



Династия
Фонд Дмитрия Зимина

Телескопы и миллиарды: зачем нужны дорогие научные проекты?

Сергей Попов
(ГАИШ МГУ)

На вес золота



Рыночная цена золота ~1200\$ 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

Дорогие научные проекты



VLA
Апгрейд на
90 млн. \$



Giant Segmented Mirror Telescope
Миллиард долларов без аппаратуры



Wide Field Camera 3
132 млн. \$

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.

Масштаб цен

В Decadal Survey принято, что

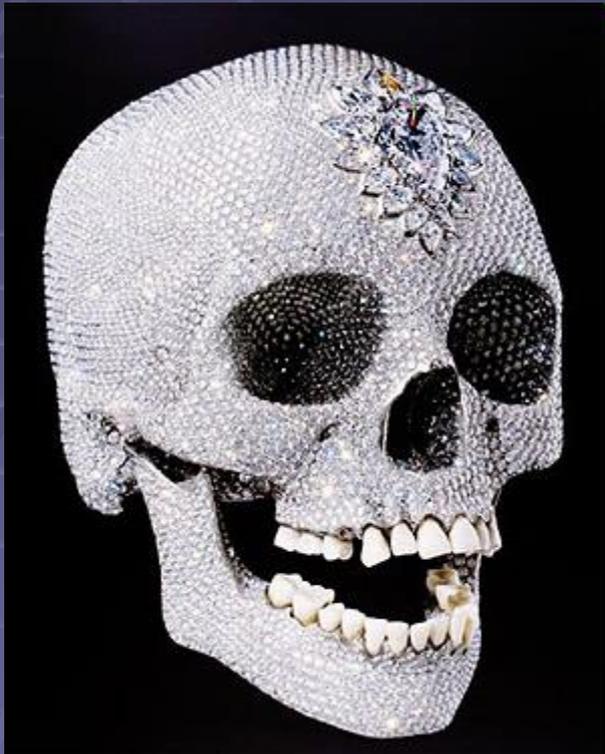


- Для космических исследований
 - Большие (дорогие) проекты – дороже миллиарда долларов
 - Средние (умеренно дорогие) – от 300 миллионов до миллиарда
- Для наземных установок
 - Большие (дорогие) – дороже 135 миллионов долларов
 - Средние (умеренно дорогие) – от 4 до 135 миллионов долларов

Дорогой в космосе – JWST
Дорогой на Земле - LSST

Средний в космосе – WMAP, SWIFT, WISE

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.

В чем польза астрономии?



- Кадры, кадры, кадры ...
- Технологический заказ
- «Лицо науки»
- Суперлаборатория для бедных

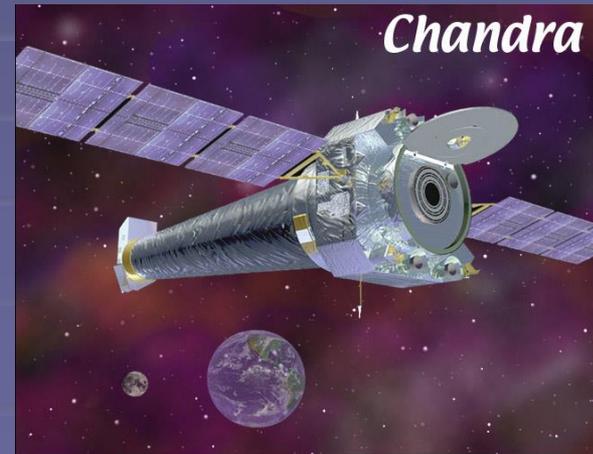
Наблюдения, наблюдения, наблюдения



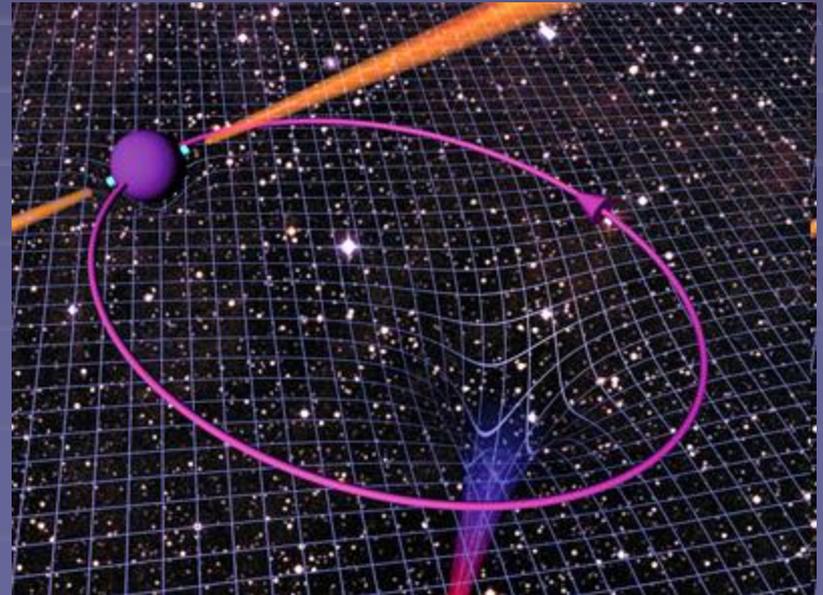
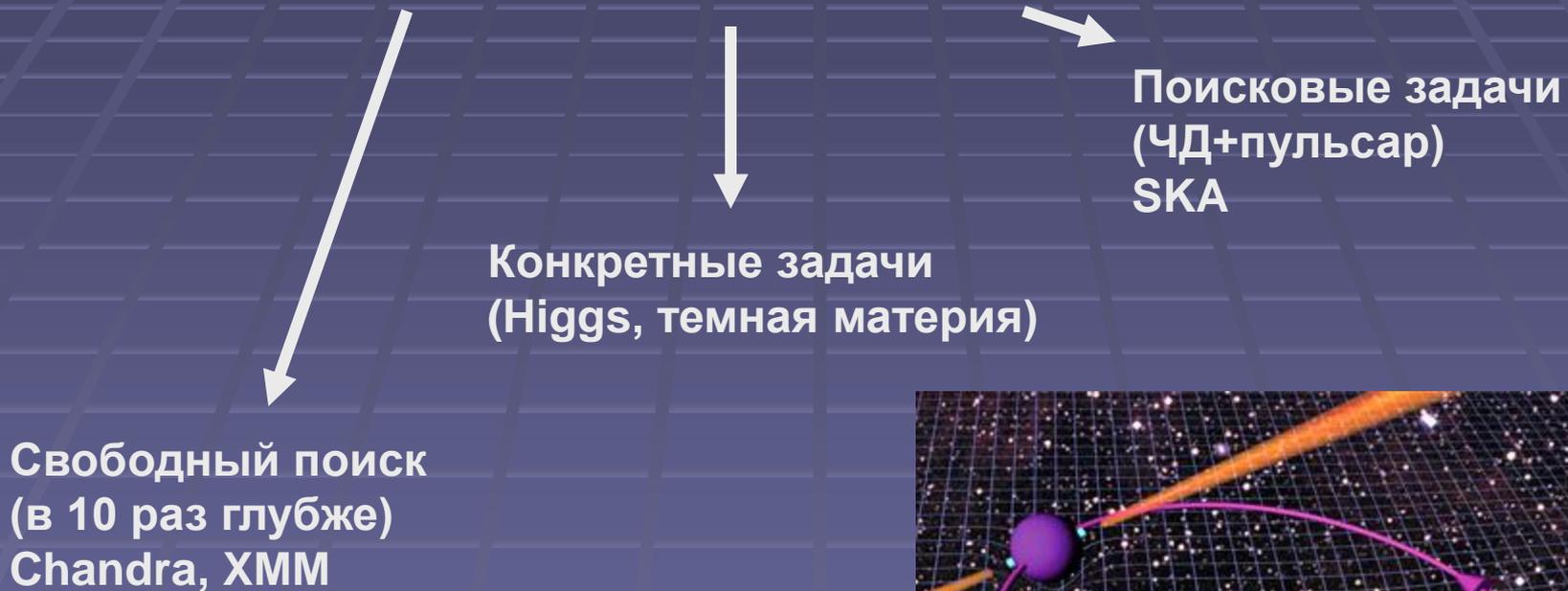
На Земле и к космосе



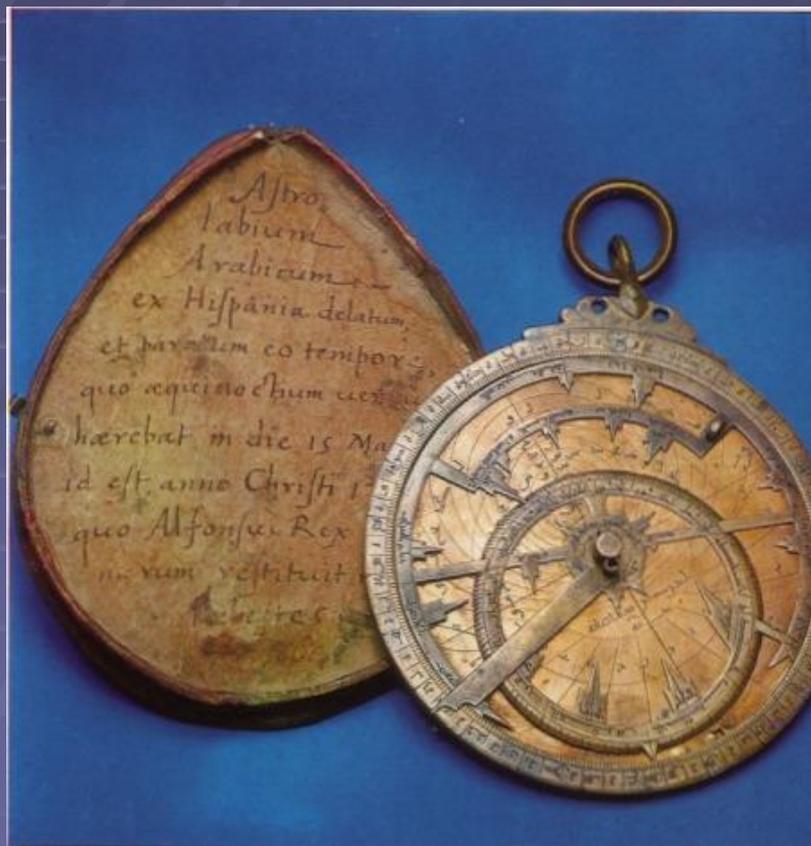
В радио- и в рентгеновском диапазонах



Подход к новым большим проектам



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

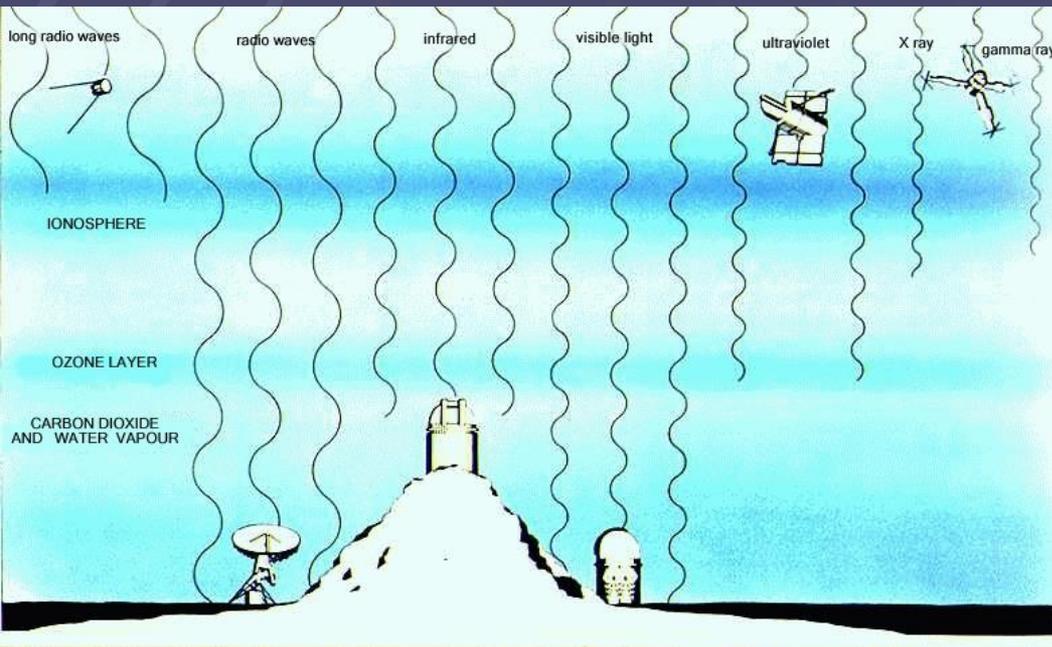


БТА 6 метров



Gemini 8 метров

Наблюдения из космоса

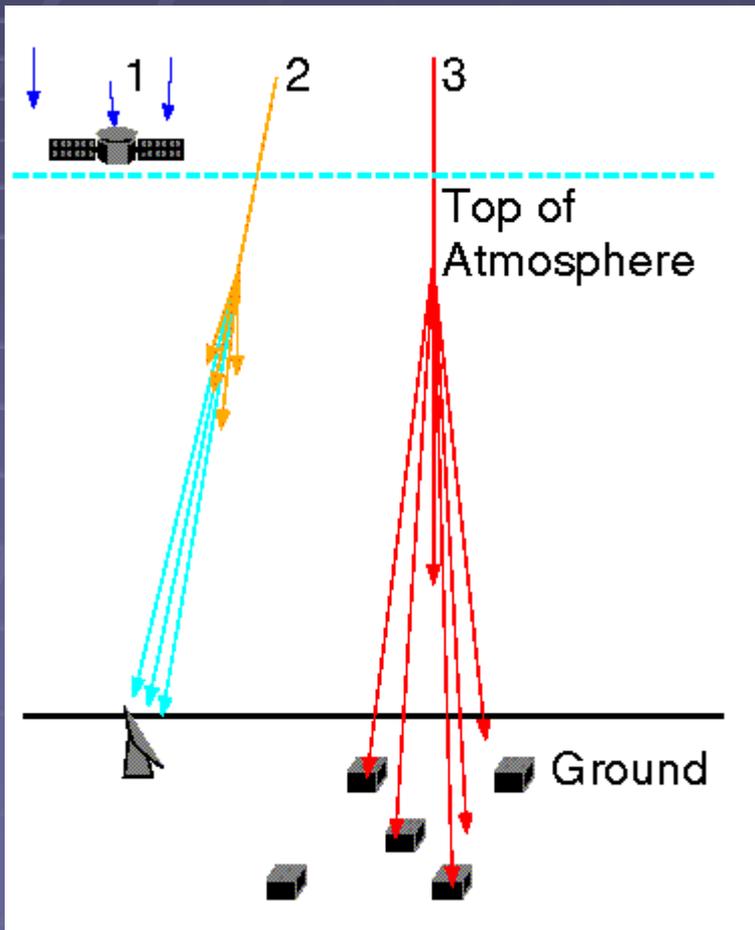


Поглощение



Мерцание

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

Обсерватория имени Оже



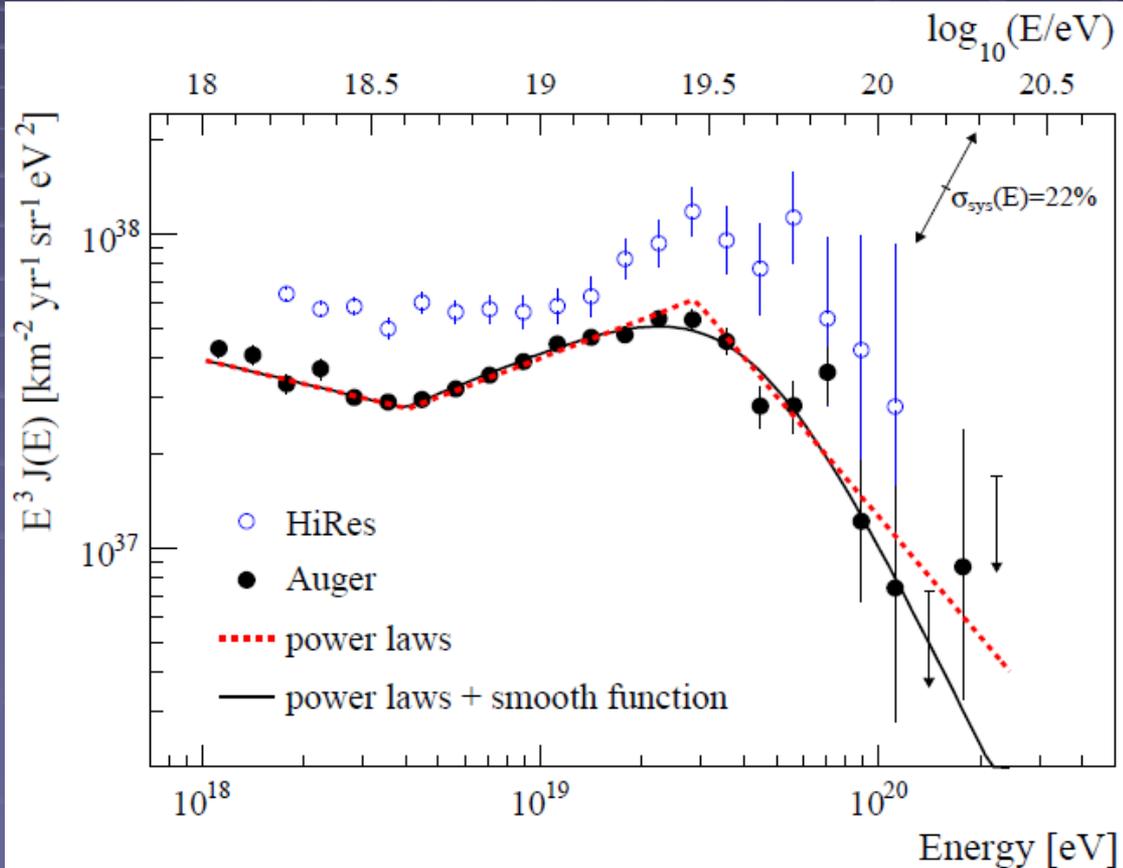
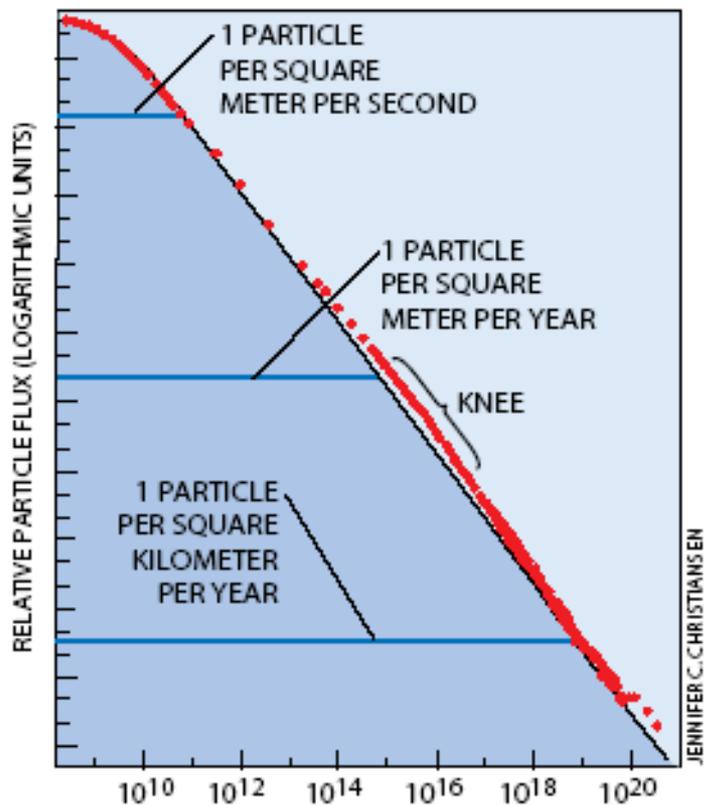
Обсерватория
им. Пьера Оже

Более 1000 наземных детекторов.
Плюс 24 телескопа.

(подробнее см. «Вокруг света» N5 2007)

Космические лучи самых высоких энергий

Scientific American, (c) 1998



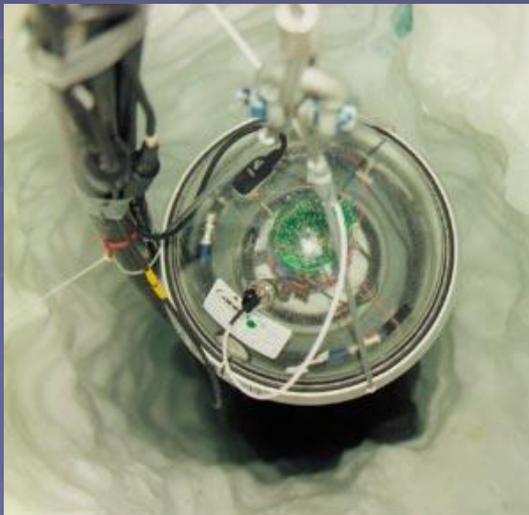
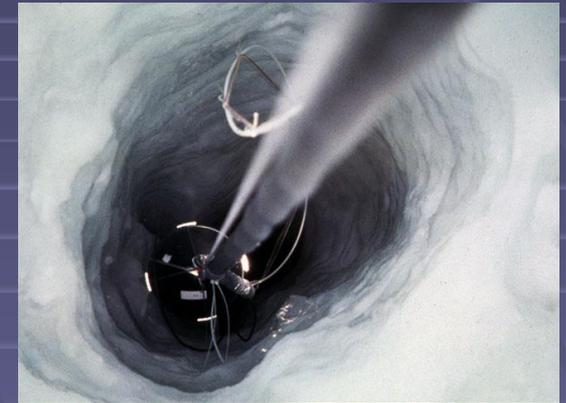
Космические проекты



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

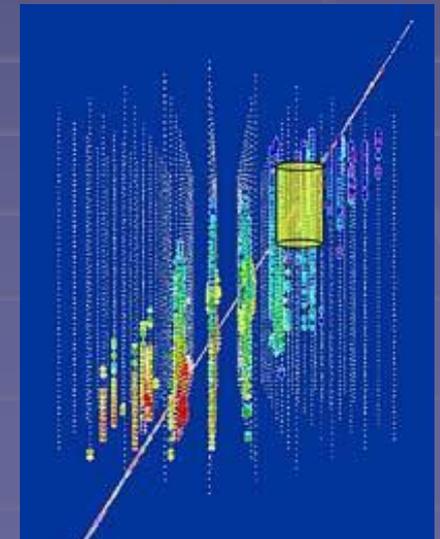
Задача: изучение редких частиц очень высоких энергий.

Наблюдения нейтрино

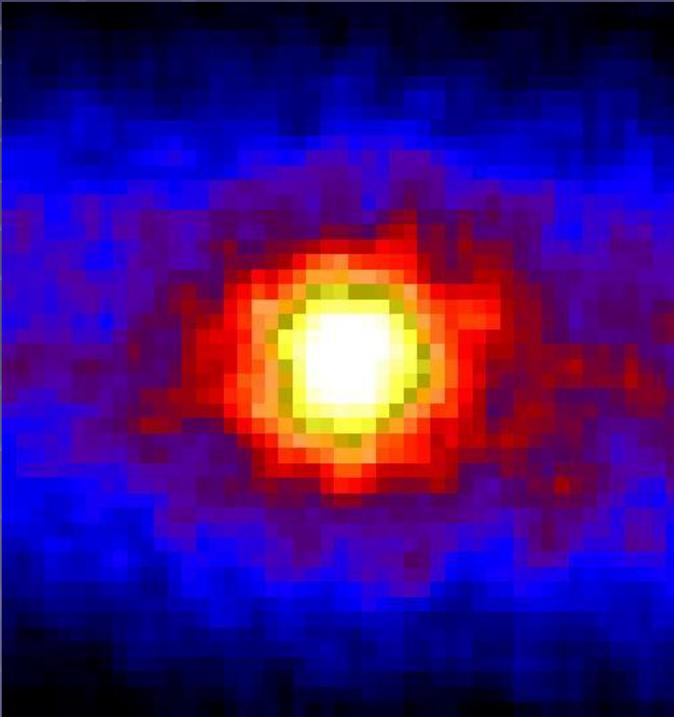


Эксперимент AMANDA
в Антарктиде.

Кубический километр
IceCube



Нейтринная астрофизика

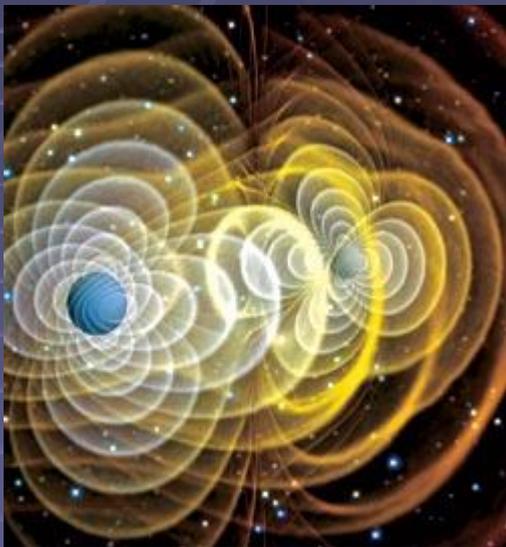


Нейтрино от Солнца



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.

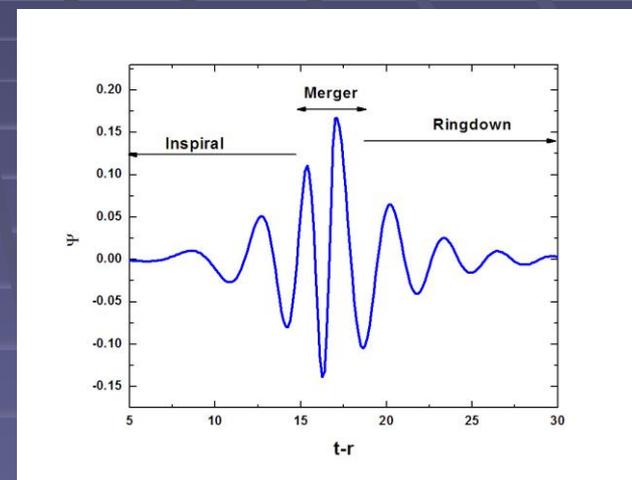
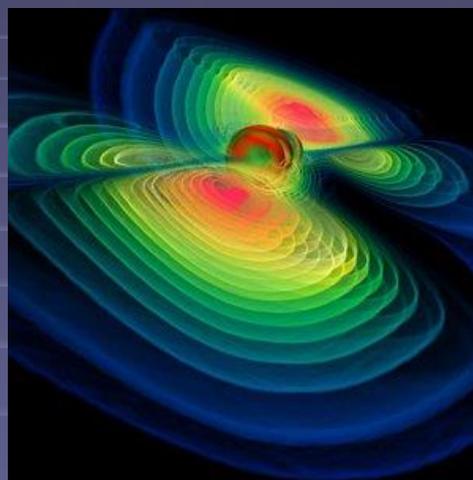


(подробнее см. «Вокруг света» N2 2007)

Как увидеть горизонт?



Детектор LIGO

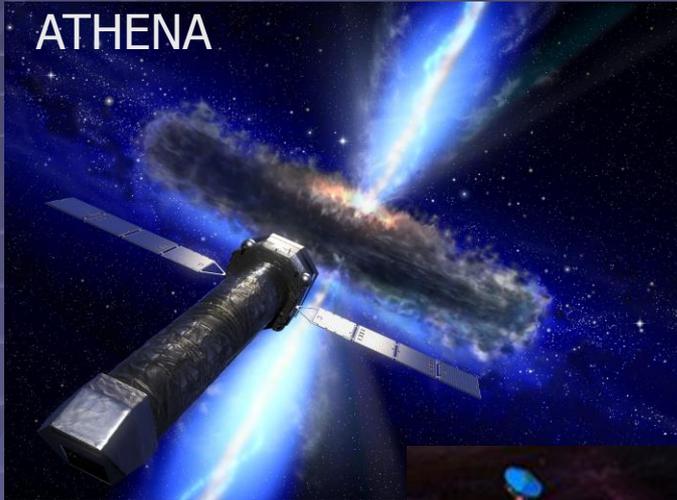


Слияние черных дыр

В ближайшие несколько лет детекторы LIGO и VIRGO смогут увидеть слияния двойных черных дыр. Можно будет узнать, как взаимодействуют горизонты.

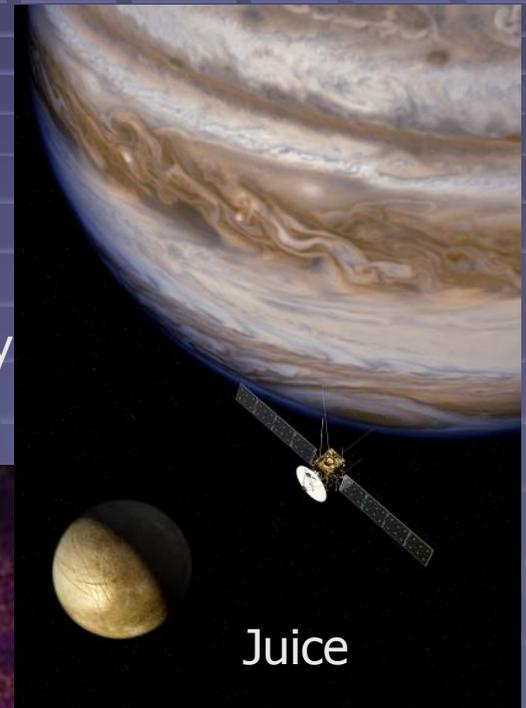
Как выбрать?

ATHENA

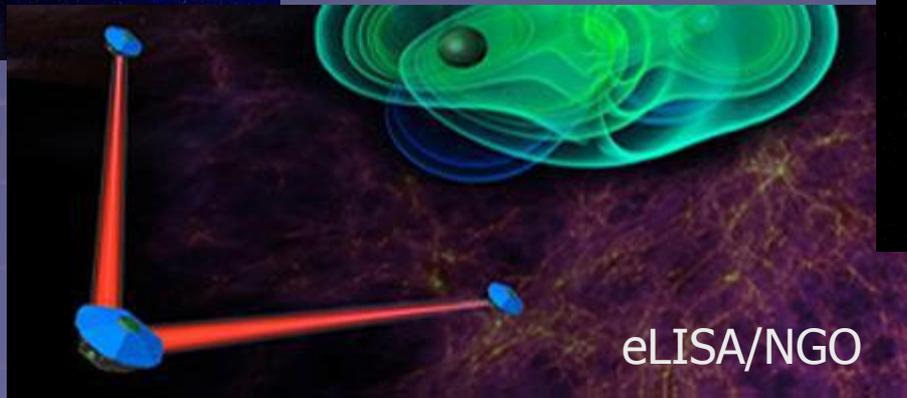


Недавно ЕКА выбирало проект крупной миссии.

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



Juice



eLISA/NGO

Космический телескоп имени Хаббла



Космический телескоп имени Хаббла (США)

Стоимость: около \$6 млрд.

\$10 млрд с учетом эксплуатации.

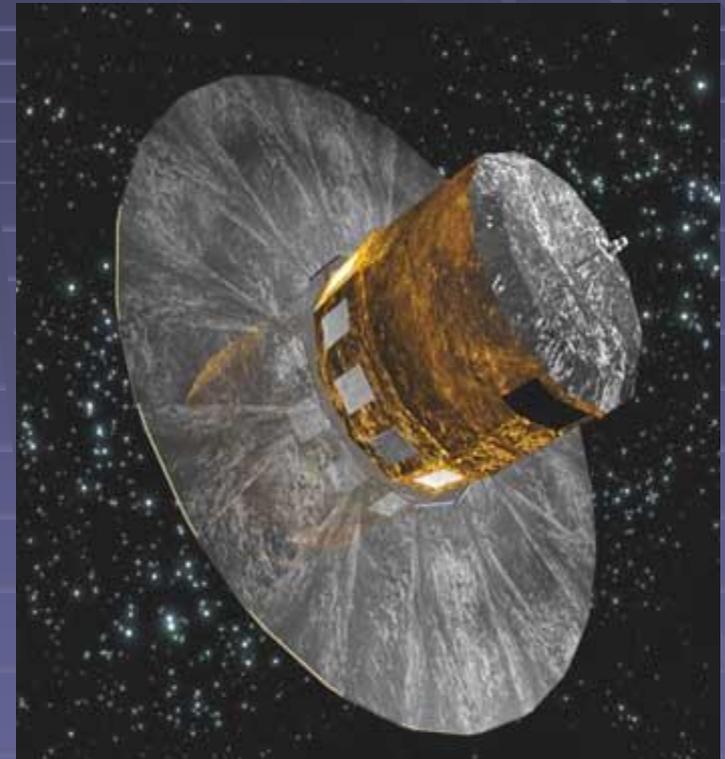
Телескопу, расположенному в космосе, не мешает земная атмосфера. Поэтому изображения получаются более четкими, можно рассмотреть детали и объекты, недоступные земным, пусть и более крупным инструментам.

Астрометрические наблюдения из космоса



Hipparcos

600 миллионов евро



GAIA

650 миллионов евро

Задача – построение
трехмерной карты Галактики

Поиски экзопланет



CoRot

~100 миллионов евро



Kepler

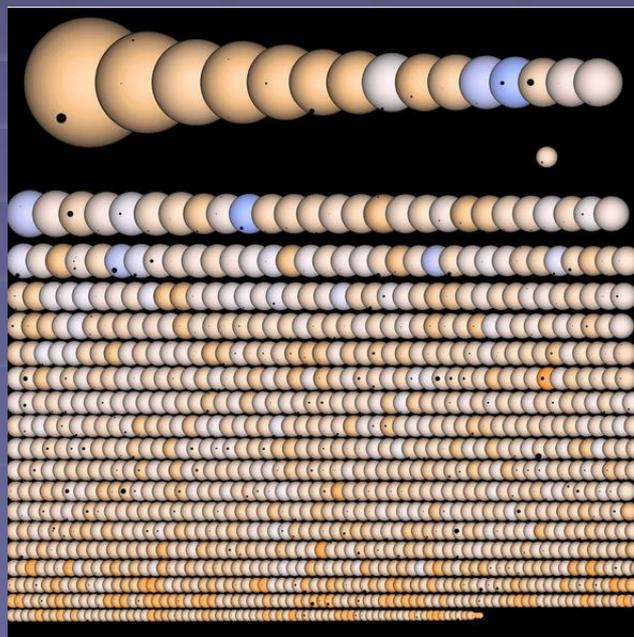
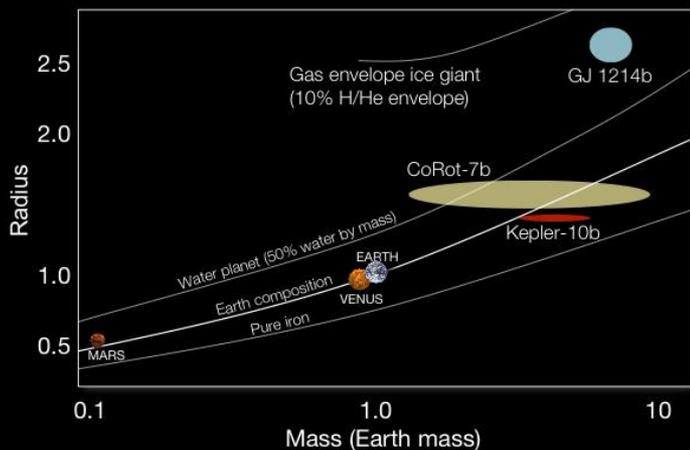
600 миллионов долларов

Новые результаты Kepler

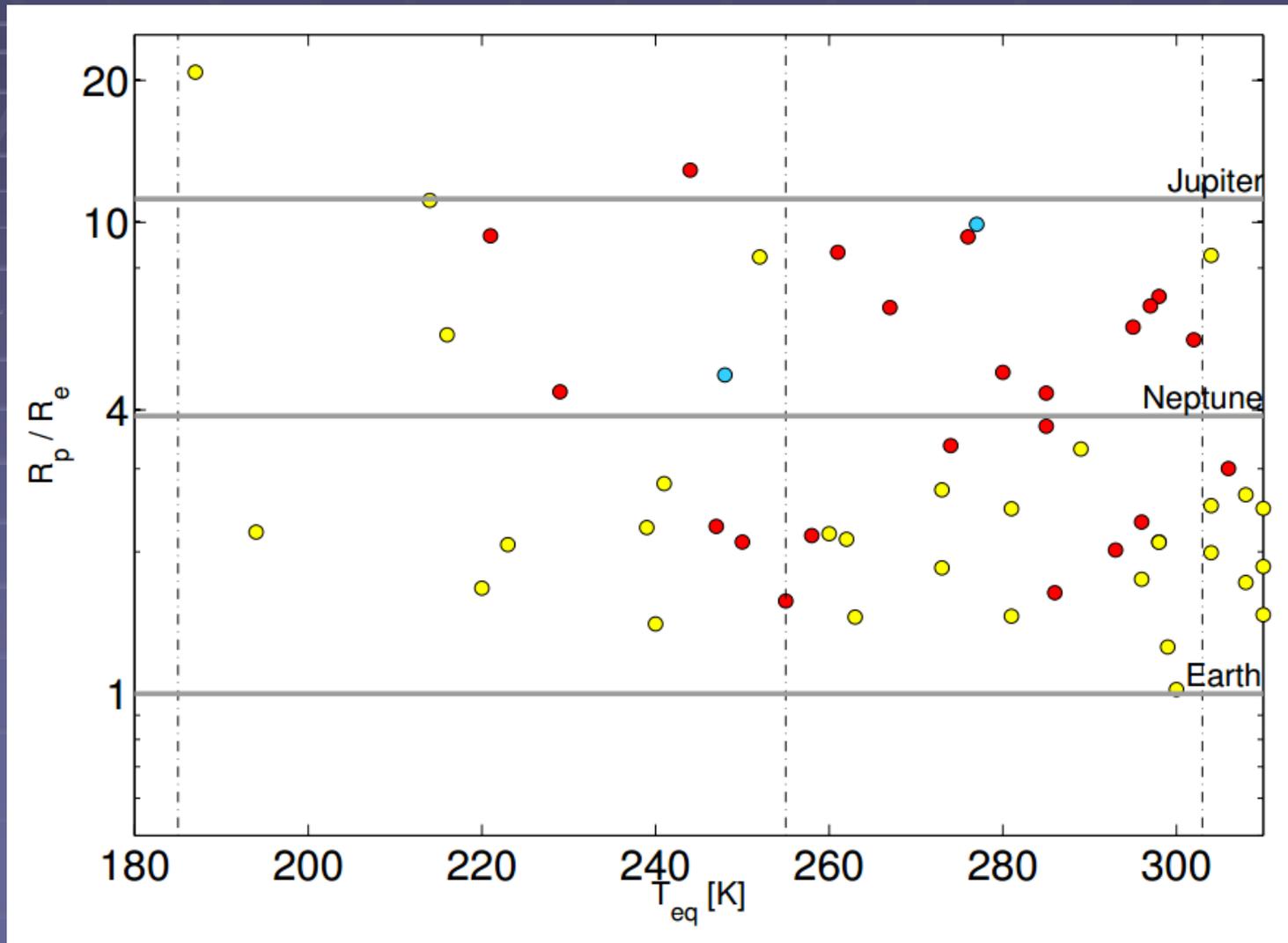


>20000 кандидатов в планеты
Около половины по размерам
похожи на Нептун.
Много сверхземель.
Множество земноподобных планет

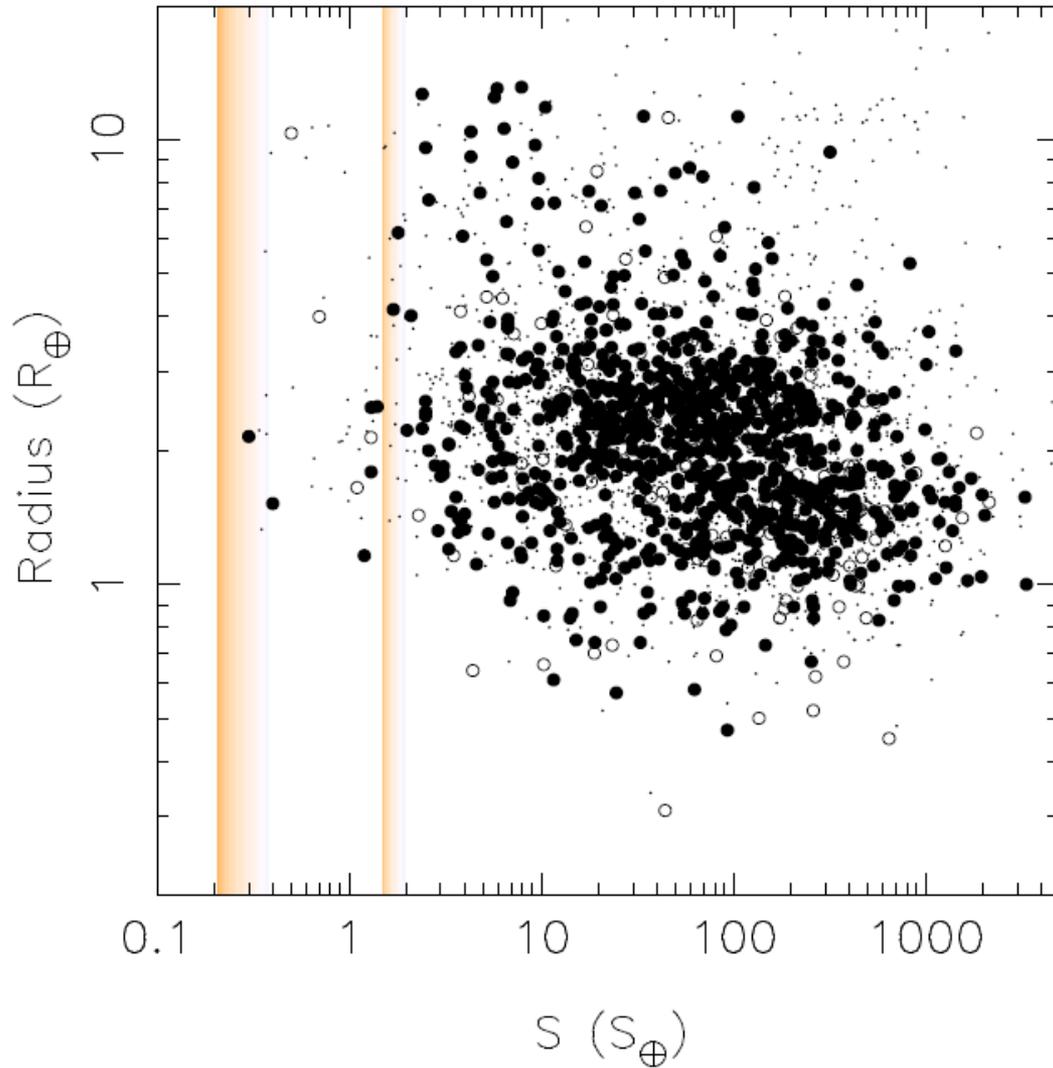
Composition of Kepler-10b



Планеты в зоне обитания



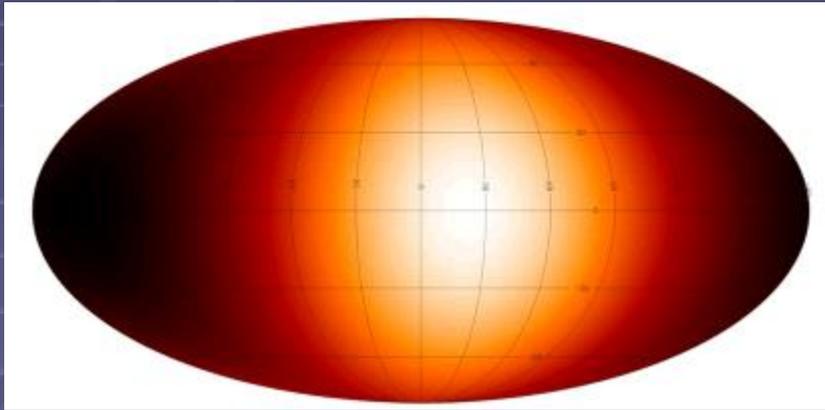
Планетах в зоне обитаемости



1402.6534

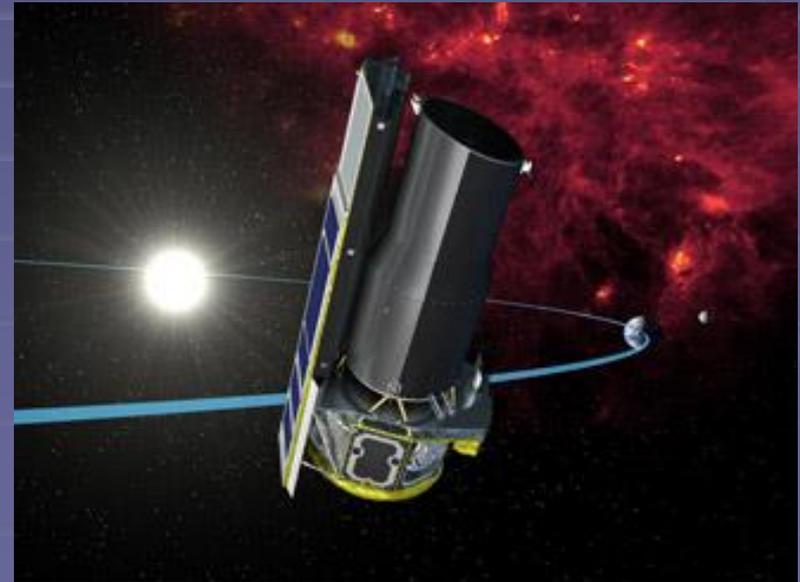
**Известны уже десятки
небольших планет в т.н.
зонах обитаемости.**

Карта экзопланеты HD 189733b



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)

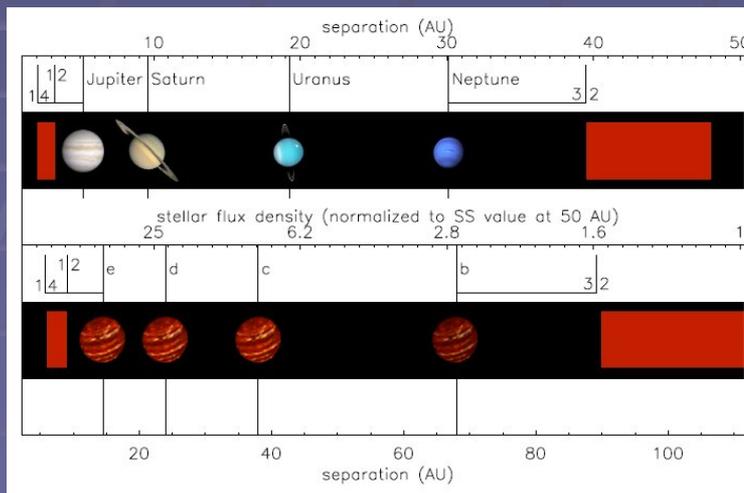
Стоимость: около \$183 млн плюс около \$50 млн было потрачено на детекторы. Несмотря на запуски все новых спутников, работающих в разных диапазонах спектра, крупные наземные оптические телескопы продолжают оставаться одним из столпов, на которых зиждется здание наблюдательной астрофизики.

Изображение четвертой планеты вокруг HR 8799

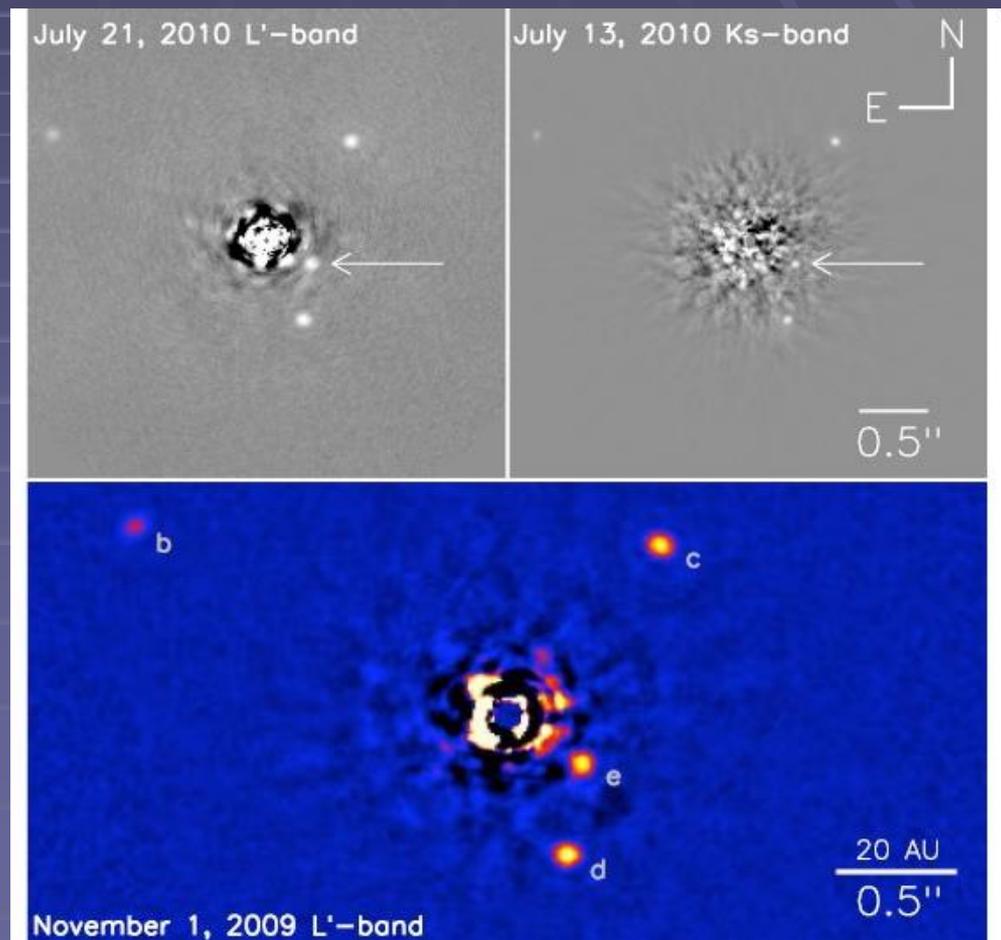
Keck II

Расстояние 14 а.е.
Это меньше, чем
у трех других.

Похожа на Солнечную

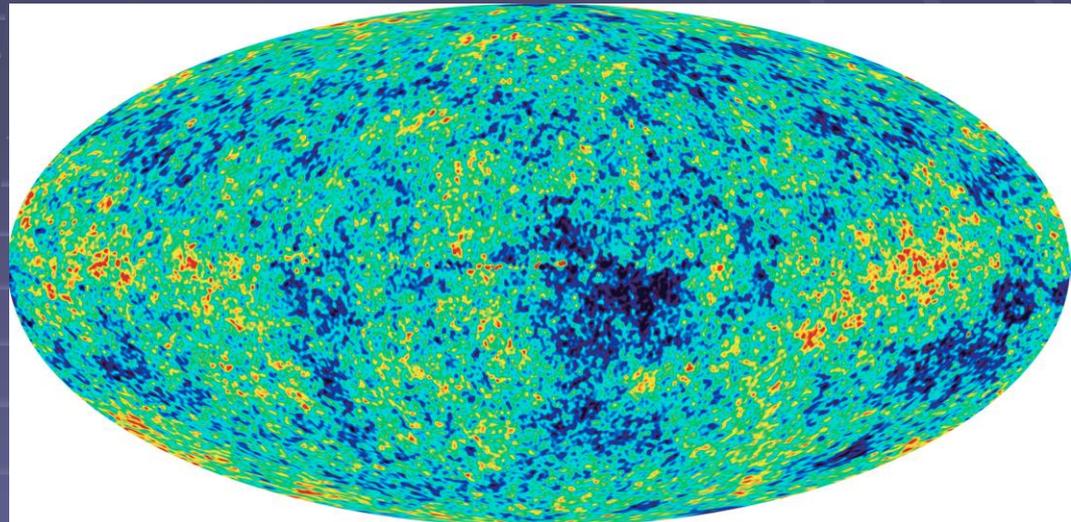
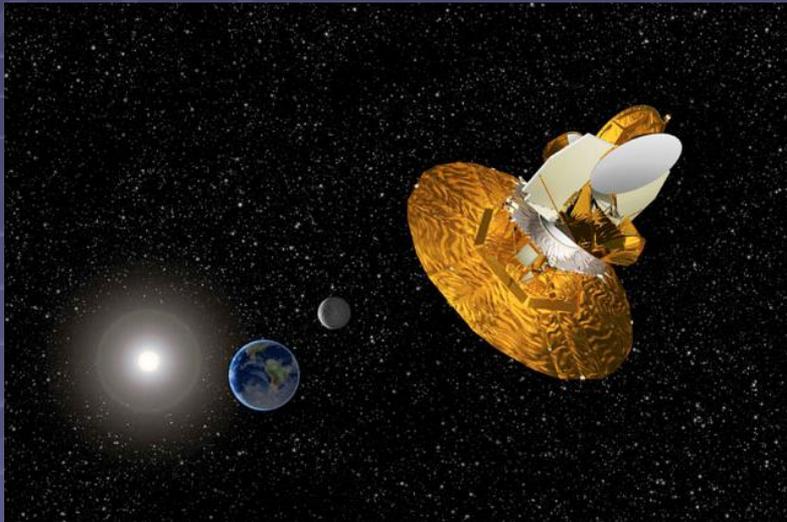


arXiv: 1011.4918



Спутник WMAP

Самые цитируемые на сегодняшний день статьи в астрономии



Спутник WMAP (США)

Стоимость: около \$150 млн.

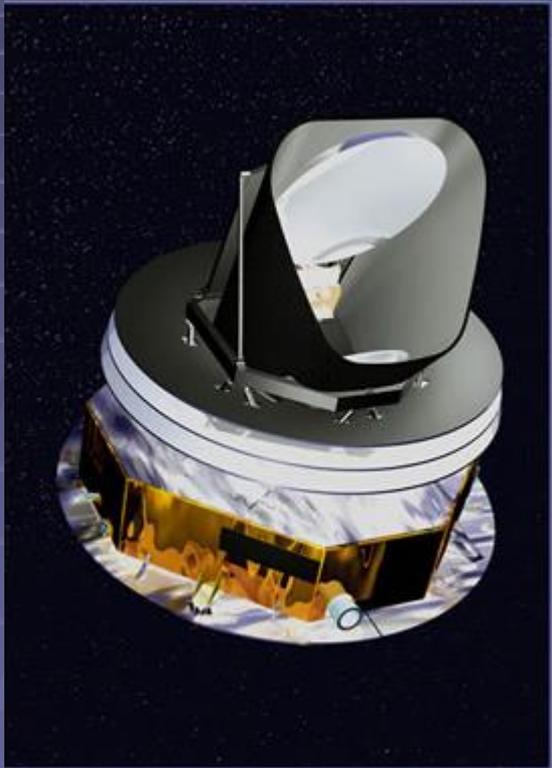
Задача инструмента — изучение микроволнового (реликтового) фона, несущего информацию о молодой Вселенной.

То есть это космологический прибор.

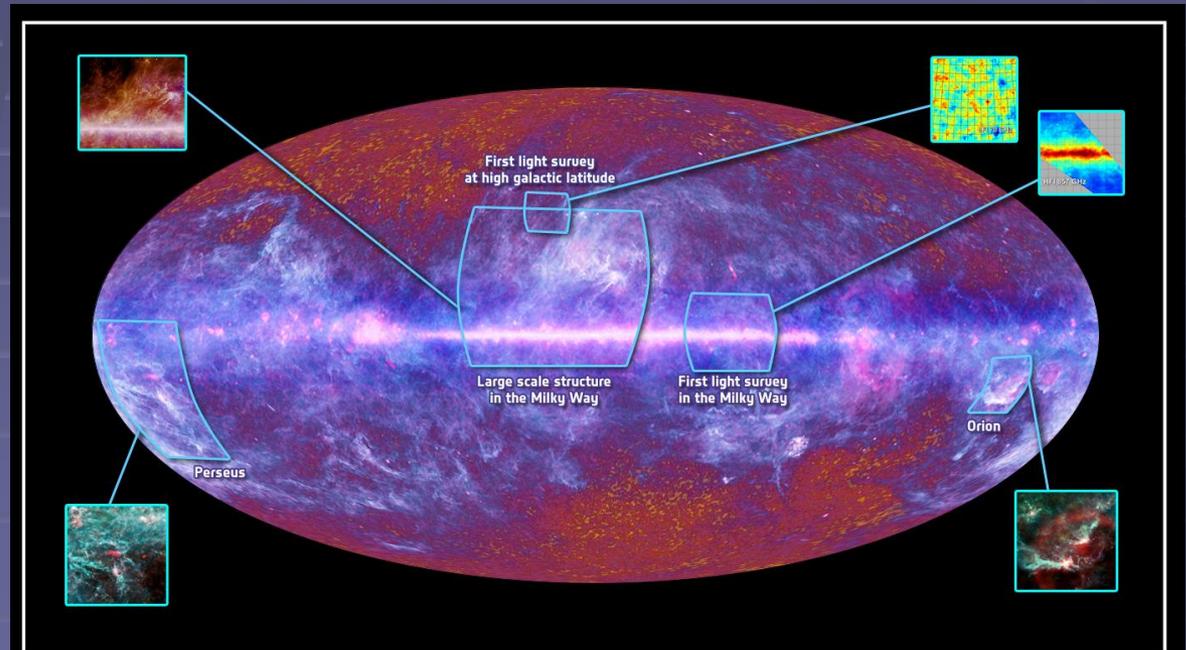
Однако, поскольку на реликтовое излучение накладывается излучение нашей Галактики, спутник получил важнейшую информацию о свойствах нашей звездной системы.

Результаты спутника Planck

Новые данные представлены 5 февраля 2015 г.
Однако будут еще более полные и детальные!



700 млн. евро



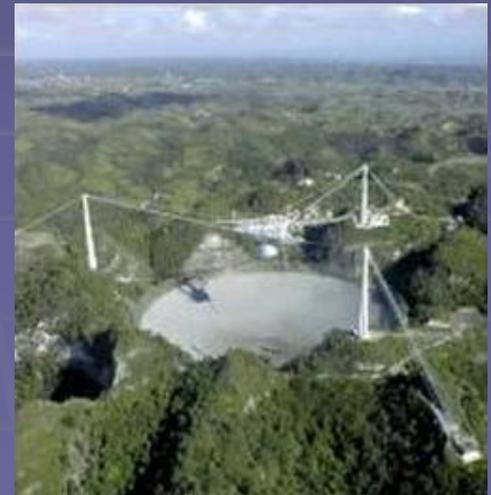
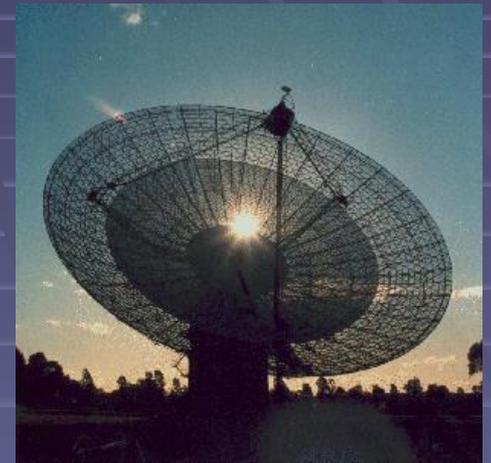
The Planck one-year all-sky survey



(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 или Южной Африке.

Пока идет строительство прототипов.

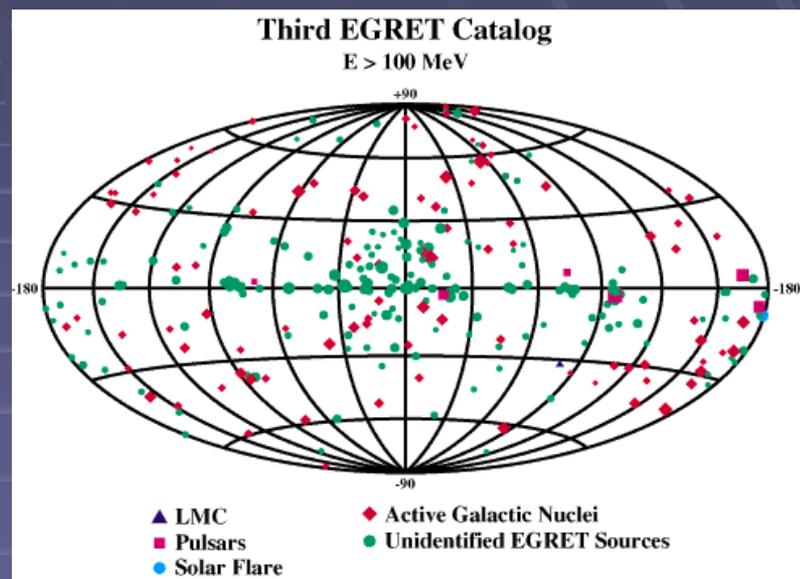
Антенны будут разбросаны на расстоянии до 150 км друг от друга, но при этом работать как единый прибор.

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



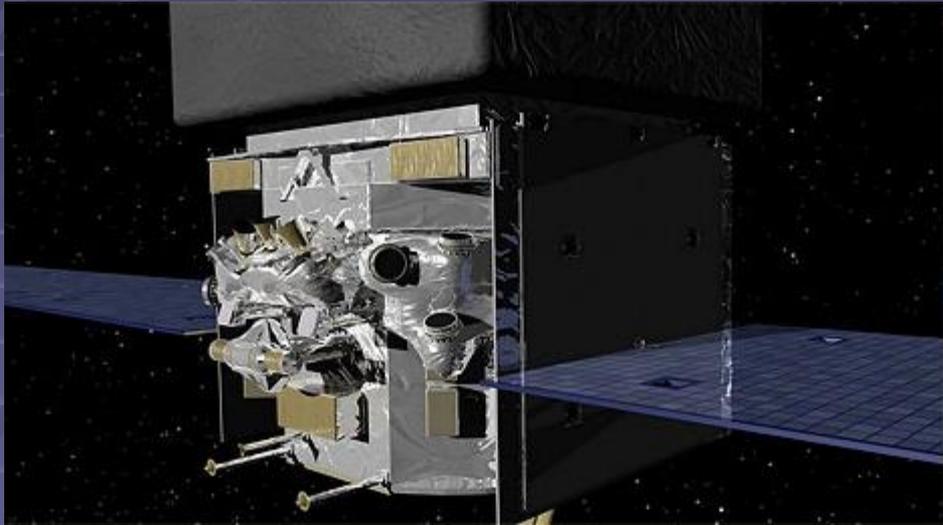
Комптоновская гамма-обсерватория (США)

Стоимость: около \$700 млн.

Спутник работал с 1991 по 2000 год.

На то время это была самая крупная космическая обсерватория.

Гамма-телескоп Fermi-GLAST



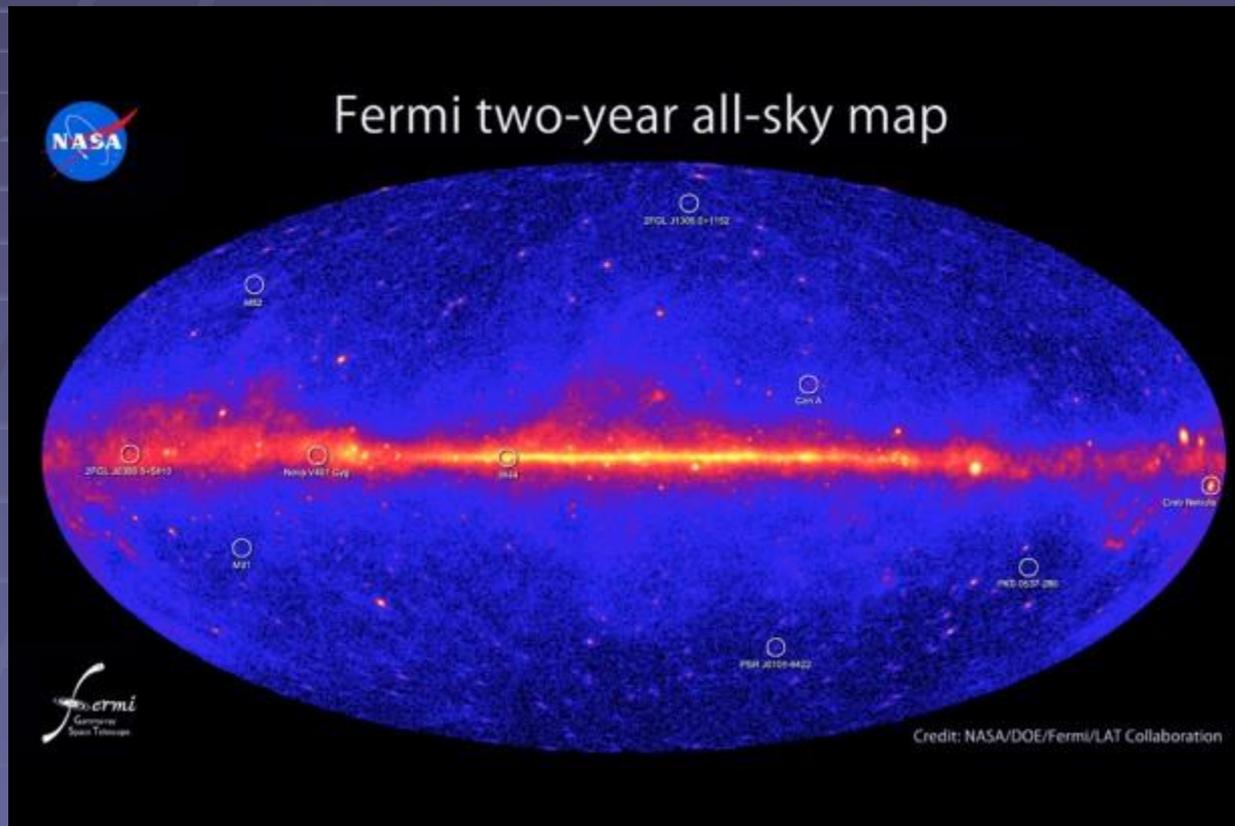
Гамма-телескоп GLAST (США и международная кооперация)

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

Астрономический vs. физический



Конкретная задача.
Большие коллективы.



Много независимых групп.
Заявки.
Комитеты по распределению времени

Мотивация исследователей



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

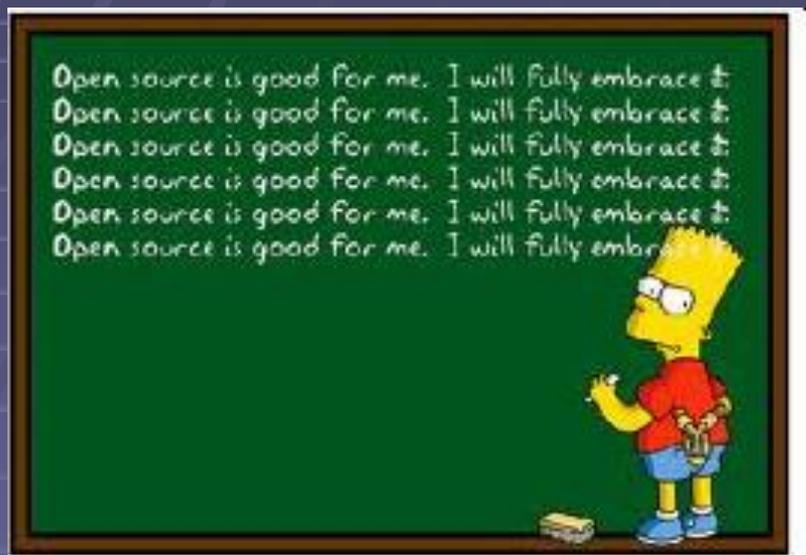
Технологический прорыв



Потом – будет дешевле
Иначе - средневековье

Дорогой проект ставит
задачу создать уникальные технологии

Открытые данные



Данных **ОЧЕНЬ** много

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

Крупные проекты дают огромные потоки данных.

Работа с данными становится отдельной проблемой и ставит новые задачи.



Кооперация

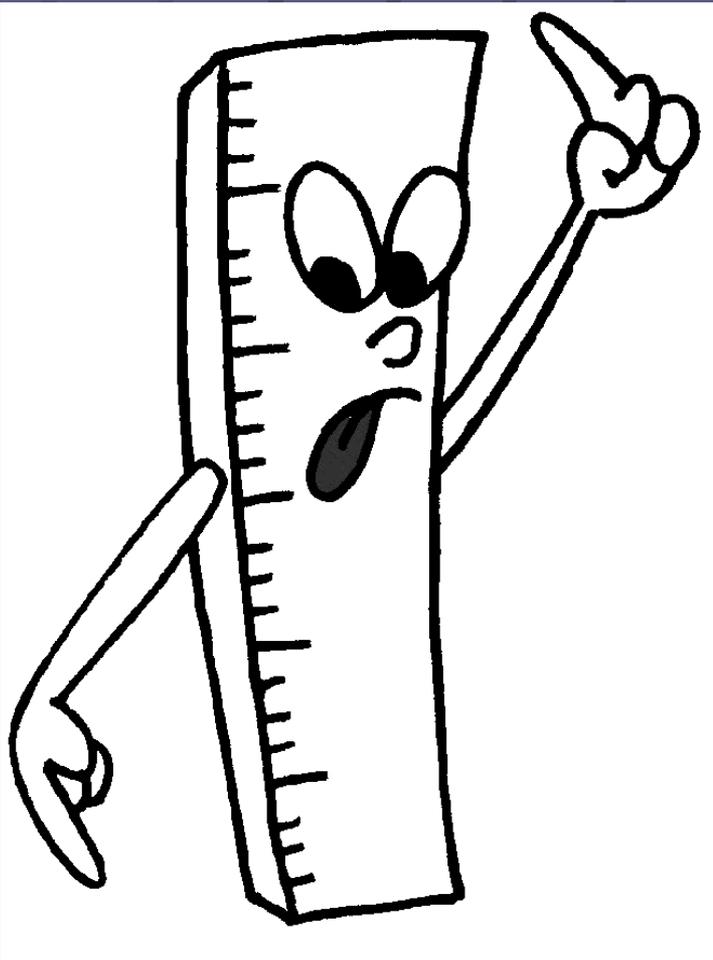


Крупные проекты делают вместе.
Это повышает эффективность.

ESO

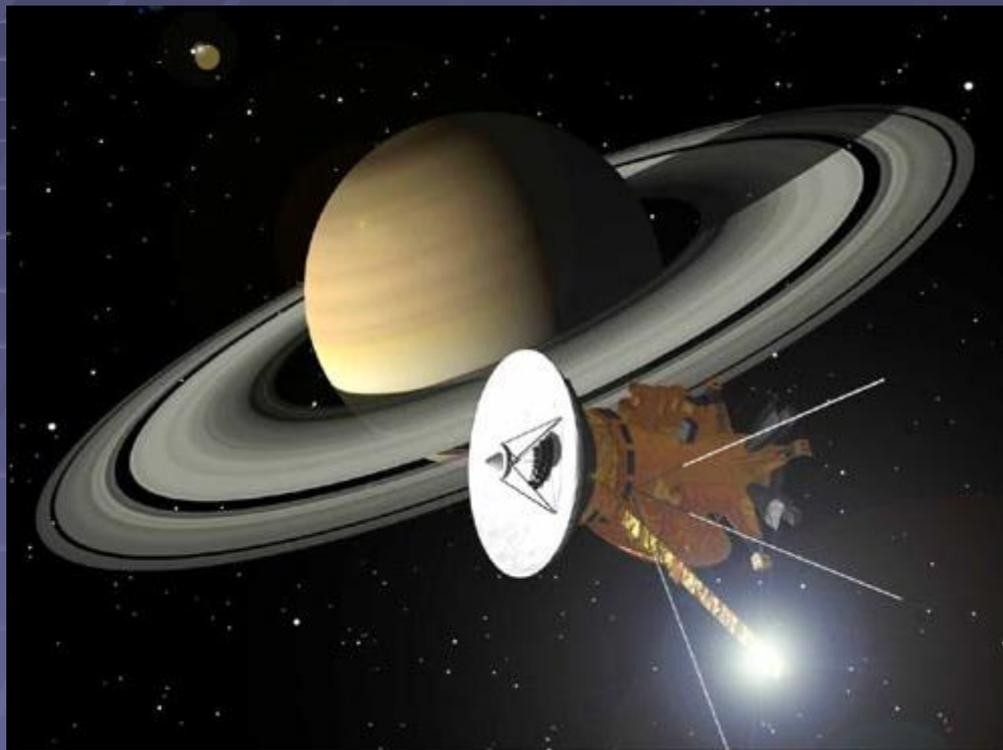
Кооперация в космосе

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»

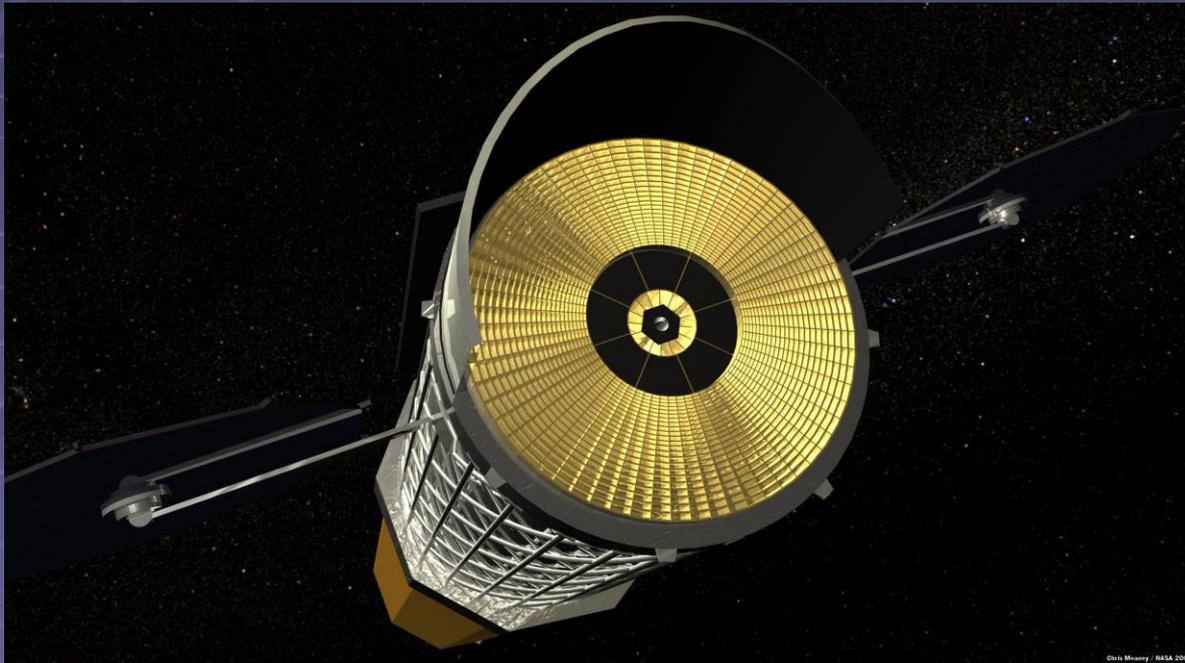


Рентгеновский спутник «Чандра» (США)

Стоимость: около \$2,8 млрд.

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

Закрытая миссия IXO/ATHENA



5 миллиардов долларов

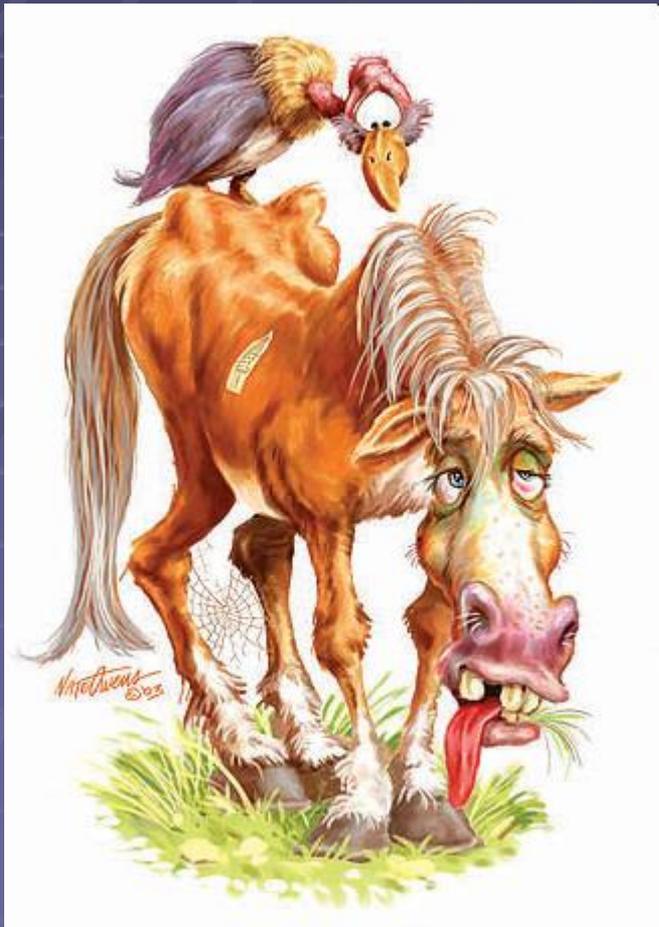
Принципиально новые технологии.

NASA заявило о выходе из проекта.

Европа в итоге не одобрила новую большую рентгеновскую обсерваторию

Сейчас подана новая заявка. 2028 г.?

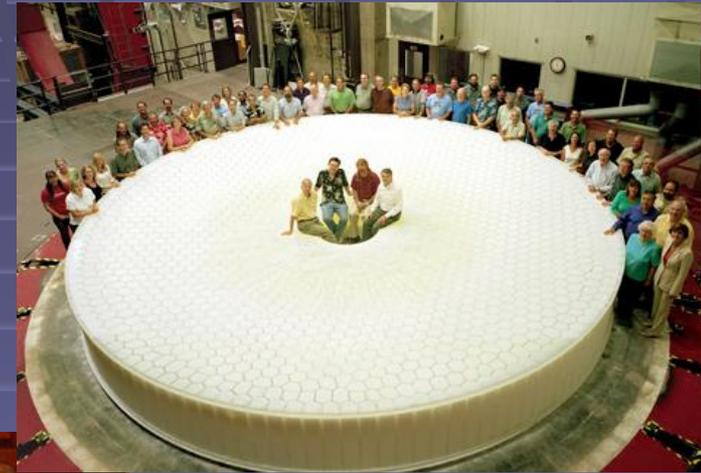
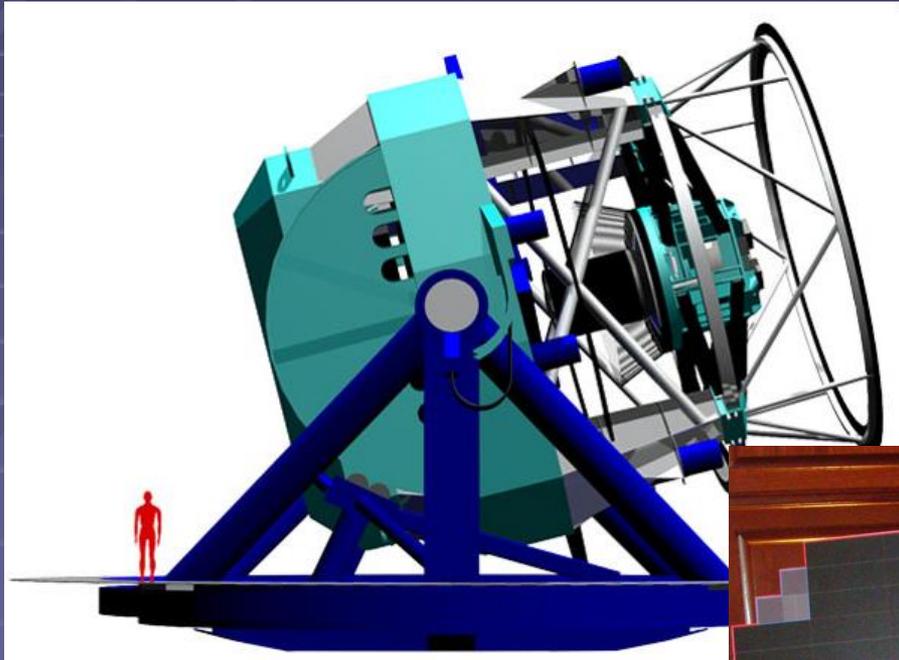
Чем плохо «тянуть» старые



- 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

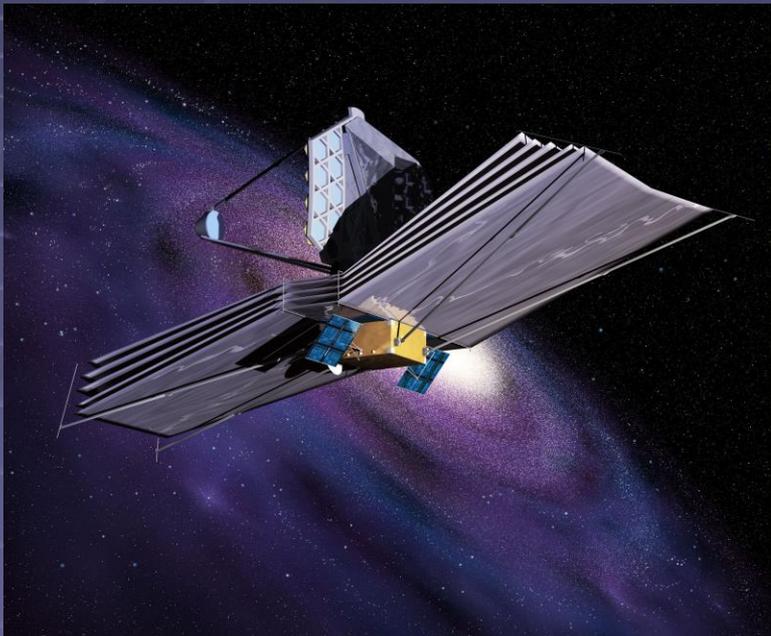


Очень широкий
круг задач

LSST – \$465 млн.



Космический телескоп имени Джеймса Вебба



Космический телескоп имени Джеймса Вебба (США)

Стоимость создания: > \$5 млрд.

Стоимость десятилетней эксплуатации: > \$1 млрд.

Планируется к запуску в 2018 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

Троицкий вариант. N77 26 апреля 2011 г.
Русский репортер, №06 (184) 16 февраля 2011
Физика для школьников № 4, 2011г.

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

