



# ЗАЧЕМ НУЖНА АСТРОНОМИЯ

СЕРГЕЙ ПОПОВ

# СРАВНИМ.....

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



US AIR FORCE / STAFF SGT BENNIE J. DAVIS III

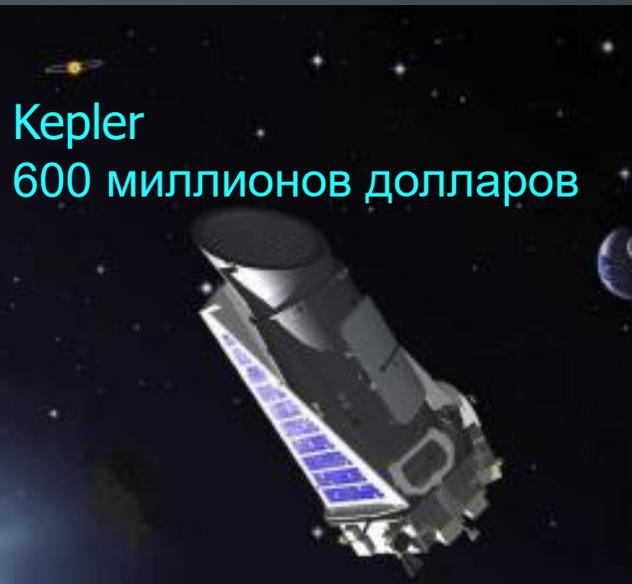
**B-2 Spirit: \$2.4 billion**

◀ 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

# 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???



Дорогой проект –  
это шоссе через джунгли.

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.

# МАСШТАБ ЦЕН



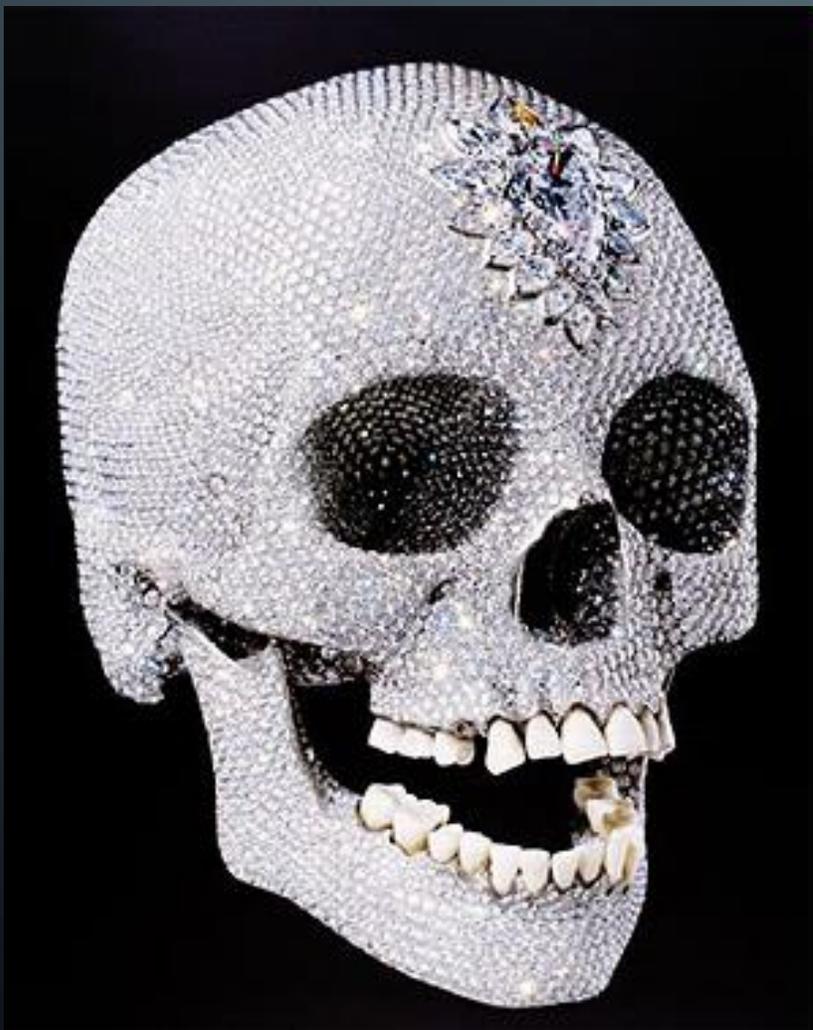
В Decadal Survey принято, что

- 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.

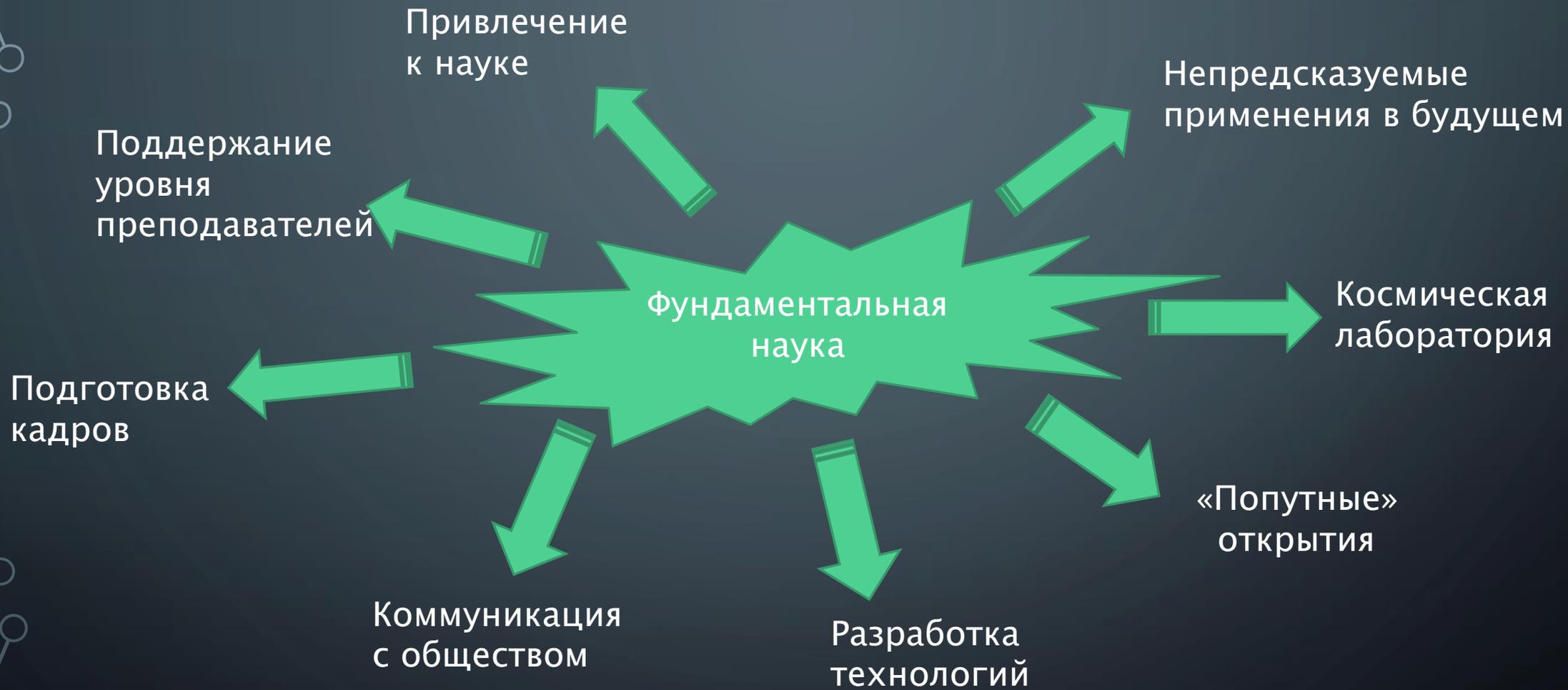
Важен риск отклонения от сроков выполнения  
(например, для очень дорогих проектов  
с большим числом участников из разных стран)

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

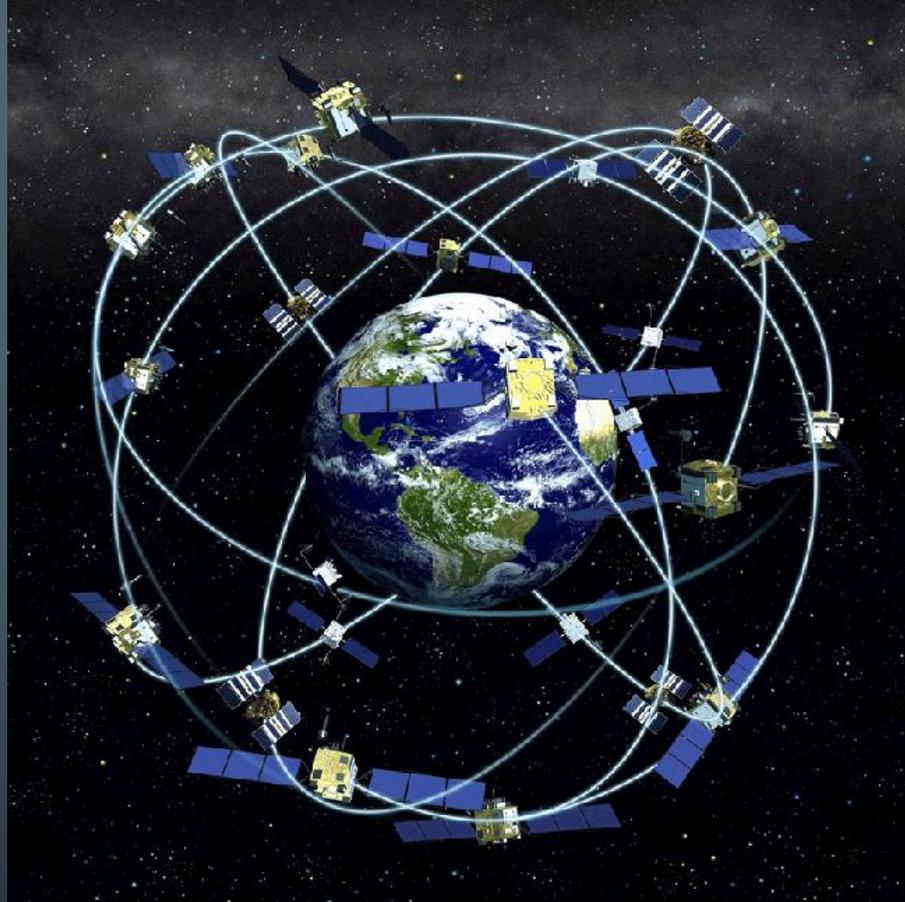
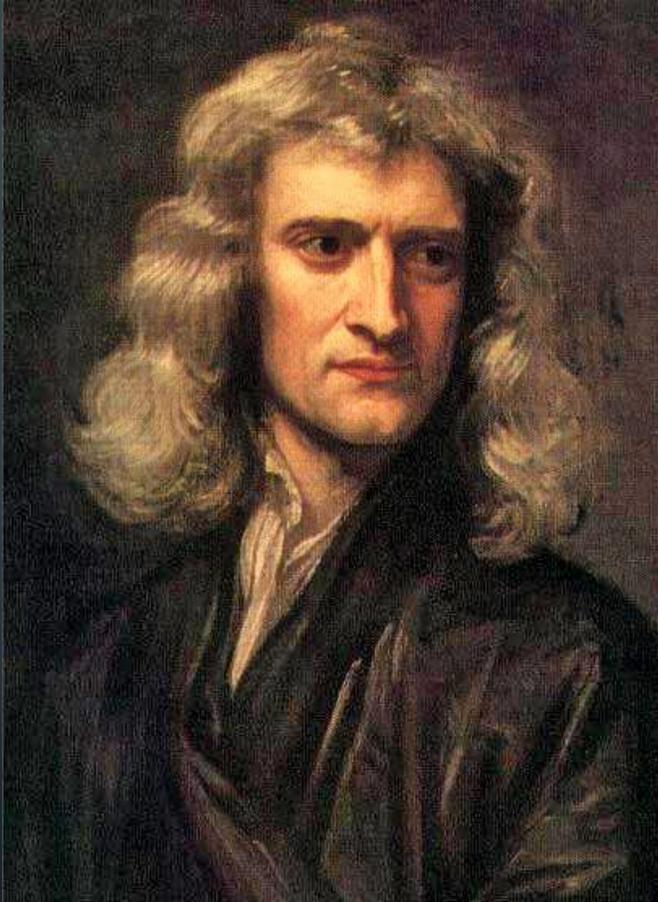
# В ЧЕМ ЦЕЛЬ?

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





# НЕПРЕДСКАЗУЕМЫЕ БУДУЩИЕ ПРИМЕНЕНИЯ



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

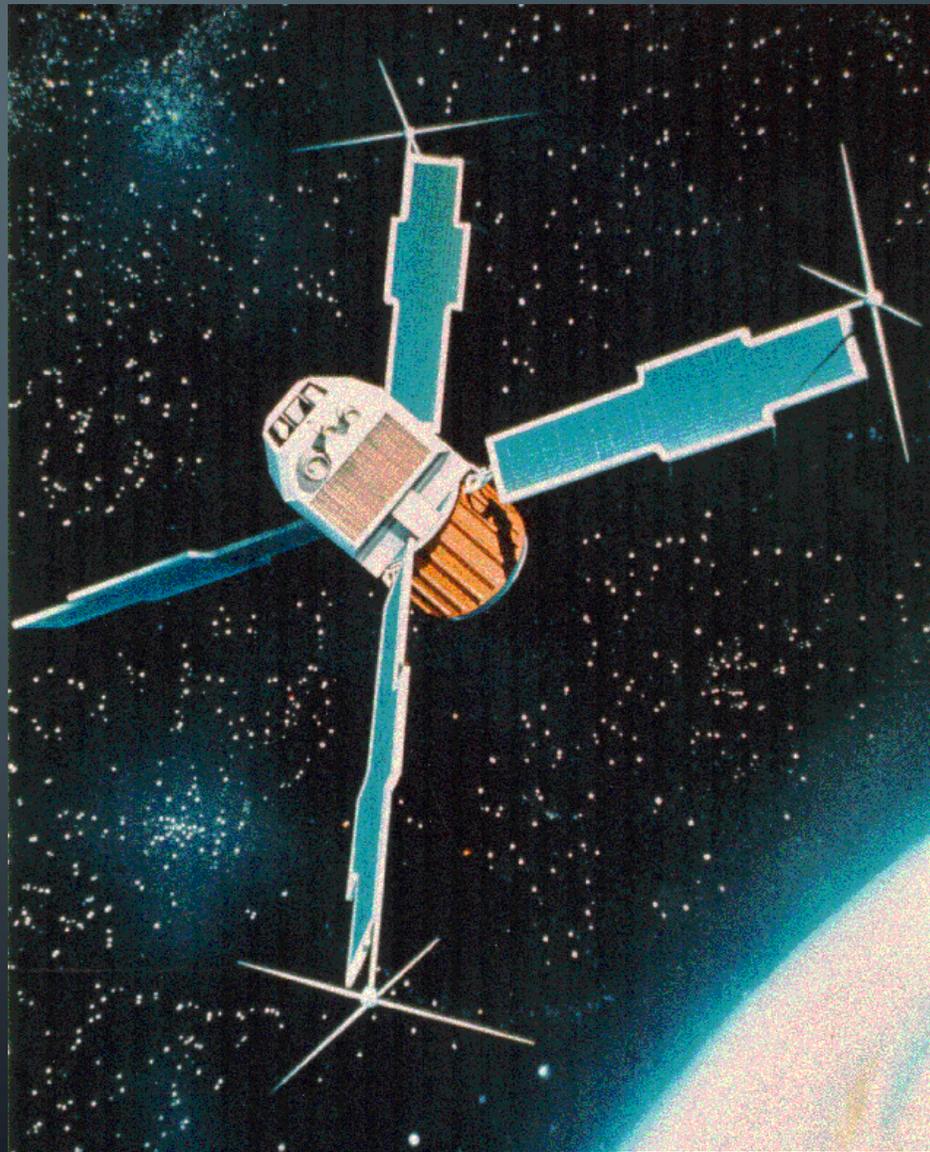
В 17–18 веках было трудно представить, для каких практических нужд понадобятся работы по изучению движения тел Солнечной системы

# 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.



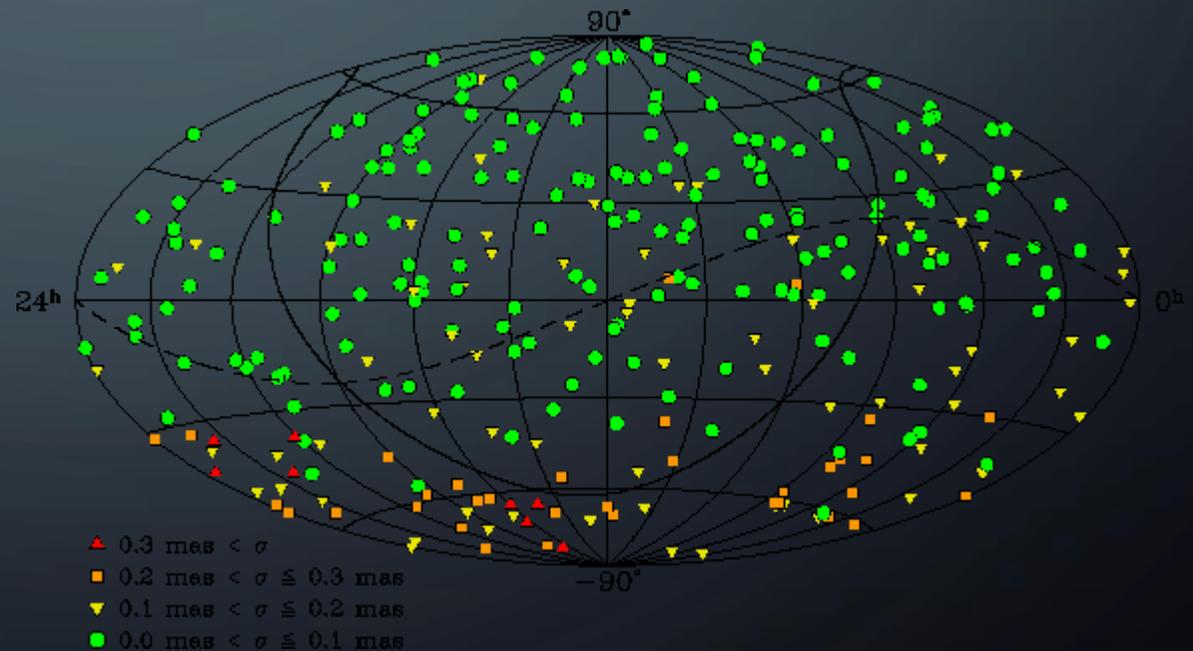
<https://www.cfa.harvard.edu/hea/hm/uhuru.html>

# КВАЗАРЫ

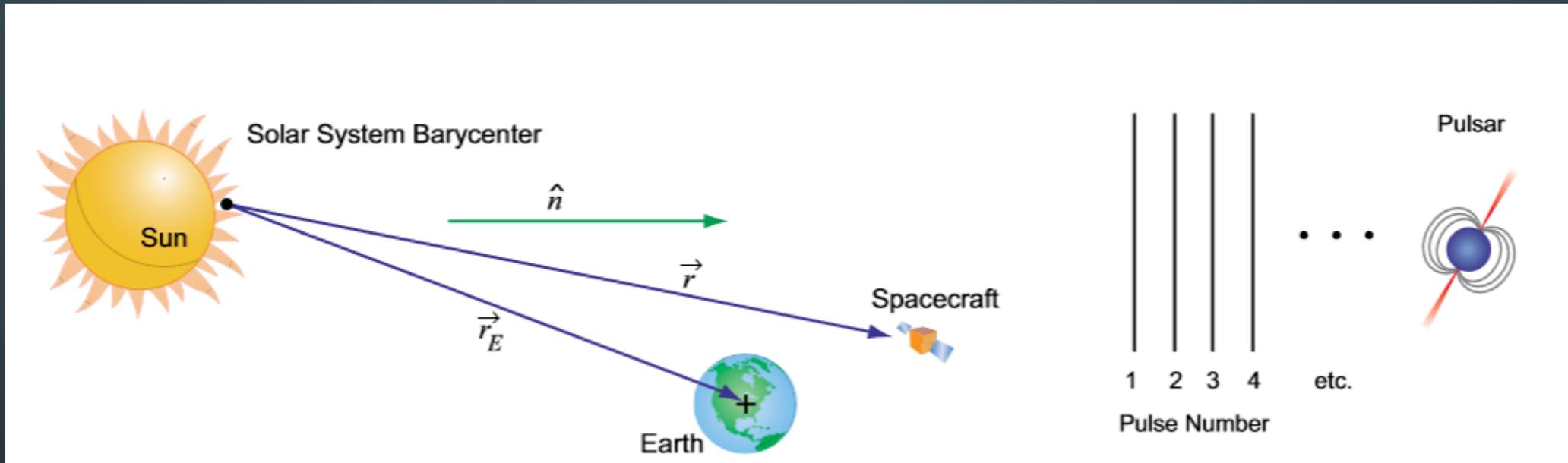
Сейчас основой точнейших каталогов, являющихся базой всех систем ориентации, является примерно три сотни квазаров.

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](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.

Китайское агентство уже запустило первый аппарат для тестирования системы.

# 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

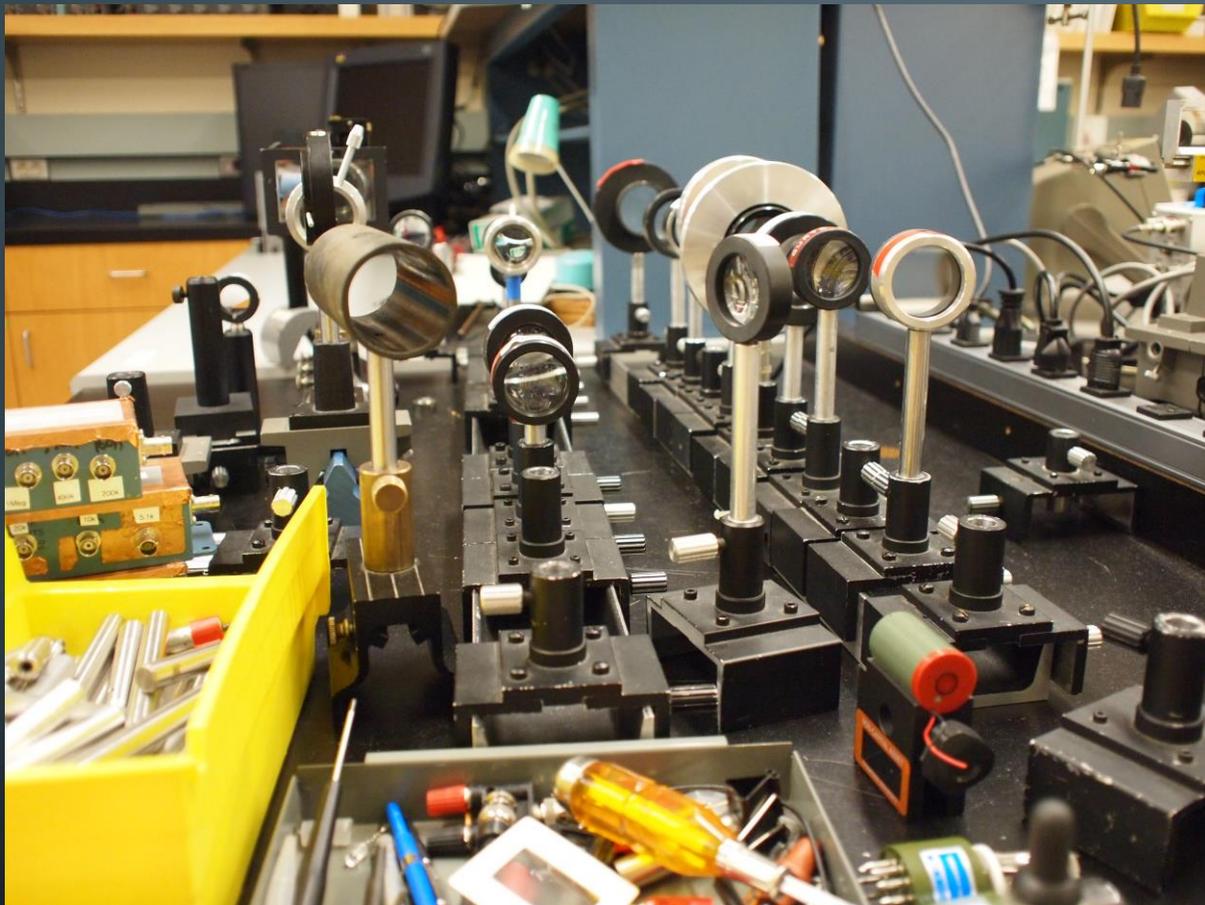
<http://www.ast.cam.ac.uk/>



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

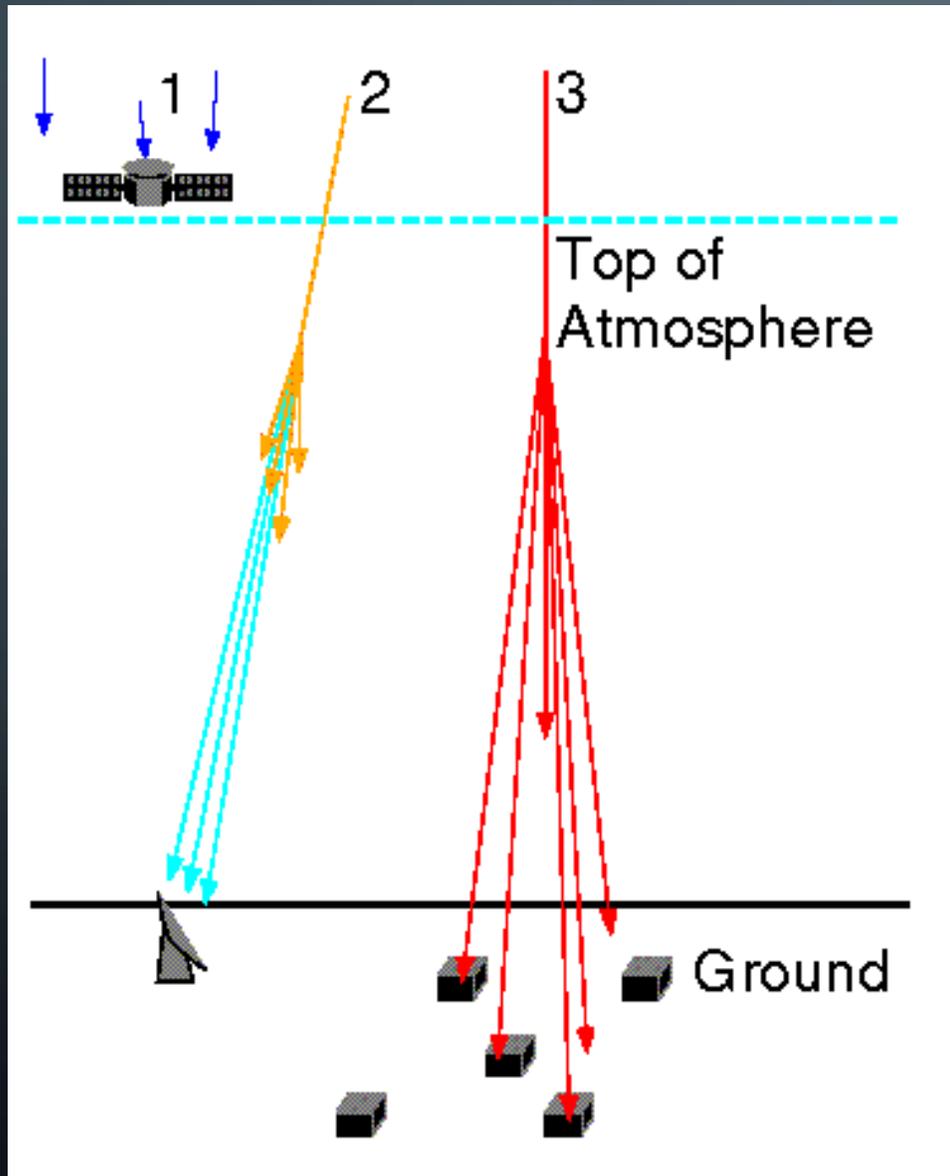
В астрофизических условиях мы в гораздо меньшей степени ограничены по масштабам, энергиям ...



physics.stanford.edu

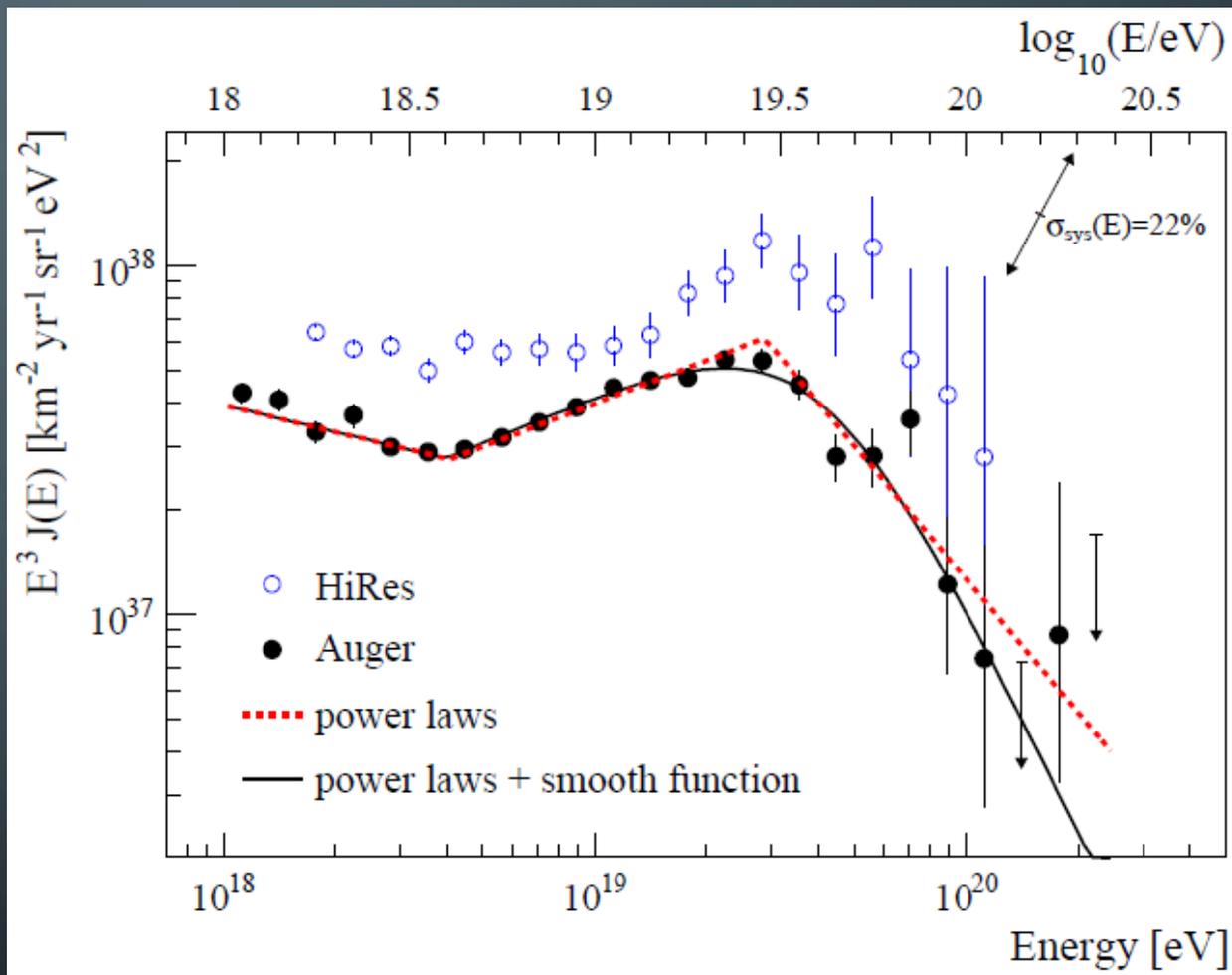
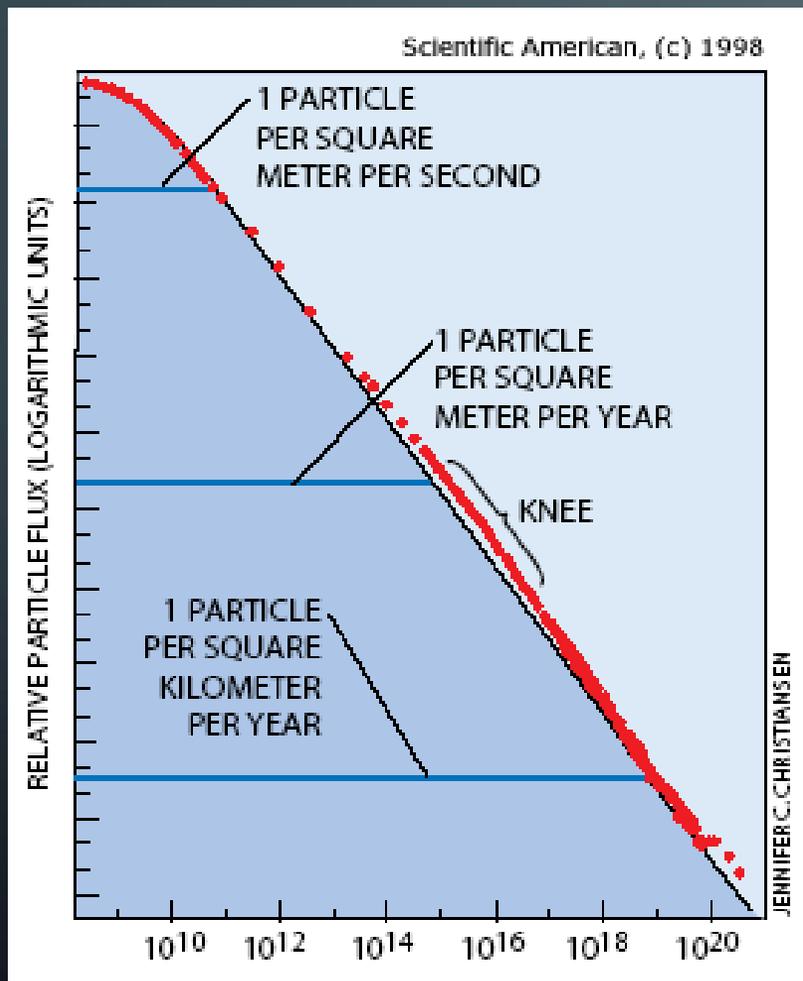
nasa.gov

# РЕГИСТРАЦИЯ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ



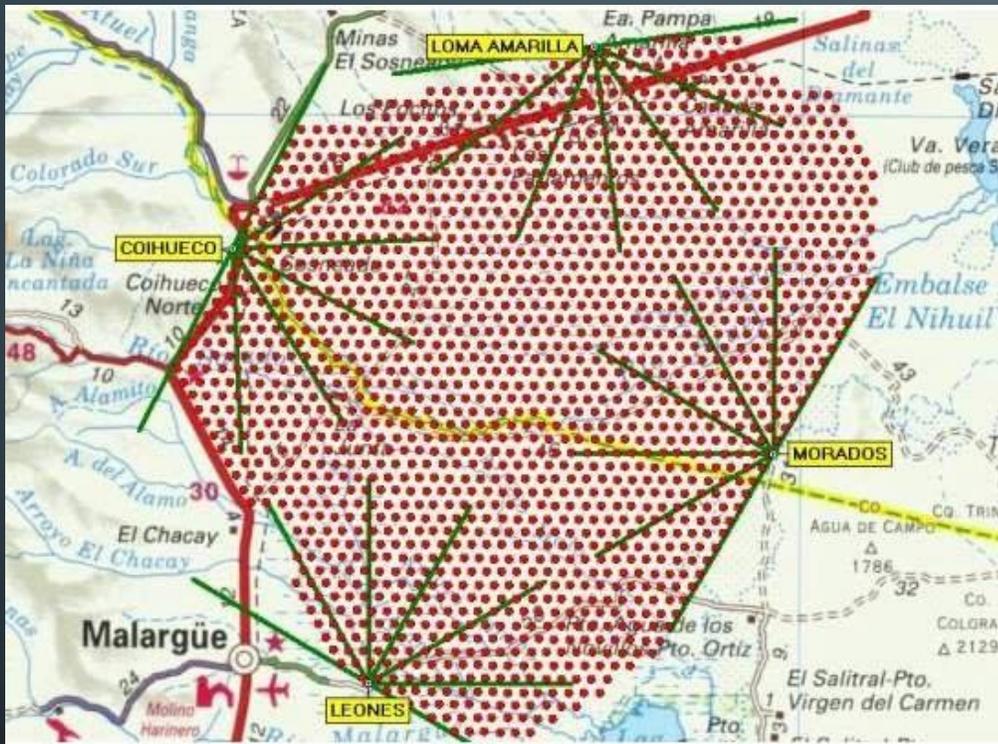
- Можно регистрировать первичные космические лучи над атмосферой на космических аппаратах, или же в самой верхней атмосфере на баллонах
- Можно регистрировать оптическое излучение, возникающее при взаимодействии первичных частиц с атмосферой
- Наконец, можно регистрировать сами вторичные частицы наземными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

# КОСМИЧЕСКИЕ ЛУЧИ САМЫХ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ



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

# ОБСЕРВАТОРИЯ ИМЕНИ ОЖЕ



Более 1000 наземных детекторов.  
Плюс 24 телескопа.



Обсерватория  
им. Пьера Оже

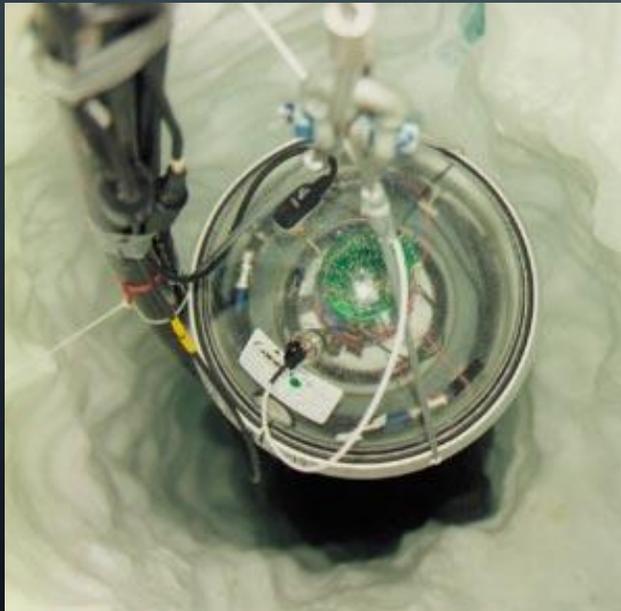
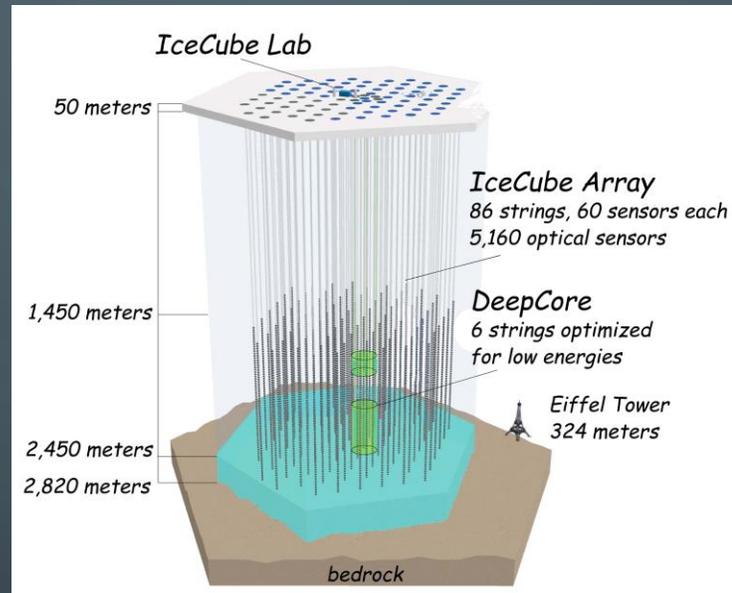
# КОСМИЧЕСКИЕ ПРОЕКТЫ



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

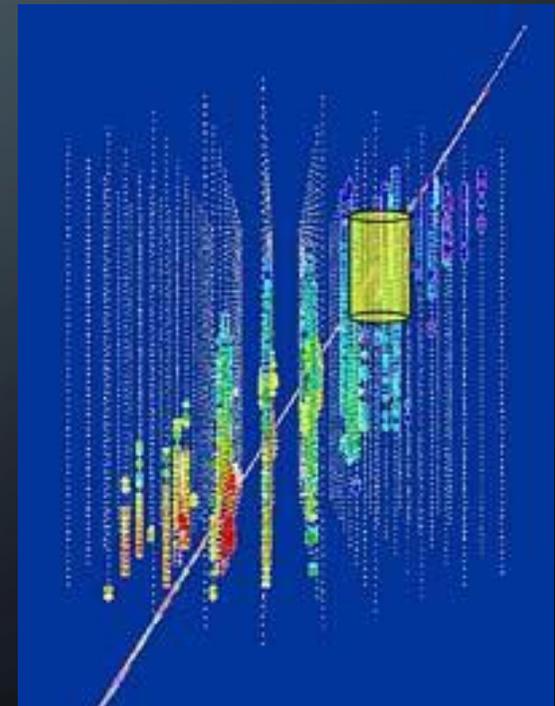
Задача: изучение редких частиц очень высоких энергий.

# НАБЛЮДЕНИЯ НЕЙТРИНО

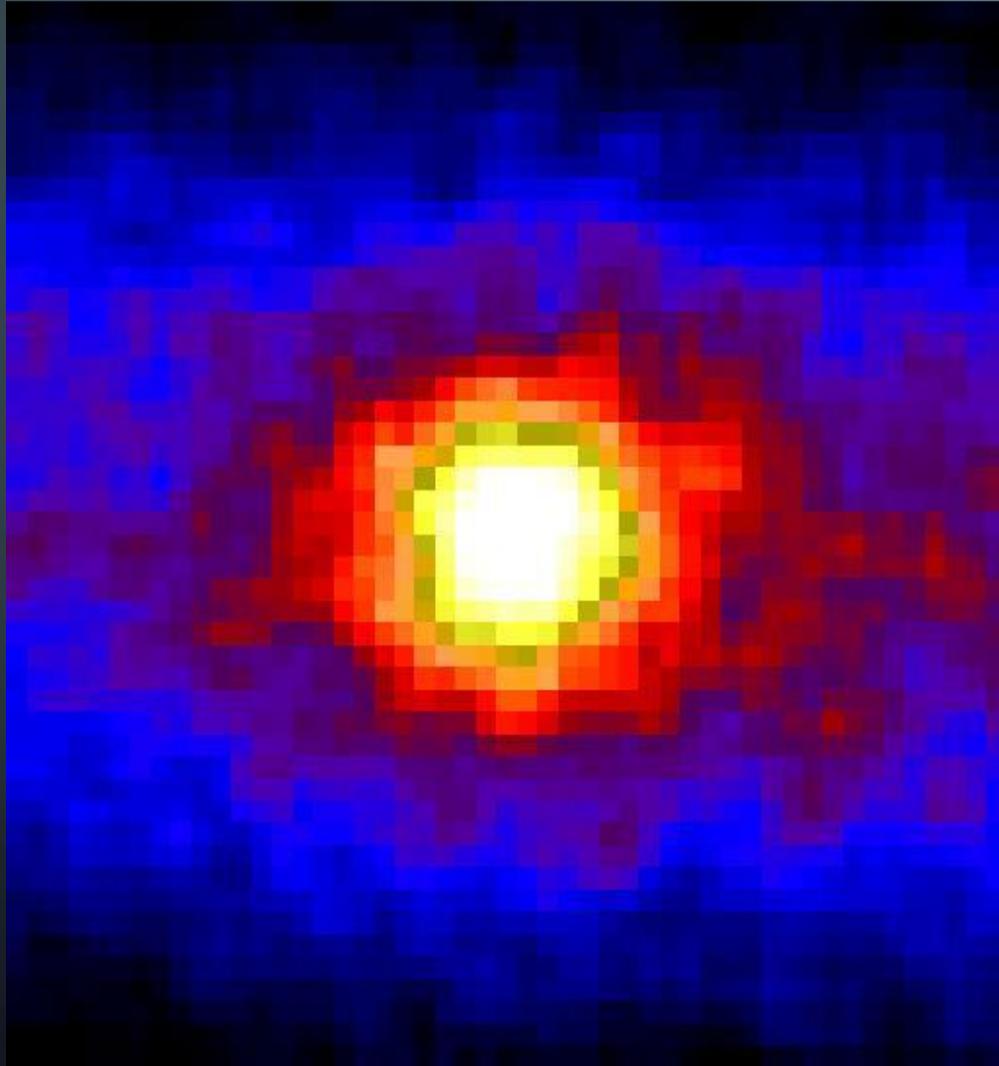


Эксперимент AMANDA  
в Антарктиде.

Кубический километр  
IceCube



# НЕЙТРИННАЯ АСТРОФИЗИКА

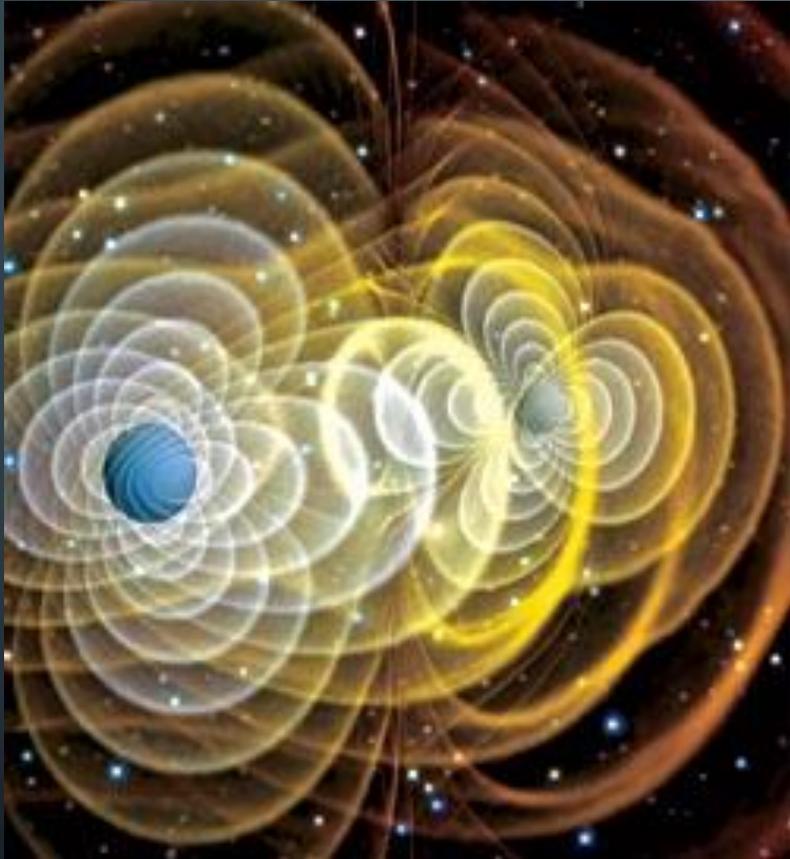


Нейтрино от Солнца



Нейтрино от взрывов сверхновых

# ГРАВИТАЦИОННЫЕ ВОЛНЫ



Предсказаны Общей теорией относительности.

Возникают при слиянии нейтронных звезд и черных дыр.

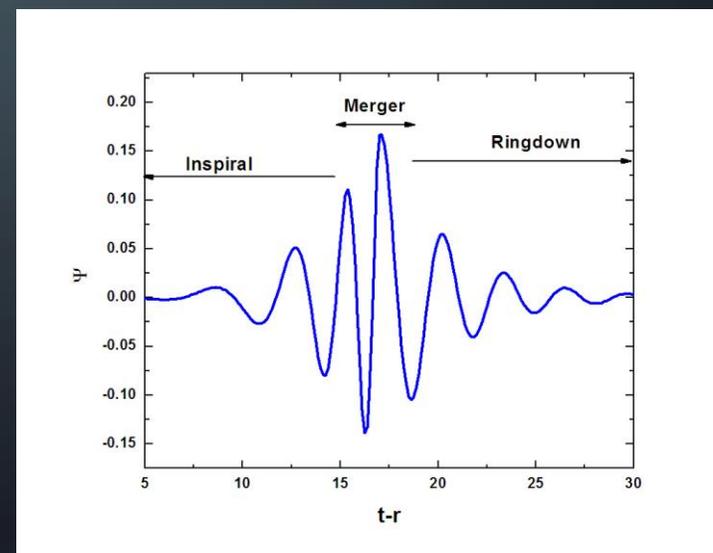
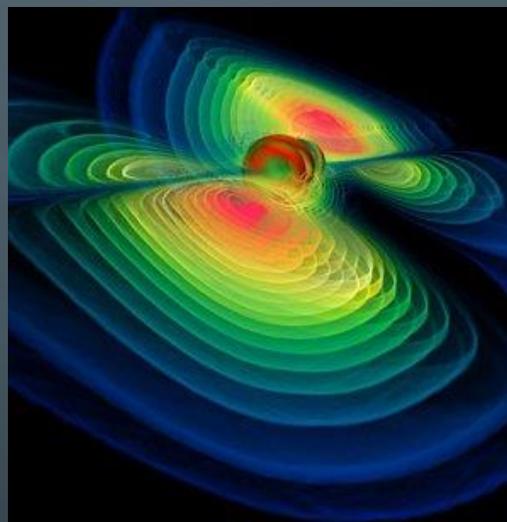
А также при вращении нейтронных звезд и при эволюции тесных двойных звезд.



# КАК УВИДЕТЬ ГОРИЗОНТ?

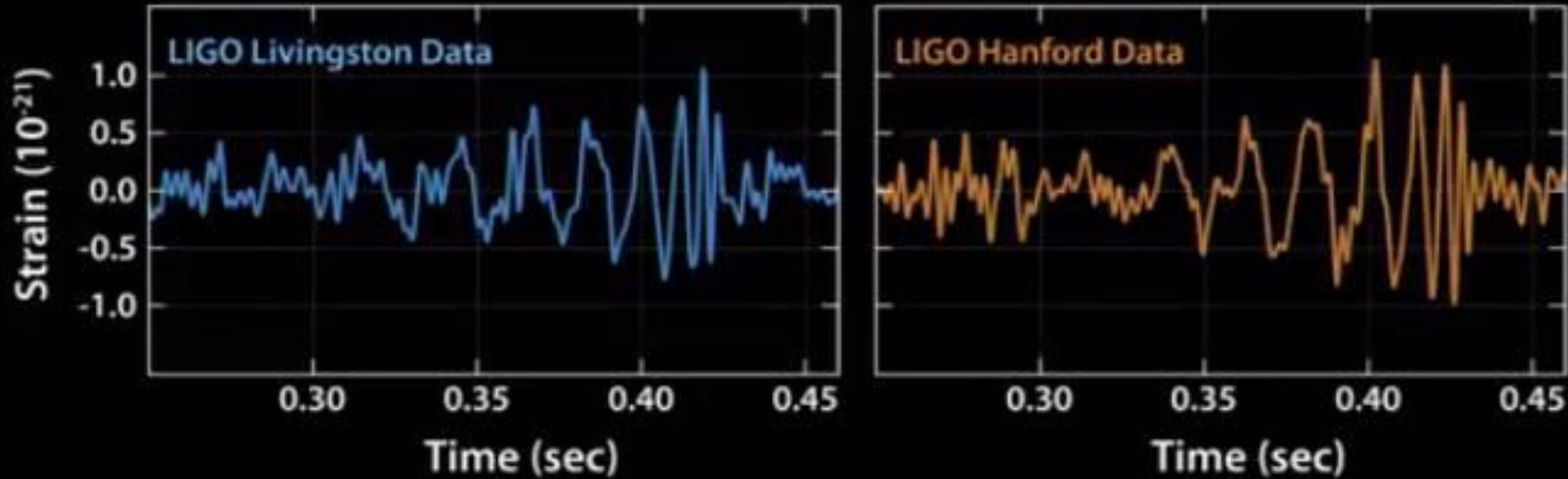


Детектор LIGO



Слияние черных дыр

# GW150914



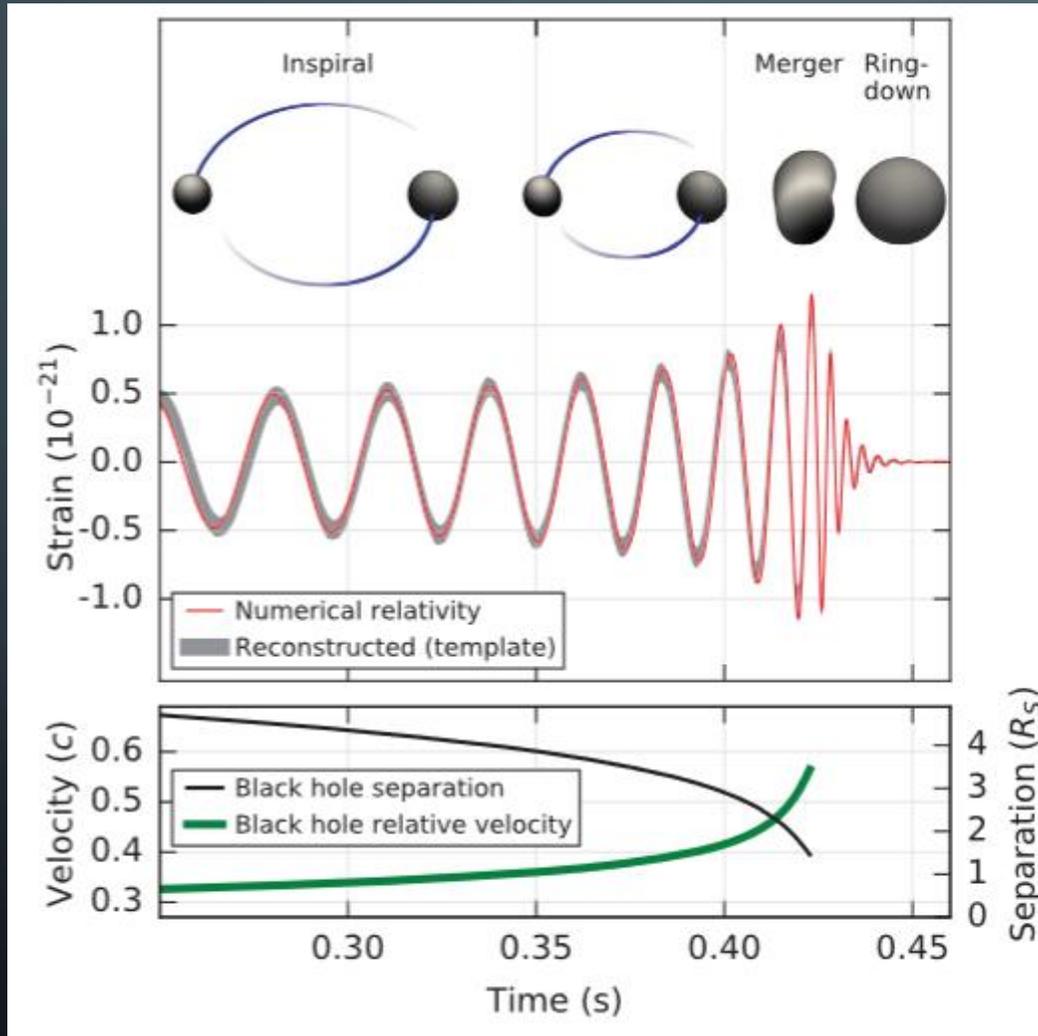
<http://www.ligo.org>

Официальное объявление 11 февраля 2016 года.

За 16 дней совместных наблюдений двух детекторов  
надежно обнаружено одно событие – слияние двух черных дыр в  $>400$  Мпк от нас.

# СЛИЯНИЕ ДВУХ ЧЕРНЫХ ДЫР

<http://journals.aps.org/prl/pdf/10.1103/PhysRevLett.116.061102>



В течение многих лет несколько групп ученых занимались расчетами форм ожидаемых сигналов от слияний нейтронных звезд и черных дыр.

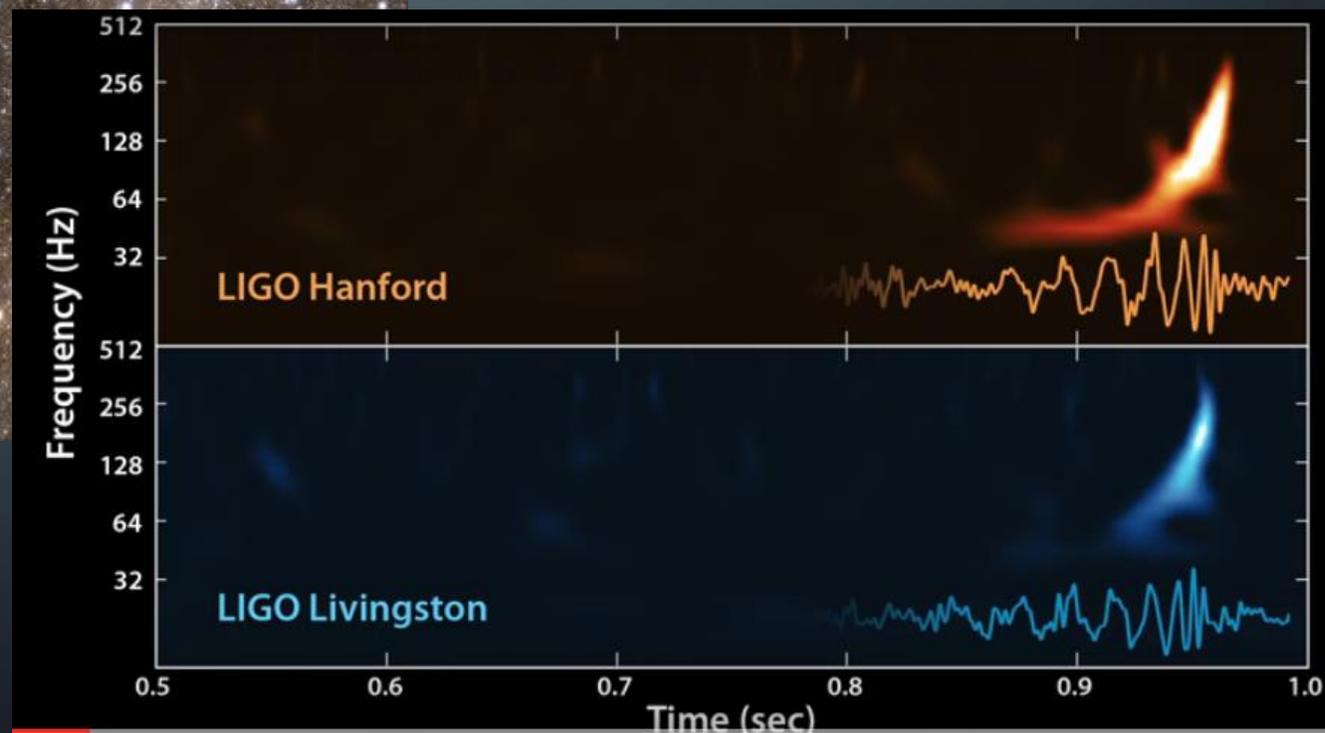
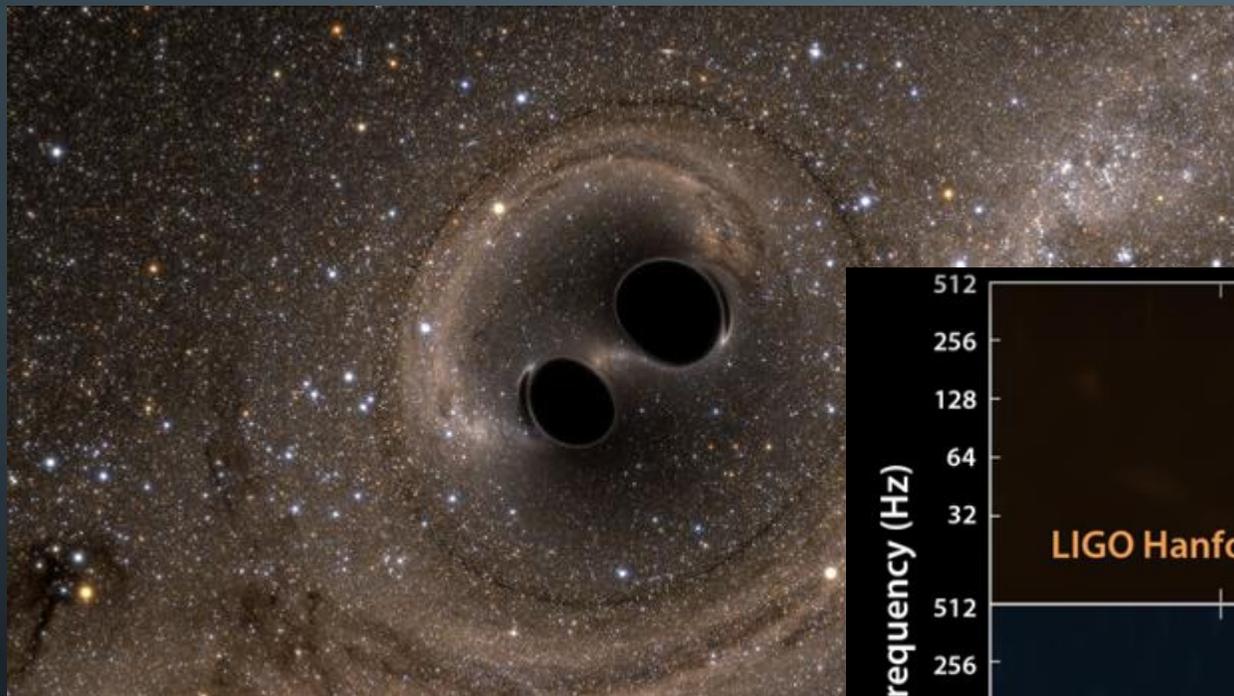
Для нейтронных звезд это сложно, т.к. мы недостаточно точно знаем EoS. Для черных дыр – потому что ОТО плохо поддается прямым численным расчетам.

Тем не менее, удалось достаточно хорошо рассчитать формы сигналов, что критично для распознавания слабых всплесков на фоне шумов.

Для поиска на LIGO используется около 250000 рассчитанных форм слияний.

# СВЕТИМОСТЬ И ЭНЕРГОВЫДЕЛЕНИЕ

Примерно три массы Солнца перешло в энергию гравитационных волн.  
Максимальная светимость достигла  $3.6 \times 10^{56}$  эрг/с, т.е.  $10^{23}$  светимостей Солнца.



# МОЩНОСТЬ

100 000 000 000 000 000 000 000 000 светимостей Солнца.

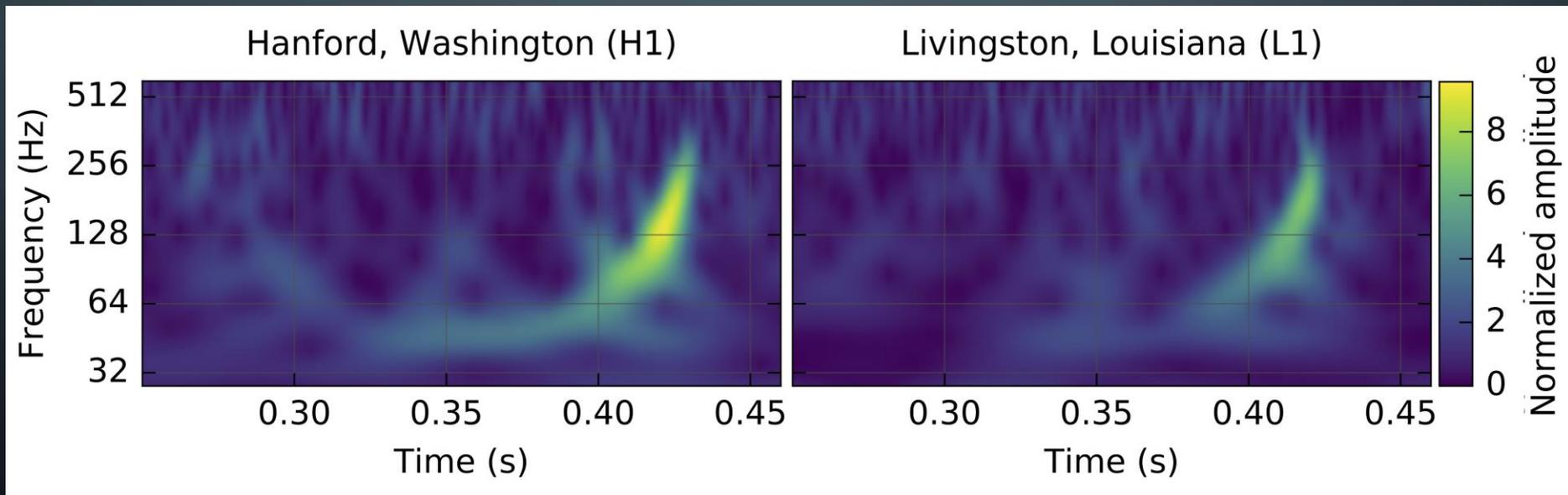
Число волос на голове 100 000

Число людей на Земле 10 000 000 000

Число звезд в Галактике 100 000 000 000

Число галактик в видимой части вселенной 100 000 000 000

Число звезд во вселенной 100 000 000 000 000 000 000 000



# ЧТО НАМ ДАЕТ ЭТОТ РЕЗУЛЬТАТ?

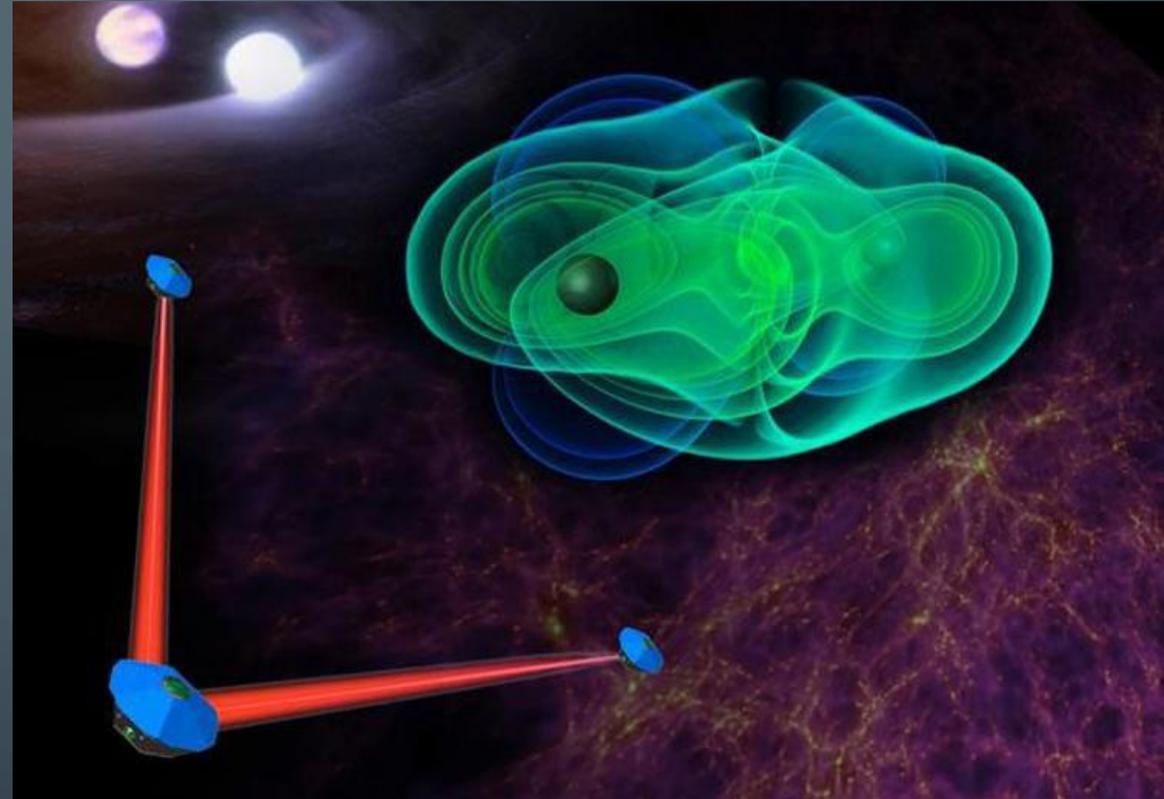
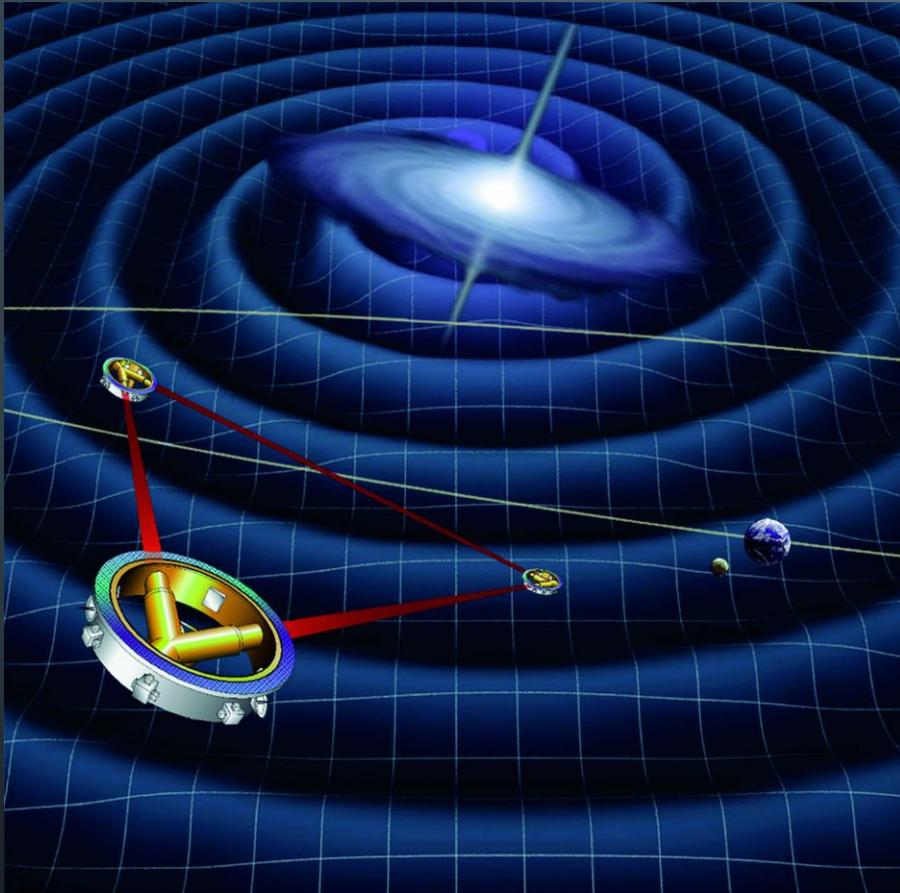
- Подтверждение важнейшего предсказания ОТО
- Новый способ изучения черных дыр
- Новый способ изучения нейтронных звезд
- Проверки теорий гравитации (скорость распространения и тп.)
- Новый данные по эволюции двойных систем



Ligo.org

Начинается эра гравитационно-волновой астрономии!

# КОСМИЧЕСКИЙ ПРОЕКТ LISA



[www.elisascience.org](http://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.

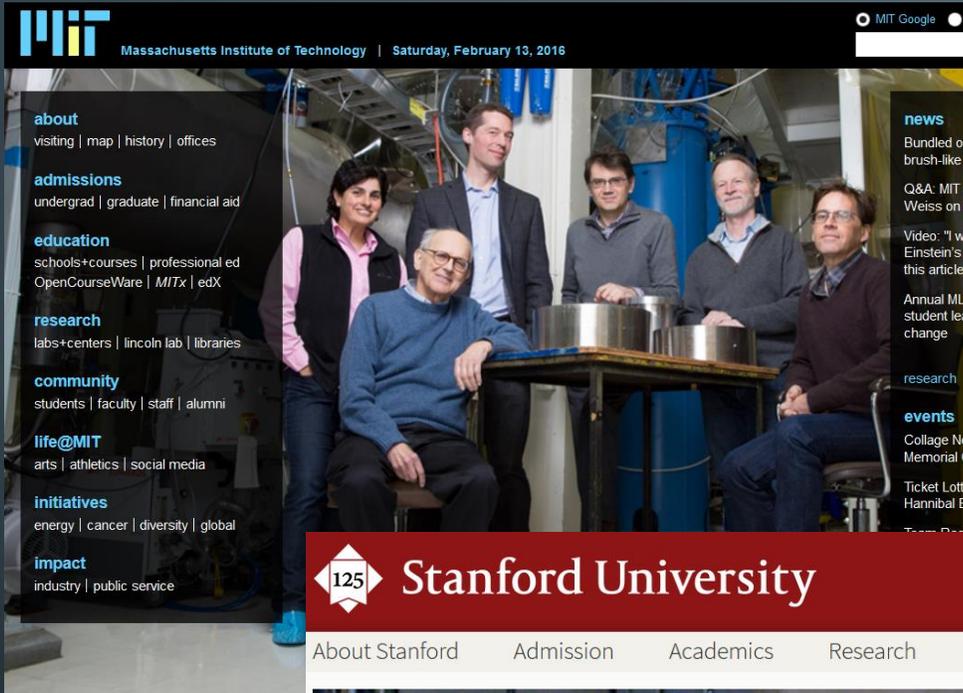
# РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЙ

[http://jwst.nasa.gov/images\\_mirror50.html](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. >

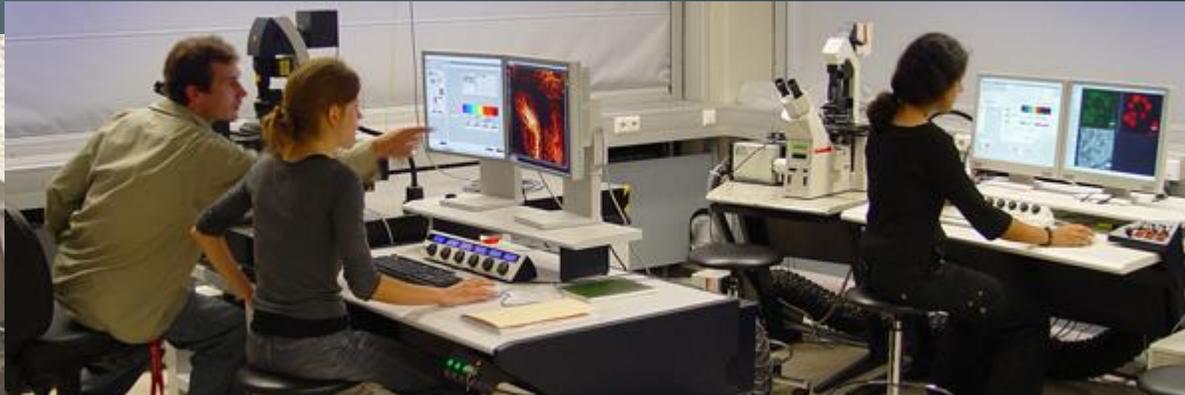


Looking for gravitational waves

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

# ПОДГОТОВКА КАДРОВ

[mpi-magdeburg.mpg.de](http://mpi-magdeburg.mpg.de)



[geosociety.wordpress.com](http://geosociety.wordpress.com)

[mpibpc.mpg.de](http://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.

