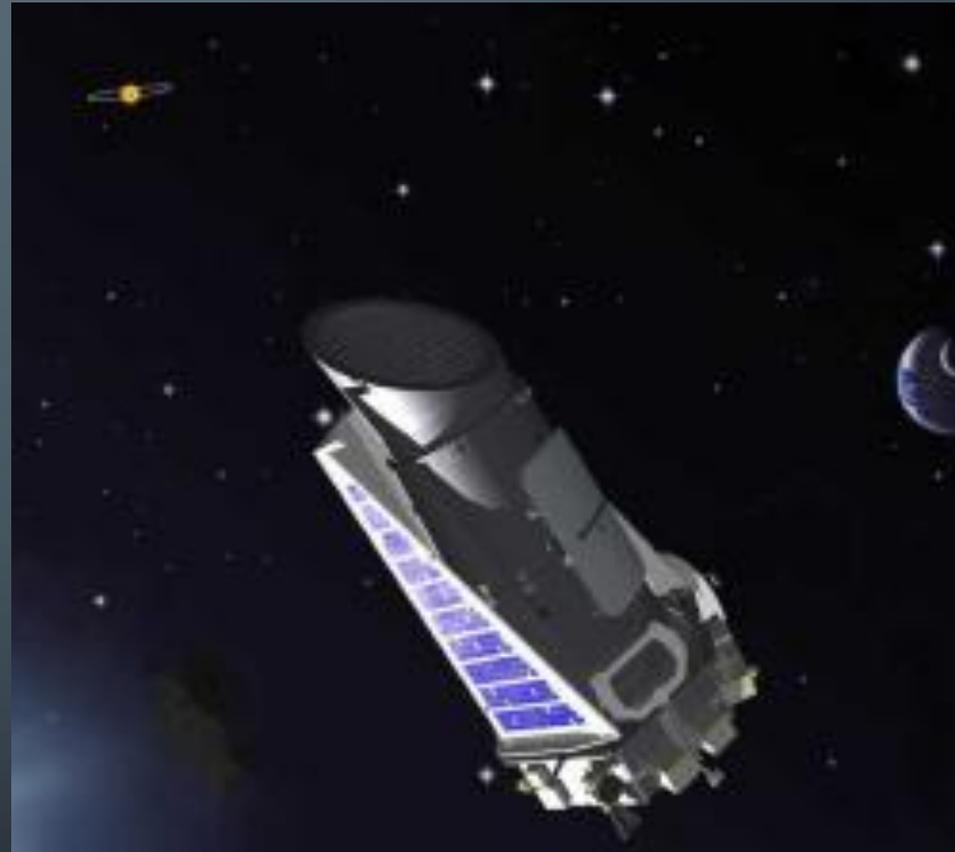
Задача – построение
трехмерной карты Галактики

ПОИСКИ ЭКЗОПЛАНЕТ



CoRoT

~100 миллионов евро



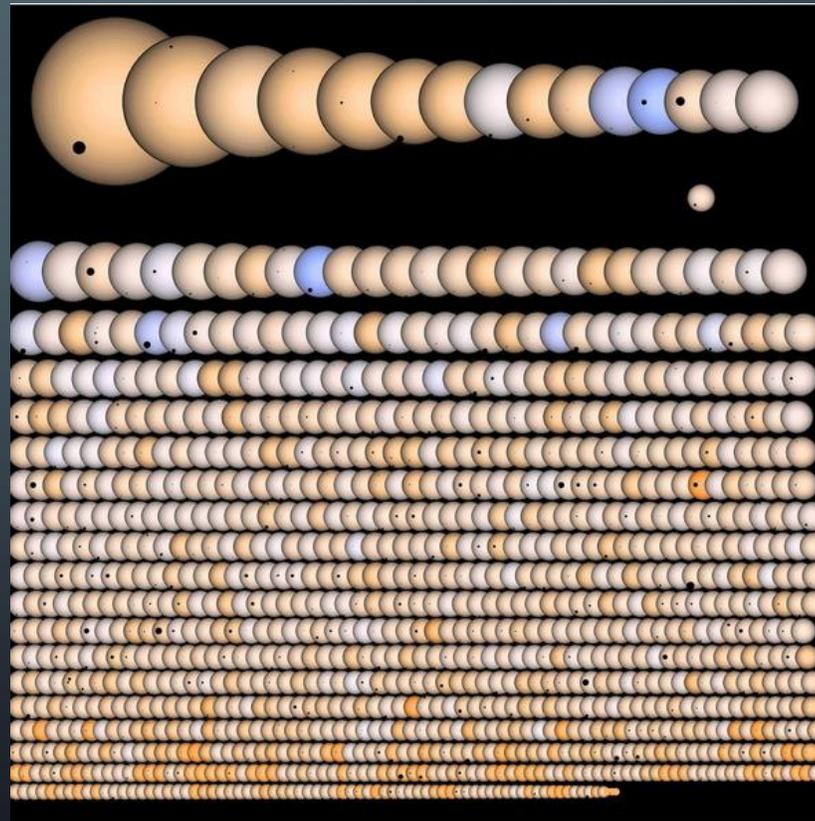
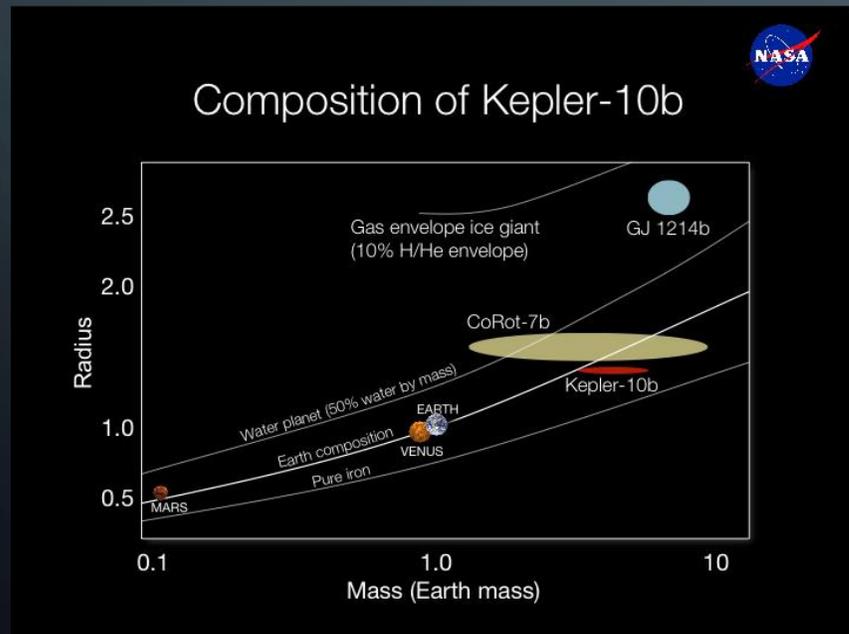
Kepler

600 миллионов долларов

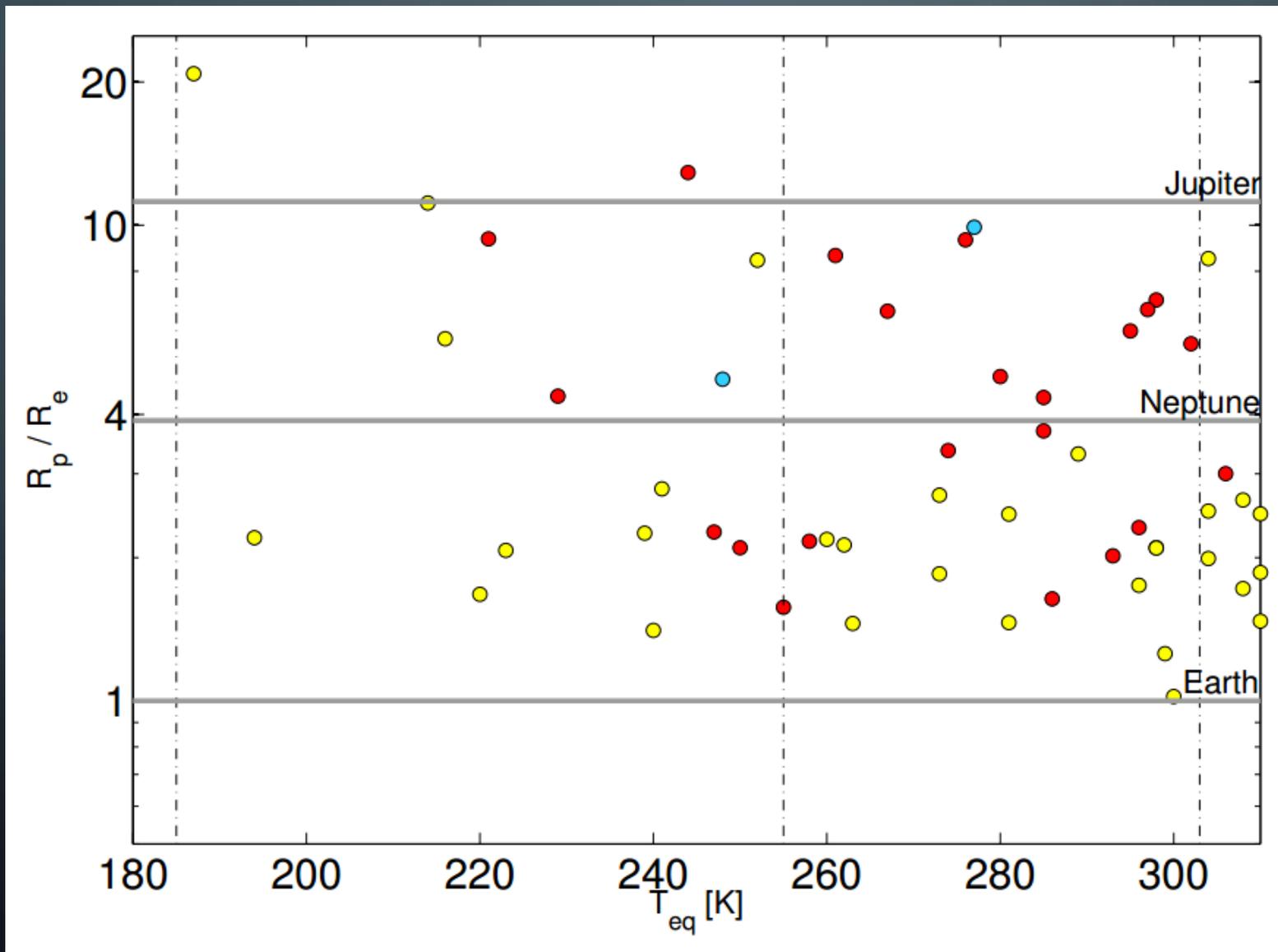
НОВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ KEPLER



>20000 кандидатов в планеты
Около половины по размерам
похожи на Нептун.
Много сверхземель.
Множество земноподобных планет

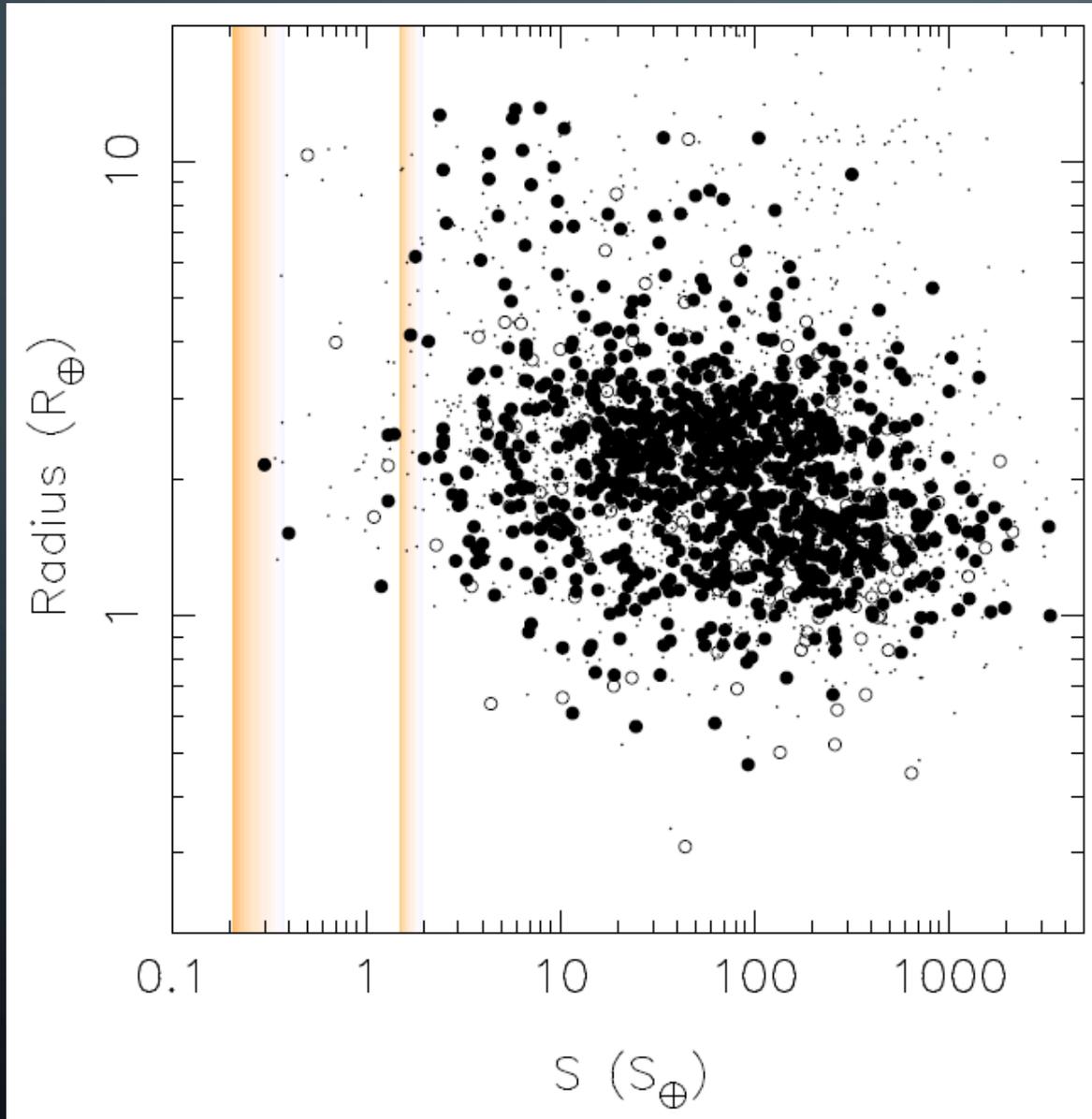


ПЛАНЕТЫ В ЗОНЕ ОБИТАНИЯ



1202.5852

ПЛАНЕТАХ В ЗОНЕ ОБИТАЕМОСТИ

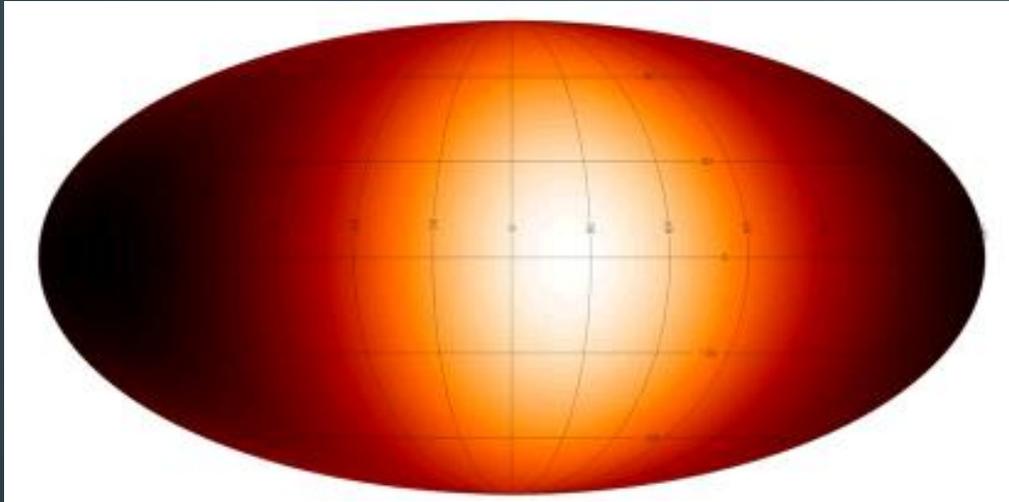


**Известны уже десятки
небольших планет в т.н.
зонах обитаемости.**

1402.6534

КАРТА ЭКЗОПЛАНЕТЫ HD 189733B

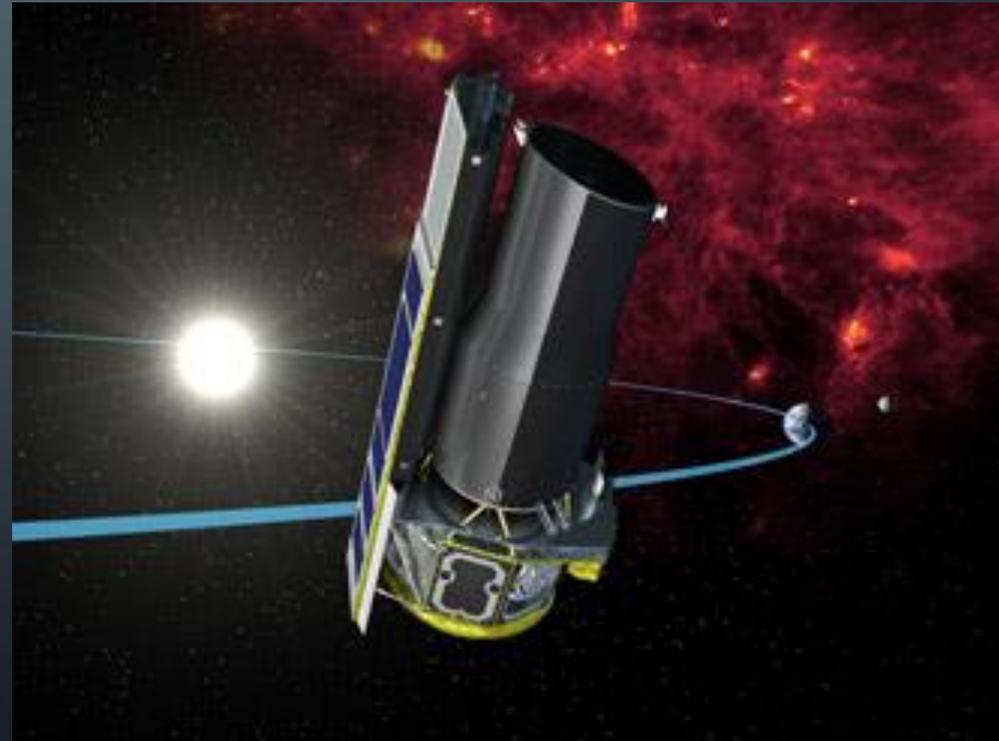
1202.1883



По данным о затмениях удалось построить карту экзопланеты.

Инфракрасная космическая обсерватория имени Спитцера.

Горячее пятно в экваториальной области.



ТЕЛЕСКОПЫ ИМЕНИ КЕКА



Телескопы имени Кека (США)

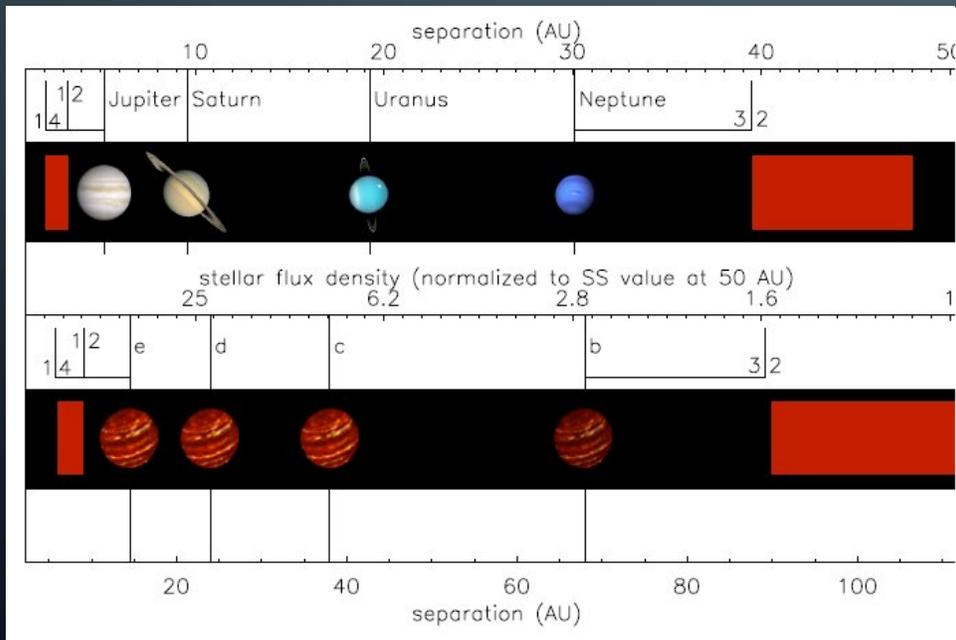
Стоимость: около \$183 млн плюс около \$50 млн было потрачено на детекторы. Несмотря на запуски все новых спутников, работающих в разных диапазонах спектра, крупные наземные оптические телескопы продолжают оставаться одним из столпов, на которых зиждется здание наблюдательной астрофизики.

ИЗОБРАЖЕНИЕ ЧЕТВЕРТОЙ ПЛАНЕТЫ ВОКРУГ HR 8799

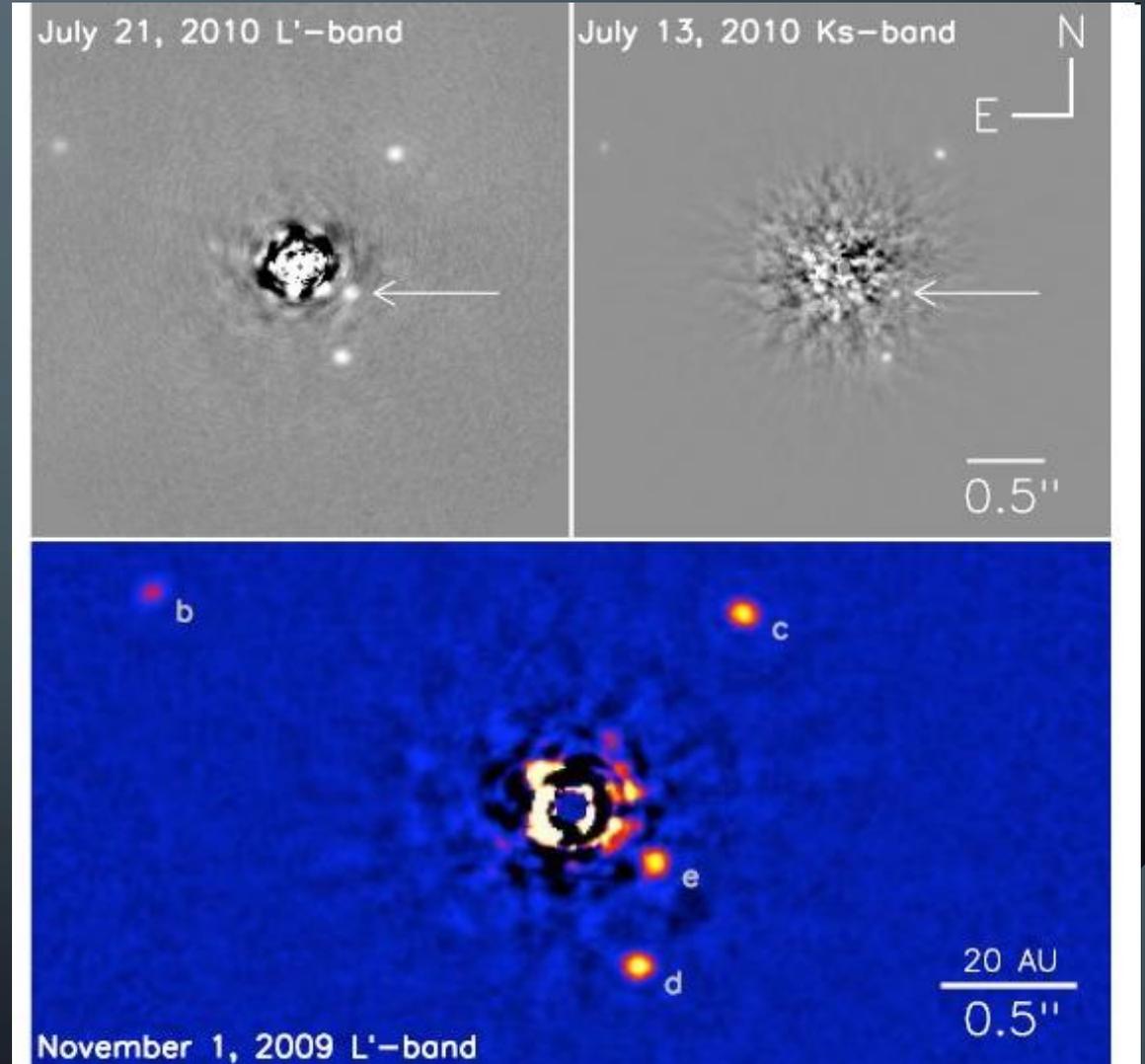
Кекк II

Расстояние 14 а.е.

Это меньше, чем у трех других.

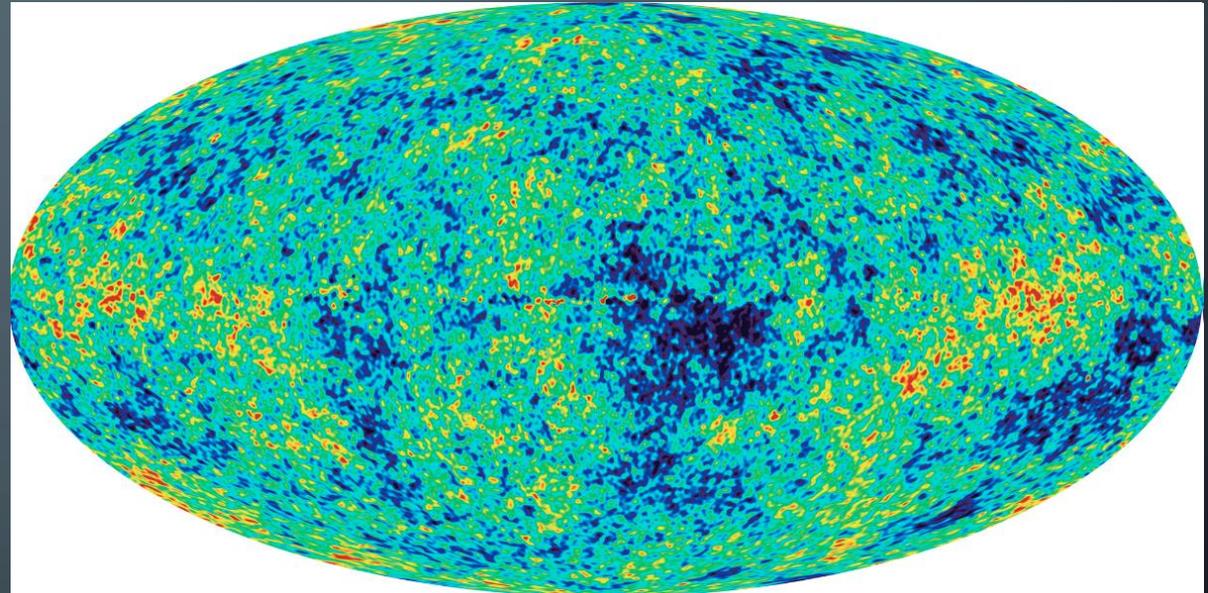
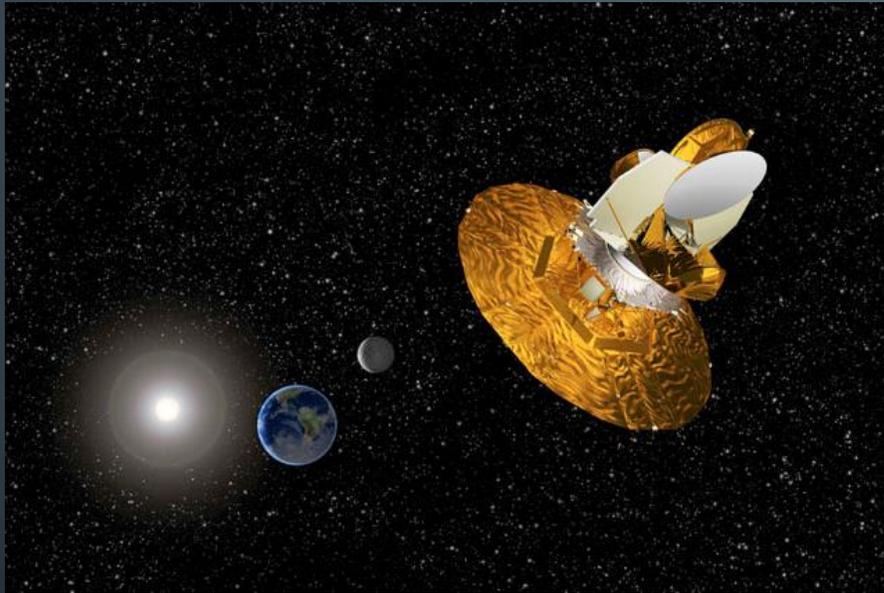


Похожа на Солнечную



СПУТНИК WMAP

Самые цитируемые на сегодняшний день статьи в астрономии



Спутник WMAP (США)

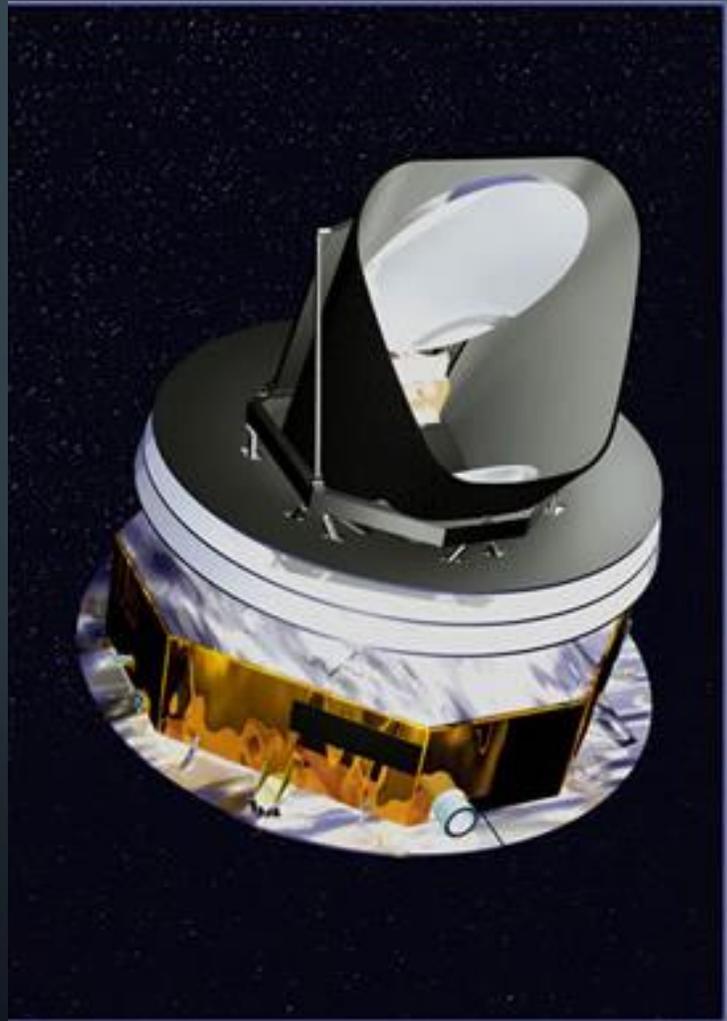
Стоимость: около \$150 млн.

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

То есть это космологический прибор.

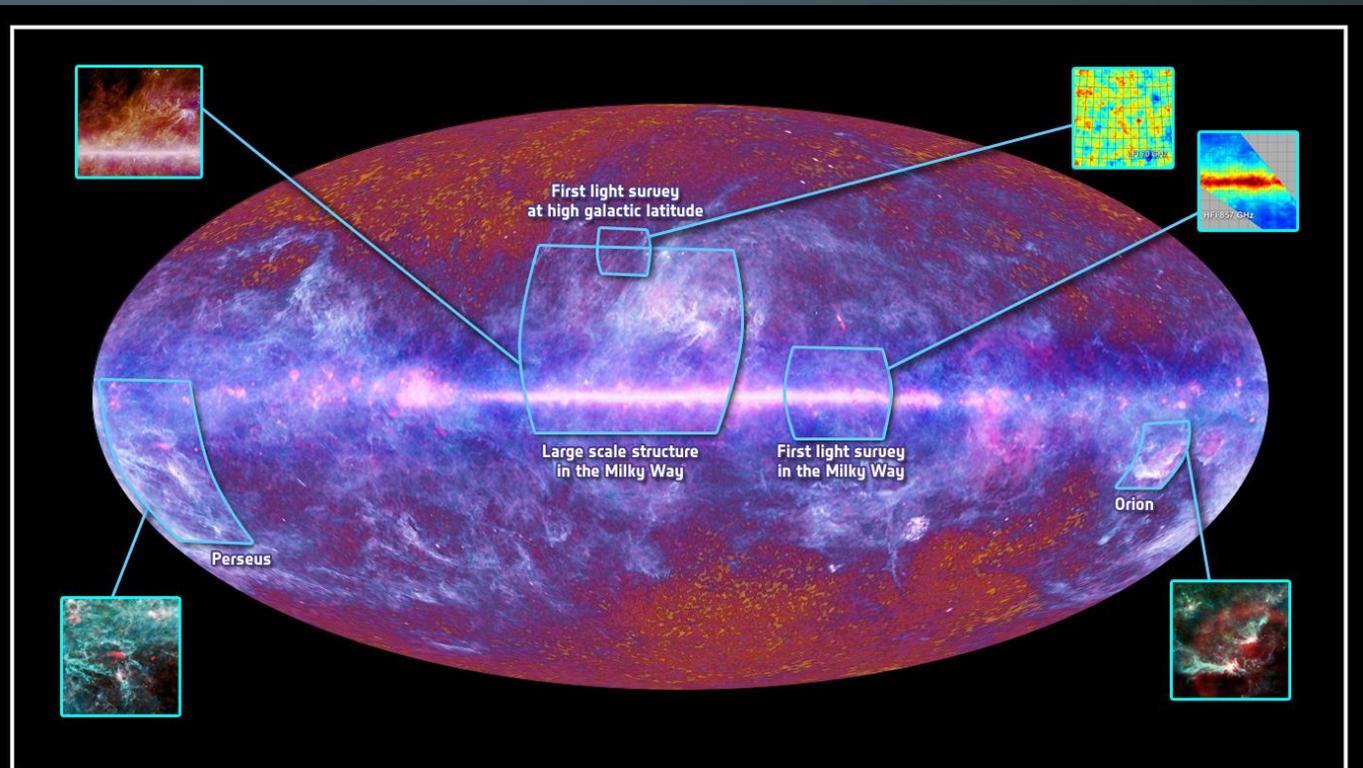
Однако, поскольку на реликтовое излучение накладывается излучение нашей Галактики, спутник получил важнейшую информацию о свойствах нашей звездной системы.

РЕЗУЛЬТАТЫ СПУТНИКА PLANCK



700 млн. евро

В июле 2018 г. представлены итоговые данные



The Planck one-year all-sky survey



(c) ESA, HFI and LFI consortia, July 2010

Наблюдения микроволнового фона на 100 - 857 ГГц

СОВРЕМЕННЫЕ РАДИОТЕЛЕСКОПЫ



SKA



SKA (международный проект)

Предполагаемая стоимость: \$1,6 млрд.

Сейчас прорабатывается проект крупнейшего в мире радиотелескопа.

Точнее, это будет система из множества антенн

суммарной площадью 1 кв. км (отсюда и название — Square Kilometer Array).

Инструмент будет расположен в Австралии и Южной Африке.

Пока идет строительство прототипов.

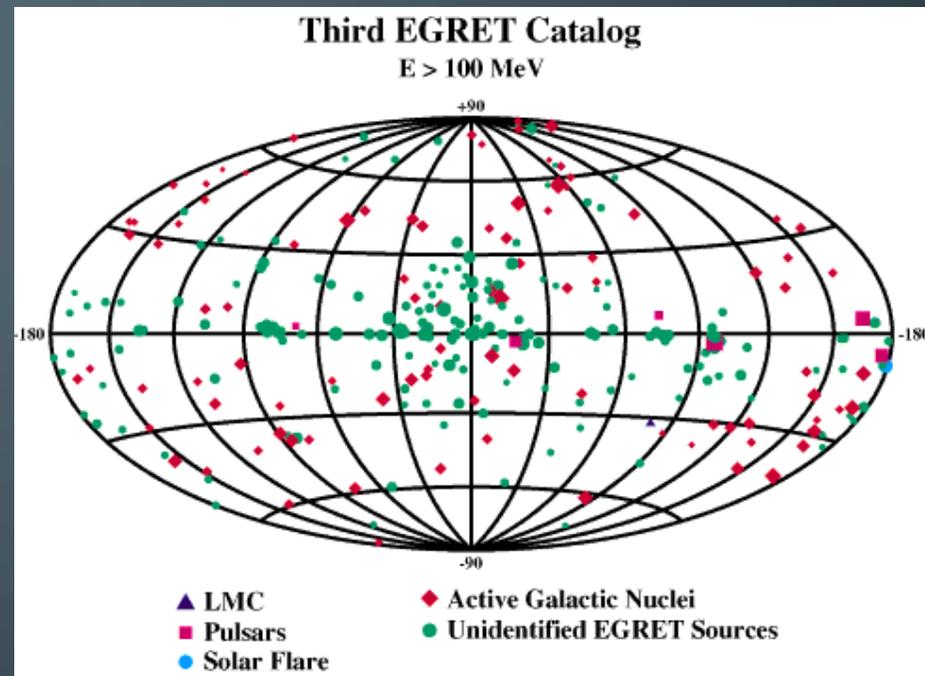
Антенны будут разбросаны на расстоянии до 150 км друг от друга, но при этом работать как единый прибор.

SKA позволит получать как новые результаты в космологии, так и изучать радиопульсары (нейтронные звезды).

Важной задачей является поиск пар — пульсар плюс черная дыра.

Открытие подходящей системы такого типа может поставить последнюю точку в вопросе о существовании черных дыр.

КОМПТОНОВСКАЯ ГАММА-ОБСЕРВАТОРИЯ



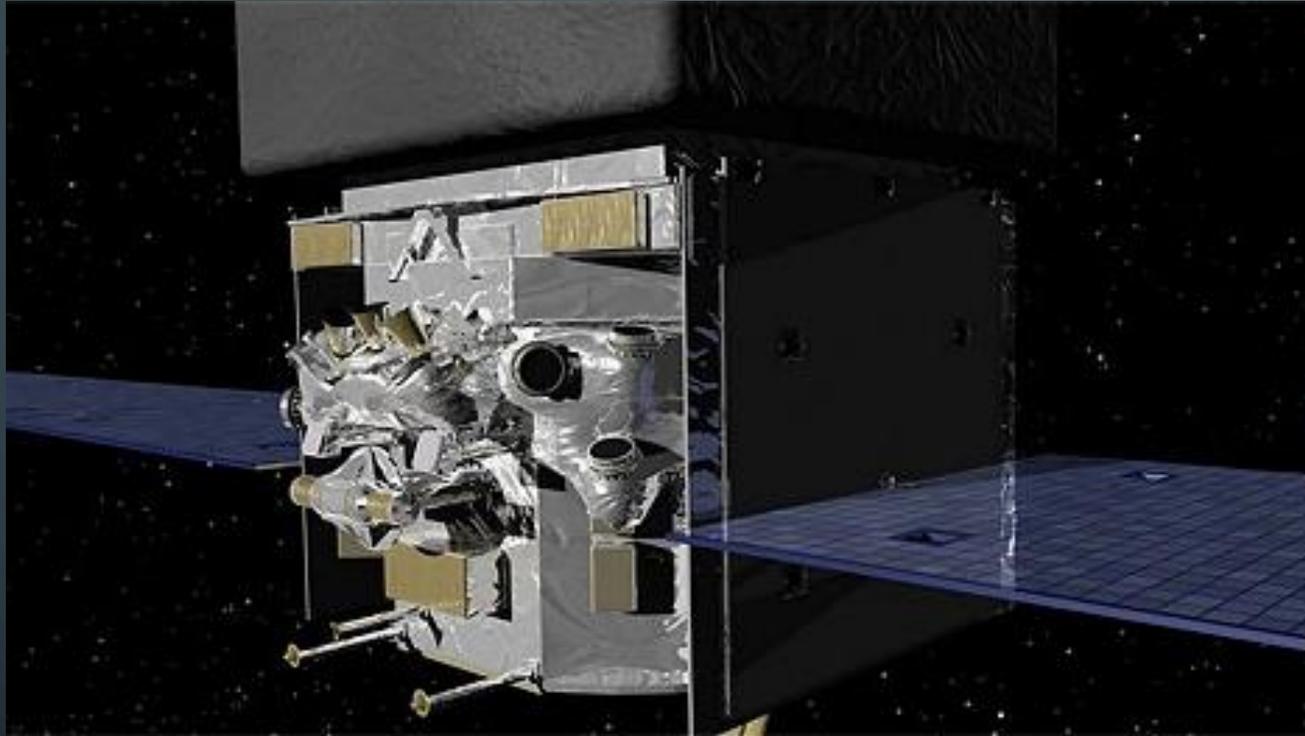
Комптоновская гамма-обсерватория (США)

Стоимость: около \$700 млн.

Спутник работал с 1991 по 2000 год.

На то время это была самая крупная космическая обсерватория.

ГАММА-ТЕЛЕСКОП FERMI-GLAST



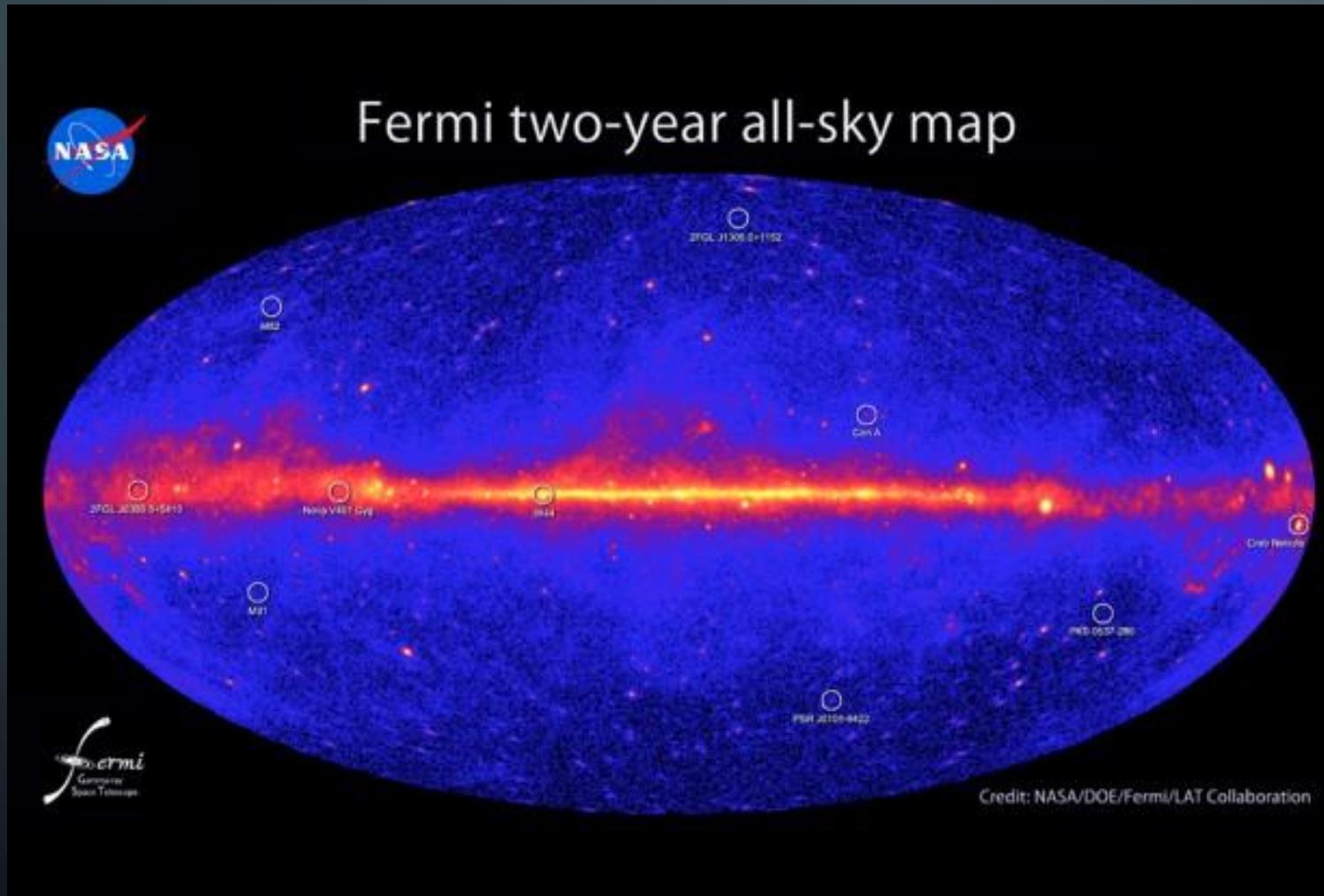
Гамма-телескоп GLAST (США и международная кооперация)

Стоимость: \$590 млн.

Новый инструмент обладает превосходным в сравнении с предшественниками угловым разрешением.

Поэтому можно ожидать нового прорыва в исследовании космических гамма-источников.

РЕЗУЛЬТАТЫ FERMI



В новом каталоге
>3000 источников!

... и ждем данных
по темному веществу!

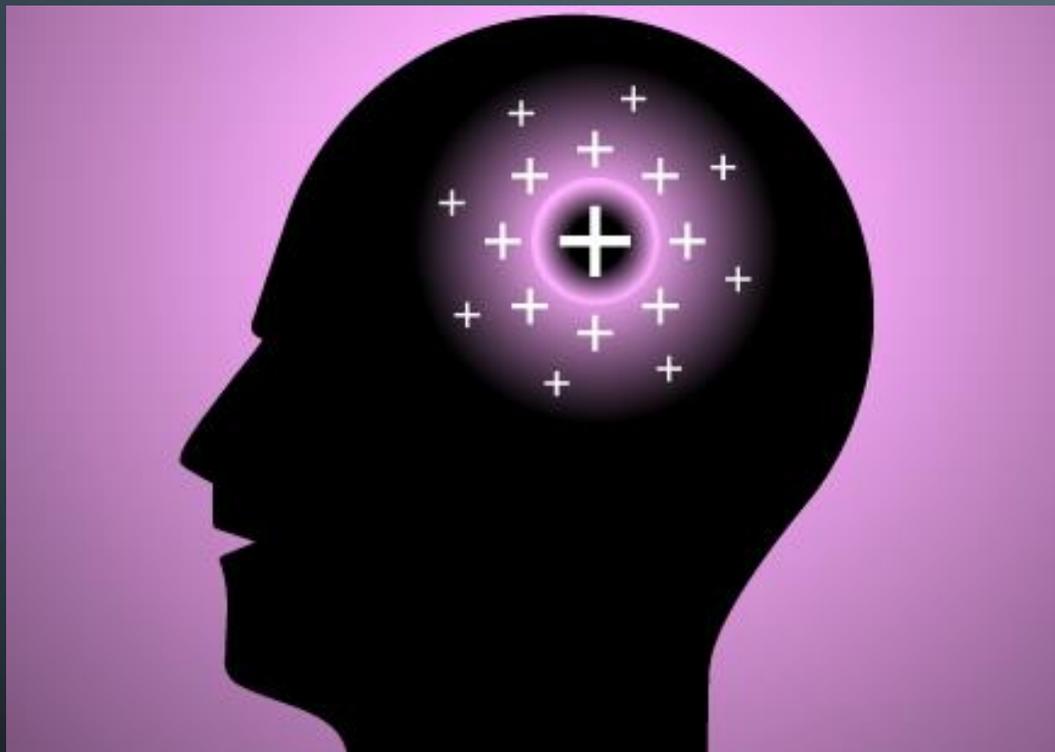
http://fermi.gsfc.nasa.gov/ssc/data/access/lat/2yr_catalog/

ВЫСОКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ



Дорогие проекты – разумно высокие сопутствующие расходы.
Эффективные модели.
Совместная работа - взаимное доверие

МОТИВАЦИЯ ИССЛЕДОВАТЕЛЕЙ



Крупная задача не только привлекает исследователей, но большие проекты могут эффективнее отбирать лучших.

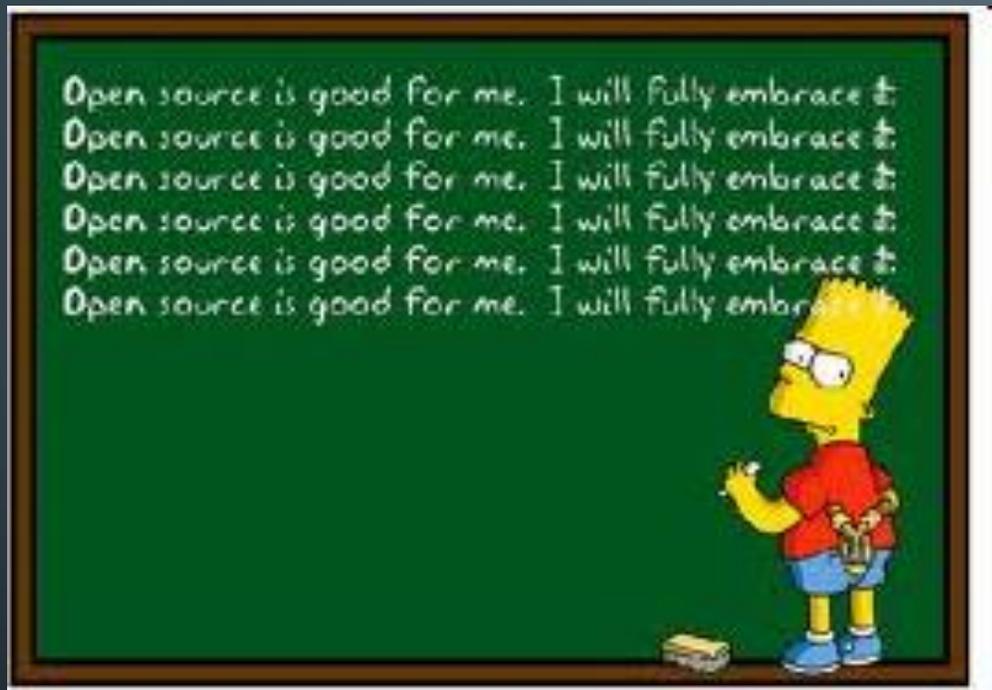
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОРЫВ



Потом – будет дешевле
Иначе - средневековье

Дорогой проект ставит
задачу создать уникальные технологии

ОТКРЫТЫЕ ДАННЫЕ



Крупные проекты дают огромные потоки данных.

Работа с данными становится отдельной проблемой и ставит новые задачи.

Данных **ОЧЕНЬ** много

Крупный проект может эффективно работать с данными, предоставляя их в открытый доступ все желающим.



КООПЕРАЦИЯ

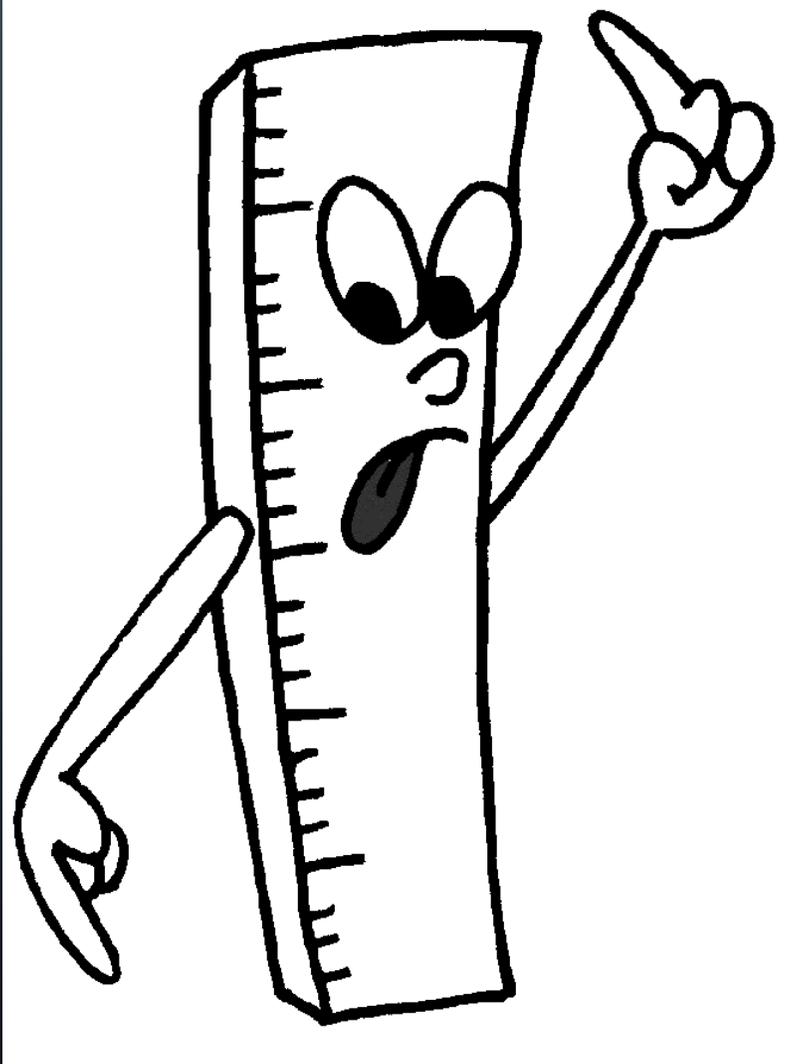


Крупные проекты делают вместе.
Это повышает эффективность.

ESO

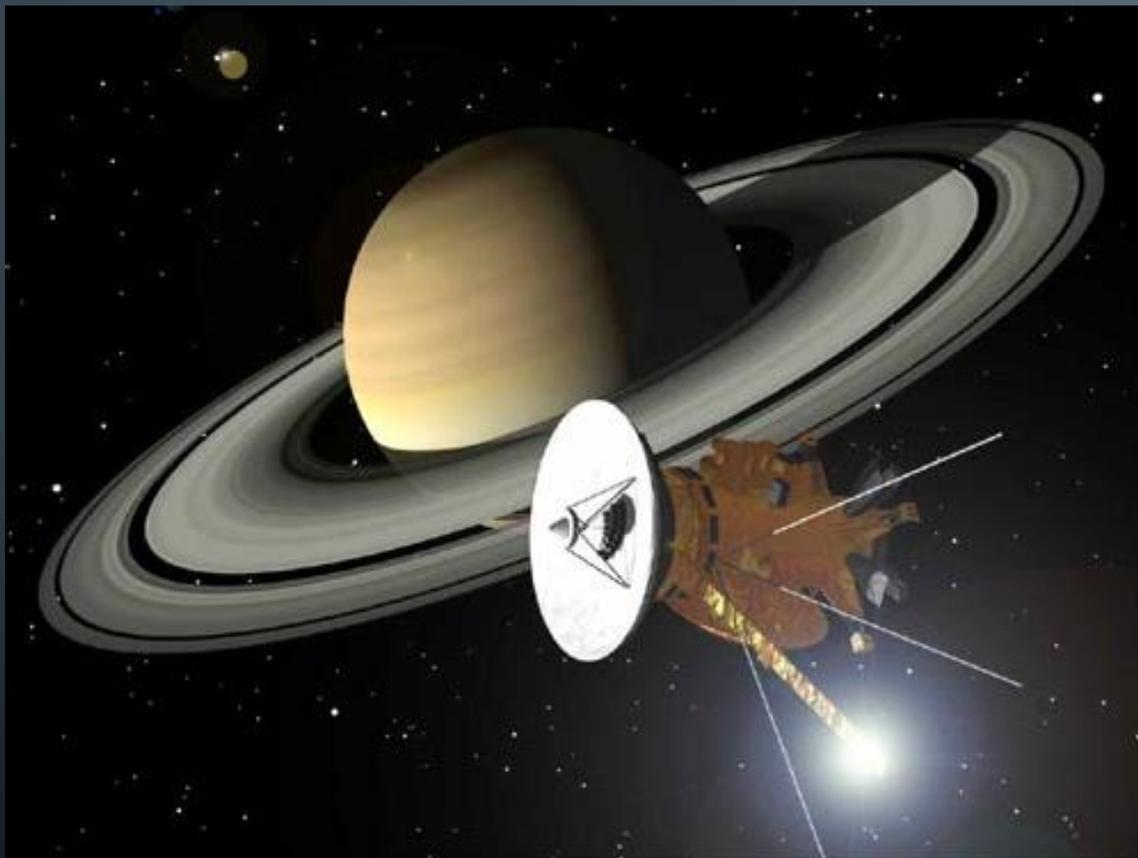
Кооперация в космосе

ВАЖЕН НЕ (ТОЛЬКО) РАЗМЕР



Важно не забывать, что надо не только создать «большую железку», но и начинить ее эффективной аппаратурой.

ПОЛЕТЫ К ПЛАНЕТАМ



Дешево «послать фотокамеру»,
но миссии нужны не для этого.

Кассини – полная стоимость
\$3.26 млрд.
80 процентов – НАСА.

Новые миссии под вопросом



РЕНТГЕНОВСКИЙ СПУТНИК XMM-NEWTON

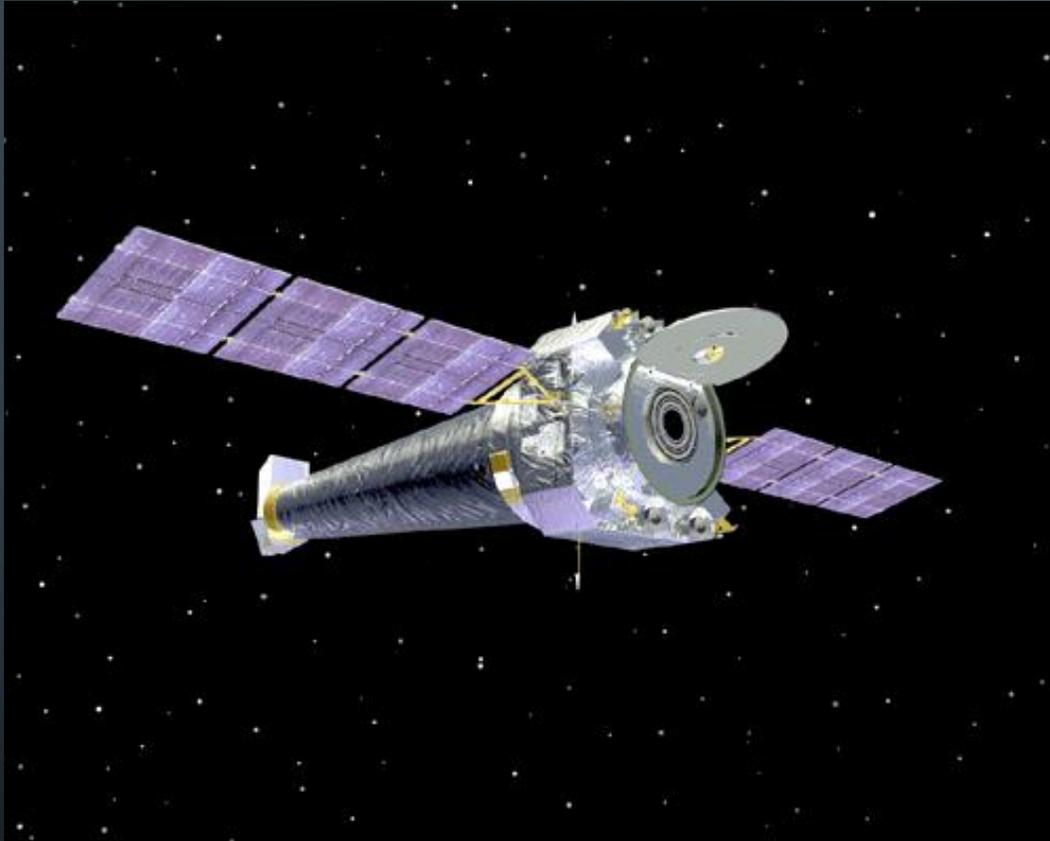


Рентгеновский спутник XMM-Newton (Европа)

Стоимость: около 700 млн евро.

Обладает рекордной собирающей площадью зеркал. Это позволяет получать очень подробные спектры и искать периодичность у слабых рентгеновских источников.

РЕНТГЕНОВСКИЙ СПУТНИК «ЧАНДРА»

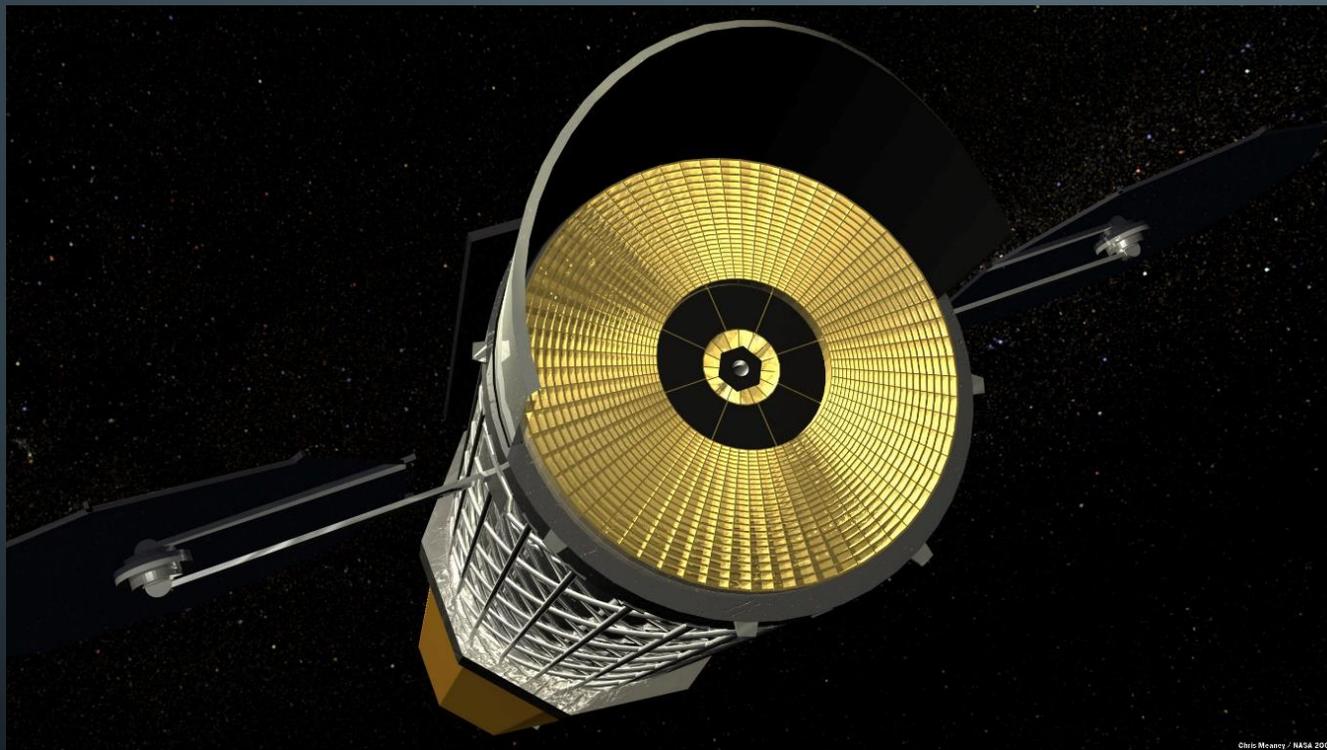


Рентгеновский спутник «Чандра» (США)

Стоимость: около \$2,8 млрд.

Спутник обладает рекордным для рентгеновских инструментов угловым разрешением, то есть способен фиксировать мелкие детали.

ЗАКРЫТАЯ / ОТКРЫТАЯ МИССИЯ IXO / ATHENA



Сейчас одобрена новая заявка. 2028 г.?

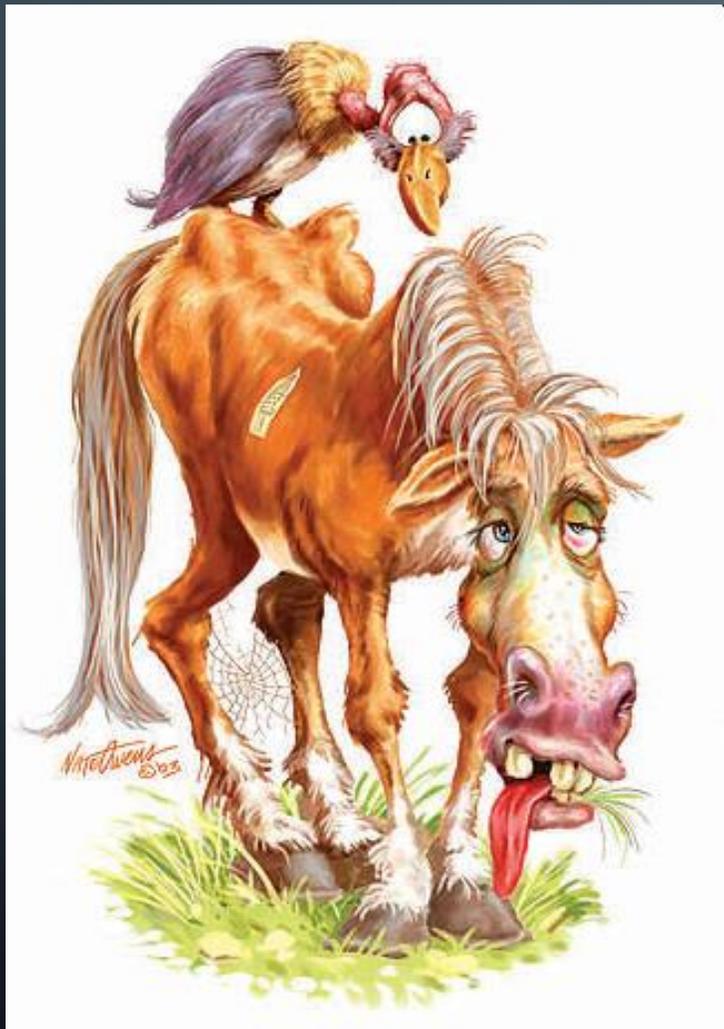
5 миллиардов долларов

Принципиально новые технологии.

NASA заявило о выходе из проекта.

Европа в итоге не одобрила новую большую рентгеновскую обсерваторию

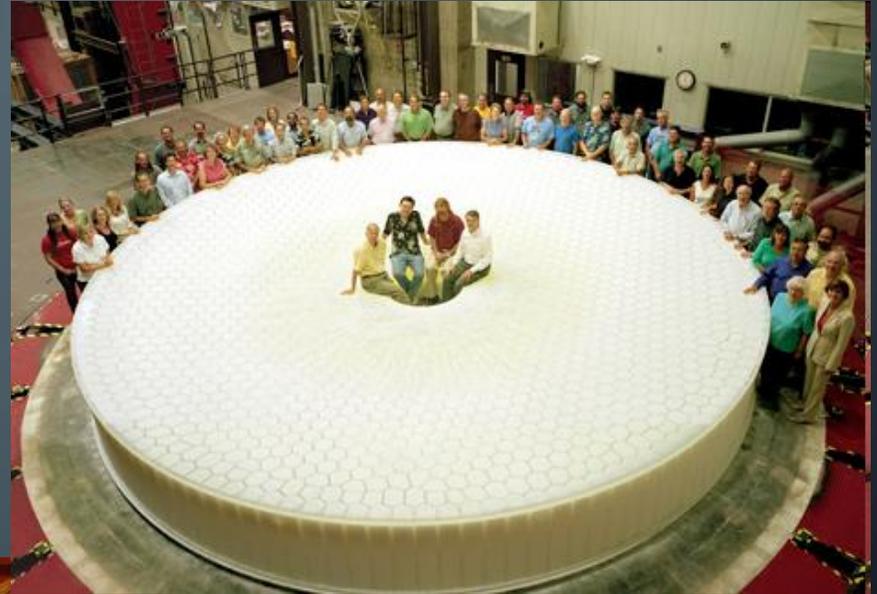
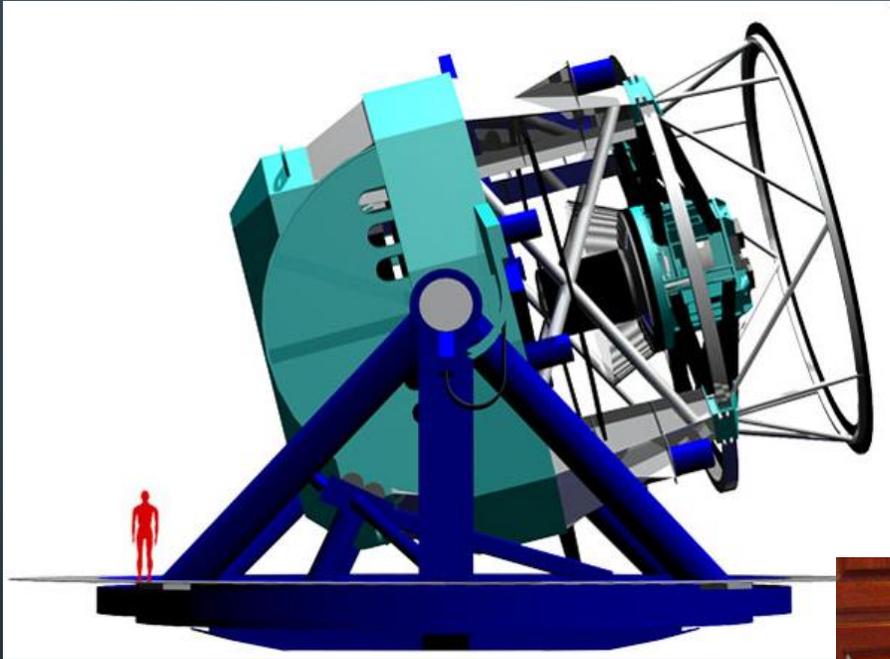
ЧЕМ ПЛОХО «ТЯНУТЬ» СТАРЫЕ



- Труднее ставить новые задачи
- Меньше мотивация
- Труднее отбирать новые кадры
- Нет новых технологий

Маленькие и старые сразу – это катастрофа!
Есть лишь очень ограниченный круг задач, где это оправдано.

LARGE SYNOPTIC SURVEY TELESCOPE

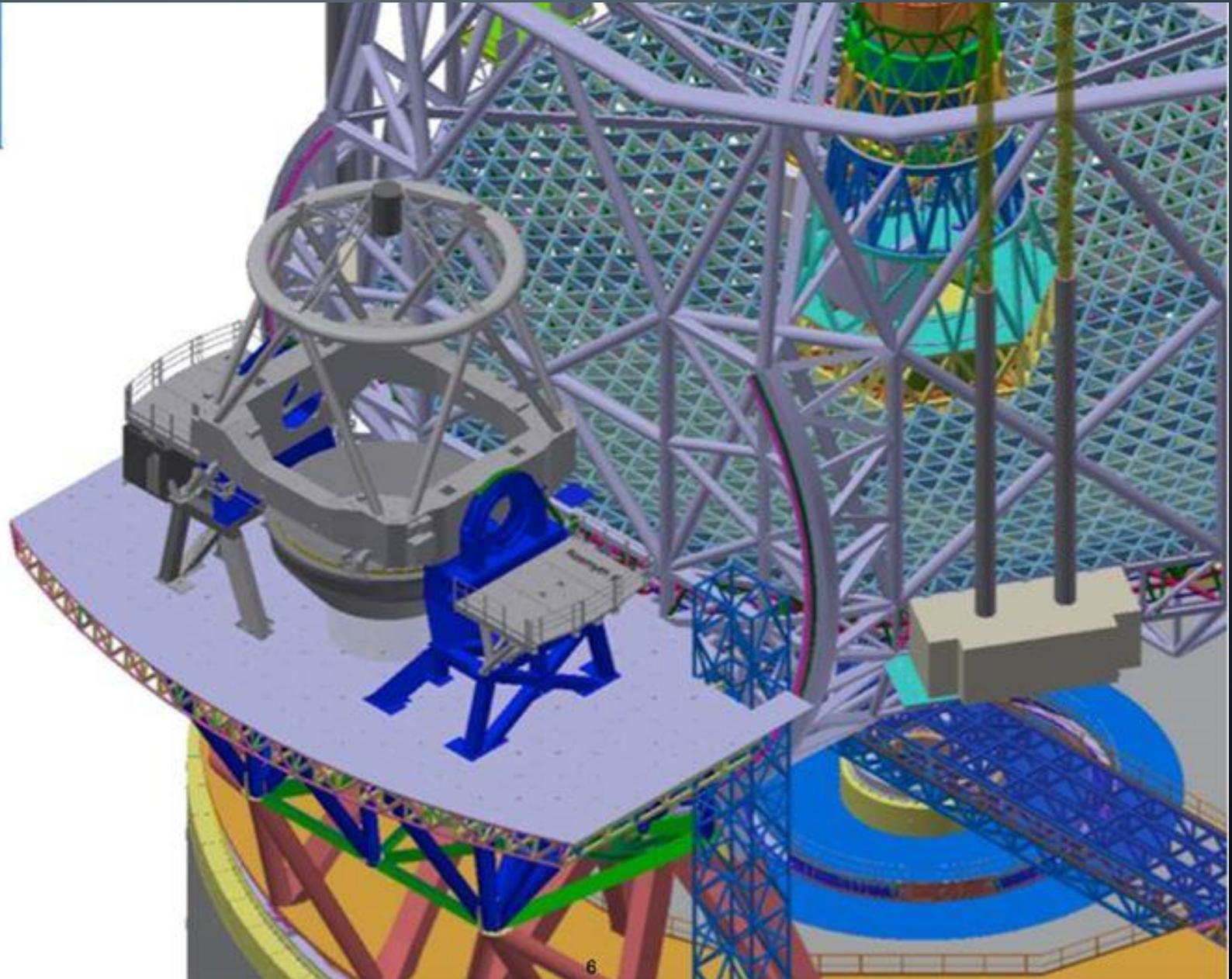


Очень широкий
круг задач

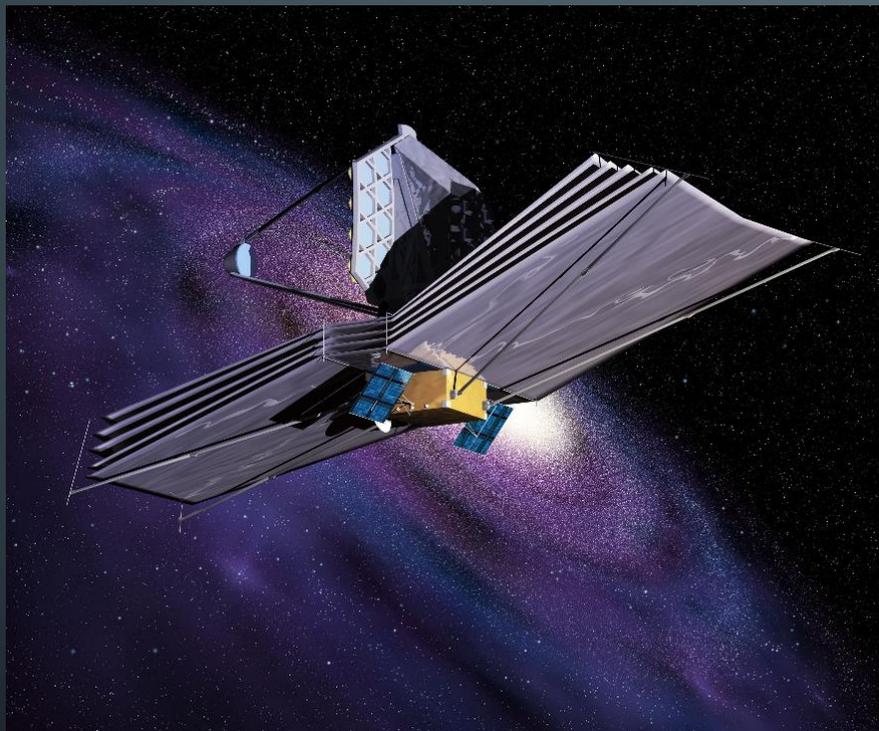
LSST – \$465 млн.



E-ELT



КОСМИЧЕСКИЙ ТЕЛЕСКОП ИМЕНИ ДЖЕЙМСА ВЕББА



Космический телескоп имени Джеймса Вебба (США)

Стоимость создания: > \$5 млрд.

Стоимость десятилетней эксплуатации: > \$1 млрд.

Планируется к запуску в 2019 году.

Будет работать в ближнем инфракрасном диапазоне.

Его задачей будет наблюдение первых звезд и галактик во Вселенной.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ



- Крупные проекты жизненно необходимы для эффективного прогресса в современной астрофизике
- Участие в крупных актуальных совместных проектах эффективнее поддержки старых мелких программ
- Крупные проекты обеспечивают создание базы, которая в будущем позволяет делать эффективные мелкие
- Важно не просто создание «большой железки», важно
 - наполнить ее хорошей начинкой
 - обеспечить эффективную работу с данными
 - обеспечить эффективный отбор заявок
 - обеспечить открытость данных

sergepolar.livejournal.com

<http://xray.sai.msu.ru/~polar>