

Астрофизическое оборудование

От древности и до наших дней

Емельянов Эдуард Владимирович

Специальная астрофизическая обсерватория РАН
Лаборатория обеспечения наблюдений

22 июня 2016 года



- 1 Археoaстрономия
- 2 Историческое время
- 3 Появление телескопов
 - Рефракторы
 - Рефлекторы
- 4 Монтировки телескопов
 - Экваториальная монтировка
 - Альт-азимутальная монтировка
- 5 Астрофизика
 - Фотометрия
 - Спектроскопия
- 6 Наземная астрофизика
 - Большие телескопы
 - Детекторы изображений
- 7 Космическая астрофизика
- 8 Современные направления
 - Активная оптика
 - Спекл-интерферометрия
 - Адаптивная оптика
 - Lucky-imaging, Superresolution



Археоастрономия

Археоастрономия — наука, сформировавшаяся во второй половине XX века, предметом изучения которой служат астрономические представления людей древности.

- Норман Локьер «Заря астрономии» (1894)
- Термин — 1973, Элизабет Бэйти
- Шанталь Жегес-Волькевич и многие другие



Пещера Ласкó (15-19 тыс. лет назад)



2039-01: Lascaux Cave. Cave painting in the hall of Bulls and paleolithic sky.



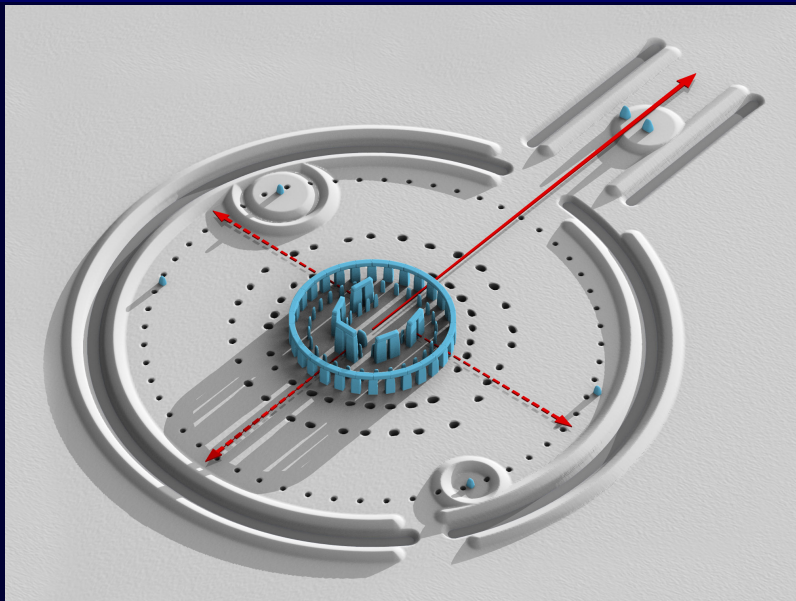
2039-02: Lascaux cave. Unicorn and Capricorn constellation scaled up according to Chantal Jégues-Wolkiewicz's works



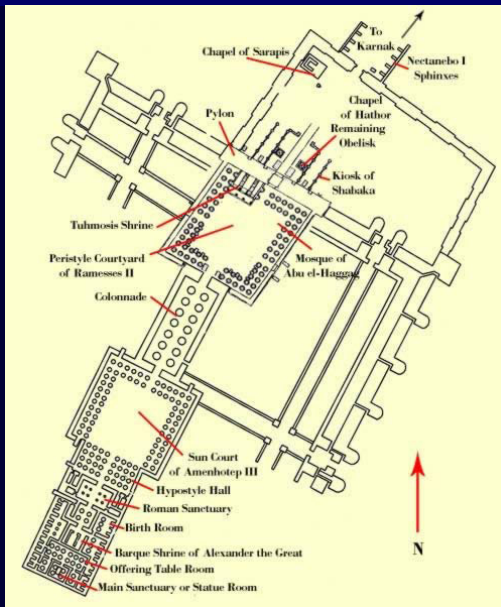
2039-03: Lascaux cave. Auroch set in comparison with the constellation of the Lion according to Chantal Jégues-Wolkiewicz's studies.



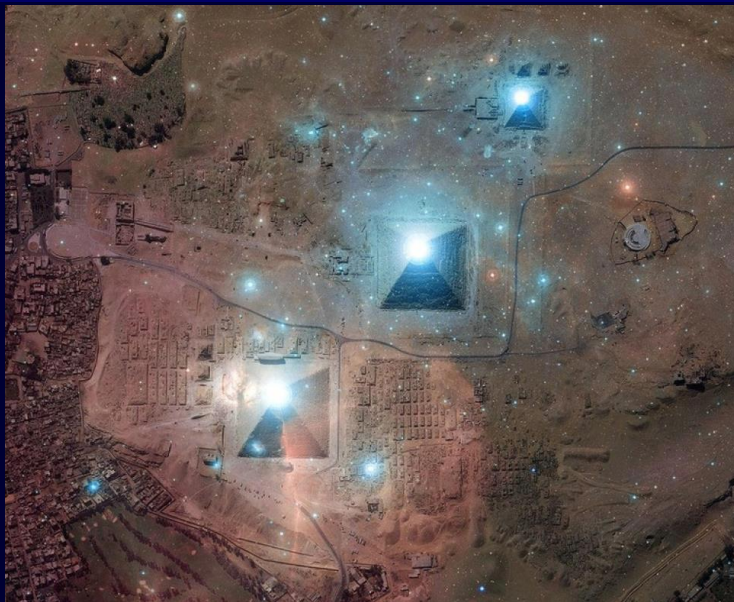
2039-04: Lascaux cave. Auroch drawn over the constellation of the Bull according to Chantal Jégues-Wolkiewicz's studies.



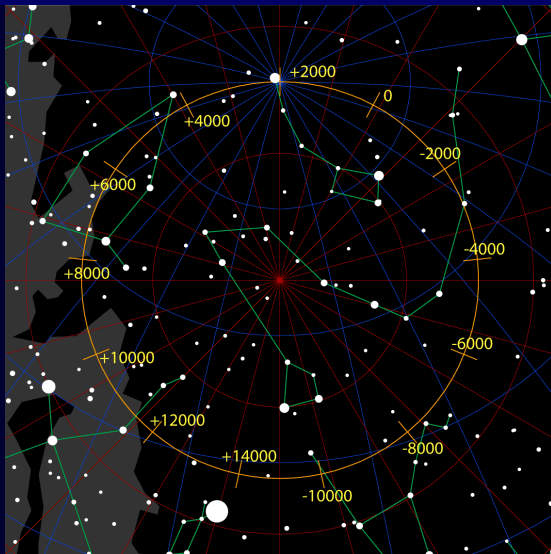
Храмы Луксора и Карнака



Пирамиды Гизы и Орион в 105 в. до н.э.

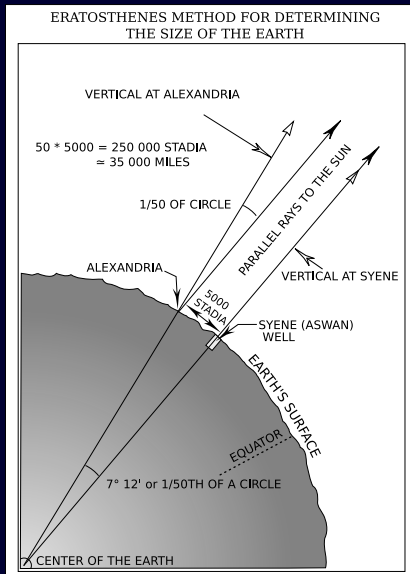


Прецессия ($T = 25800$ лет)



(2000) 365.2422 дня — тропический год, 365.2564 — сидерический год. Сотический цикл — 1460 лет.





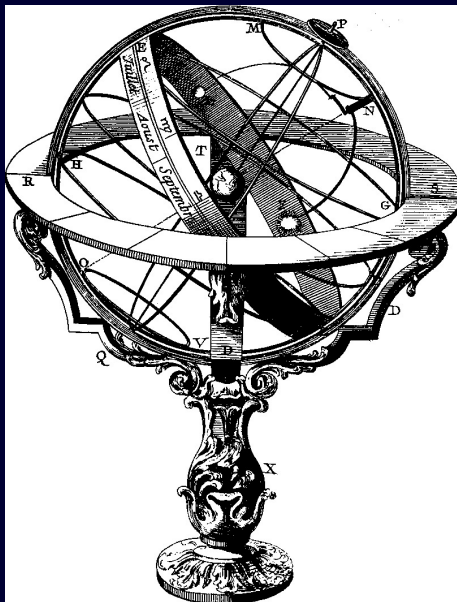
Гнóмон (Анаксимандр Милетский, 6в до н.э.)



Обелиск площади св. Петра в Ватикане как гномон.



Армиллярная сфера (Эратосфен?)



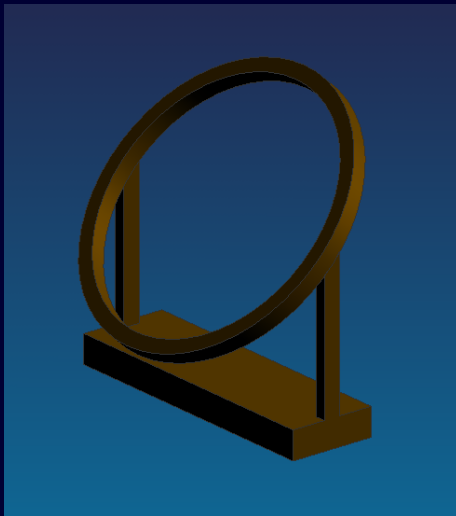
Антикитерский механизм





Экваториальное кольцо (Гиппарх)

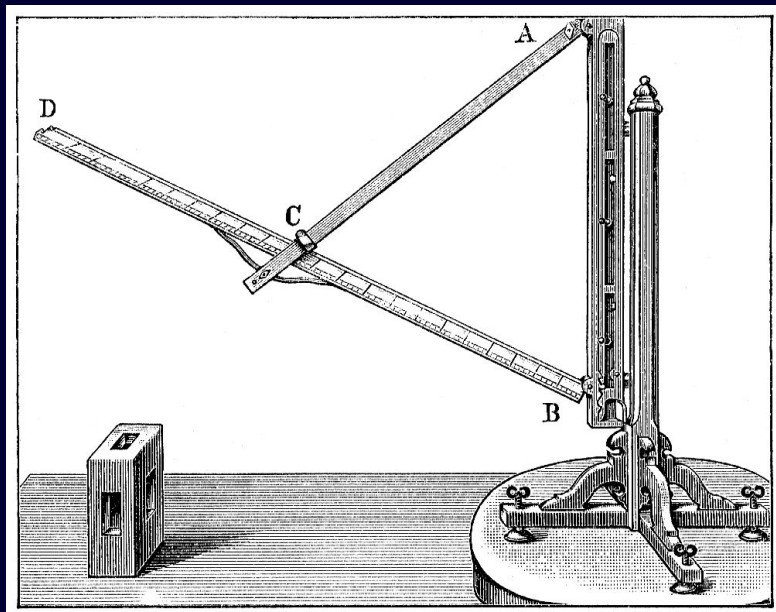
Открытие предварений равноденствий (Аристарх Самосский?). 1° в столетие (реально – за 72 года). Звездный каталог. Звездные величины.



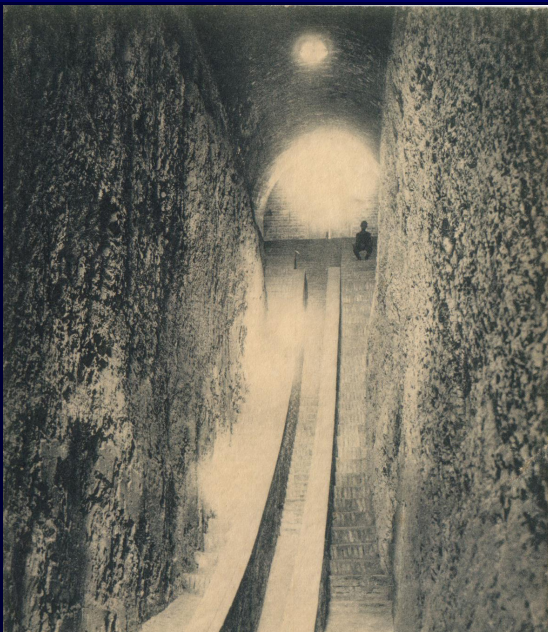
Астролябия

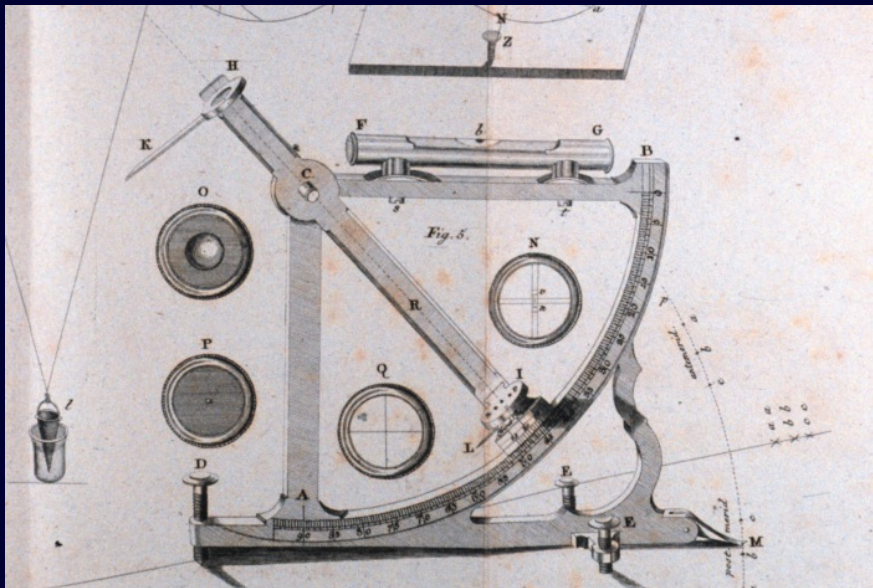


Триквётрум

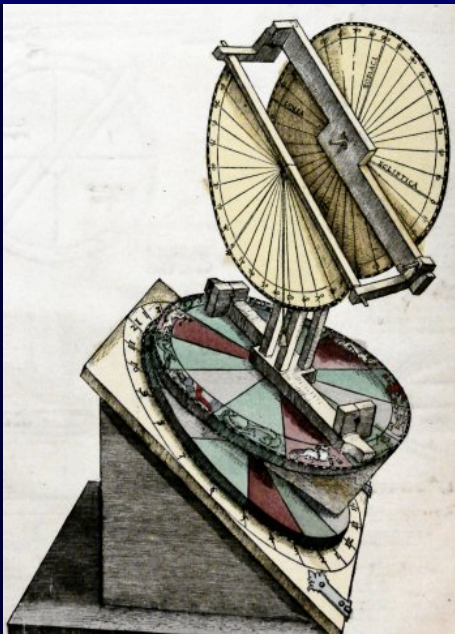


Квадрант, секстант





Торквѣтум



«Послы» Ганса Гольбейна Младшего (1533)



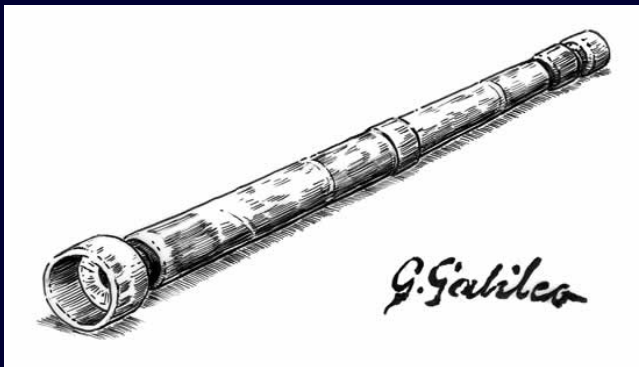
Предметы

- звездный глобус
- местные солнечные часы
- универсальные морские часы
- квадрант
- многогранные часы
- торкветум
- глобус
- арифметика Петра Апиана
- лютя
- псалмы (ноты)
- анаморфный череп

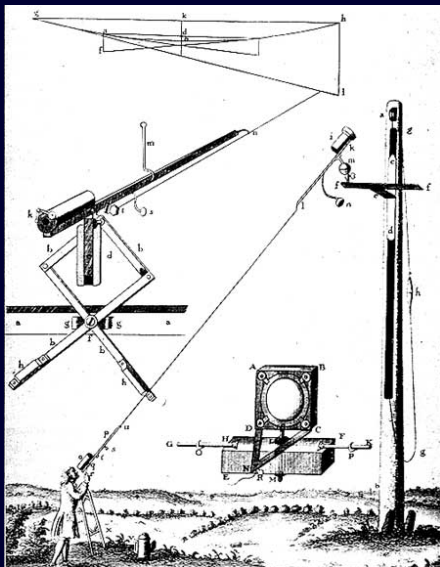


Рефракторы

Рефрактор — оптический телескоп, в котором в качестве объектива выступает линза или система линз. Галилео Галилей, 1609 г.



Христиан Гюйгенс



1655 — кольца Сатурна, Титан;
1657 — маятниковые часы;
1659 — туманность Ориона;
1675 — часовая спираль.



Рефлекторы

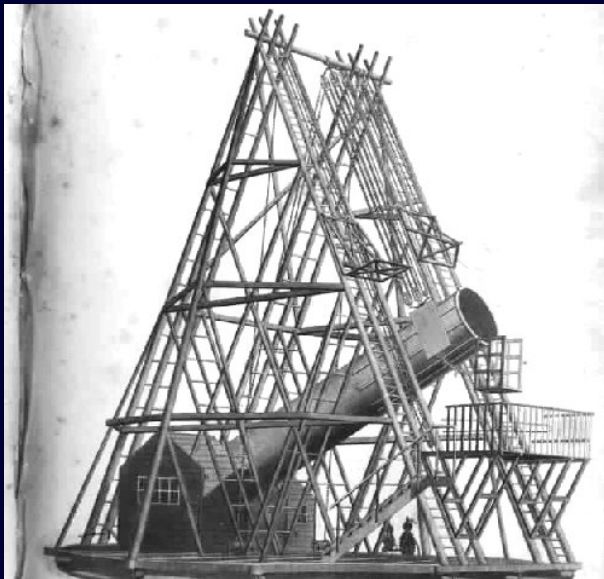


Рефлектор — оптический телескоп, в котором в качестве объектива выступает зеркало. Исаак Ньютон, 1668.

1663 — система Грегори.
1672 — система Кассегрена.
1721 — рефлектор Хэдли на альт-азимутальной монтировке.



Уильям Гершель, 1785



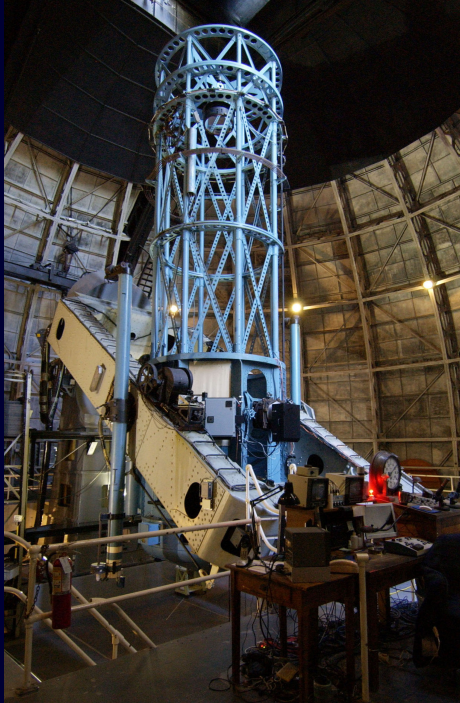
Экваториальная монтировка



1824, Йозеф фон Фраунгофер

Телескоп обсерватории Тарту.
Германская монтировка.
В 1853 г. Юстус фон Либих
предложил метод выделения
металлического серебра из
раствора нитрата серебра для
алюминирования стекла. В
1856-57 гг. Карл Август фон
Штайнхейль и Леон Фуко
(независимо) впервые
использовали этот метод.





Телескоп Хукера

100 дюймов, 1917 г.

Английская монтировка «с ярмом». Обсерватория Маунт Вилсон. Крупнейший до 1949 г.

В 1935 г. серебряное покрытие сменено алюминиевым (Джон Донаван Стронг, калтех, 1932 г.).





Zeiss-1000, Италия

Немецкая монтировка с
фокусом Куде.



Телескоп Хейла

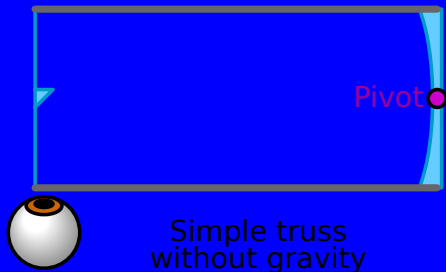
200 дюймов, 1949 г. Прямой фокус, Куде и Несмит.

Первый гидравлический подшипник. Пирексовое зеркало (14.5 тонн). Первая в мире труба Серрюрье.

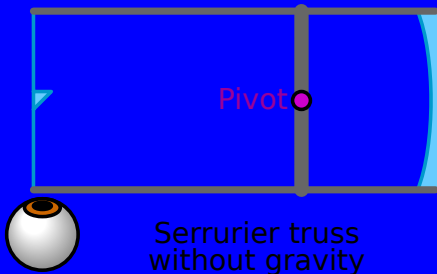
Полярная монтировка «седло».



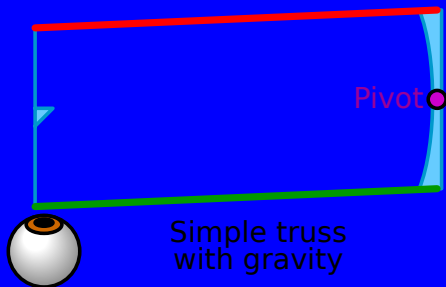
Труба Серрюрье



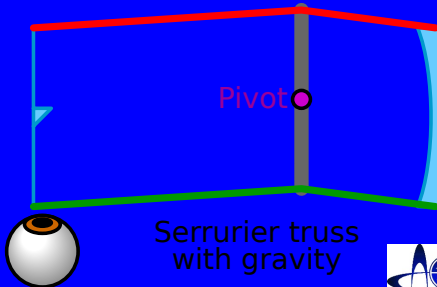
Simple truss
without gravity



Serrurier truss
without gravity



Simple truss
with gravity



Serrurier truss
with gravity



Альт-азимутальная монтировка



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.

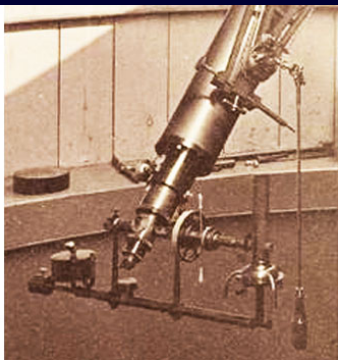
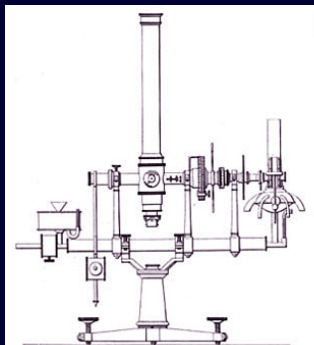
Астрофизика делится на наблюдательную и теоретическую, находящиеся в тесной взаимосвязи.



Фотометрия

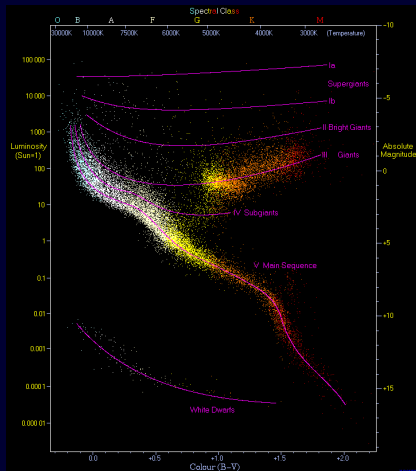
Фотометр Цёлльнера

1861 г. — первый фотометр с эталонным источником. Газовая горелка, призмы Волластона, плоскопараллельная пластинка.



Область применения фотометрии

- Астрометрические задачи.
- Определение светимости объекта.
- Классификация объекта (и предположение о его свойствах).
- Космология: отождествление галактик.
- Определение параметров переменных объектов.
- Поиск крупных экзопланет.
- Измерение расстояний (цефеиды, сверхновые).



Область применения фотометрии

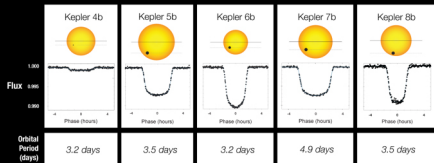
- Астрометрические задачи.
- Определение светимости объекта.
- Классификация объекта (и предположение о его свойствах).
- Космология: отождествление галактик.
- Определение параметров переменных объектов.
- Поиск крупных экзопланет.
- Измерение расстояний (цефеиды, сверхновые).



Область применения фотометрии

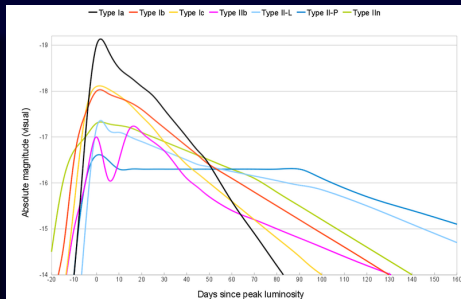
- Астрометрические задачи.
- Определение светимости объекта.
- Классификация объекта (и предположение о его свойствах).
- Космология: отождествление галактик.
- Определение параметров переменных объектов.
- Поиск крупных экзопланет.
- Измерение расстояний (цефеиды, сверхновые).

Transit Light Curves



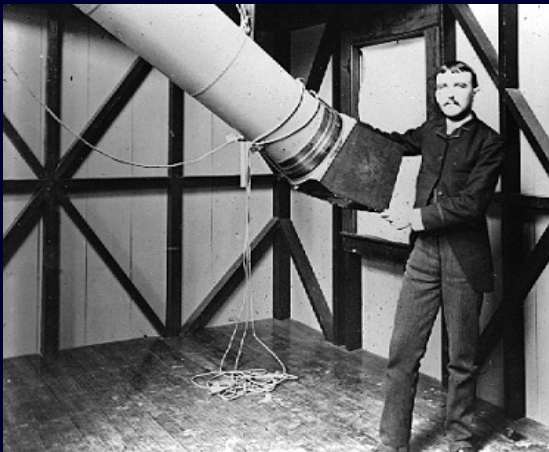
Область применения фотометрии

- Астрометрические задачи.
- Определение светимости объекта.
- Классификация объекта (и предположение о его свойствах).
- Космология: отождествление галактик.
- Определение параметров переменных объектов.
- Поиск крупных экзопланет.
- Измерение расстояний (цефеиды, сверхновые).



Фотография

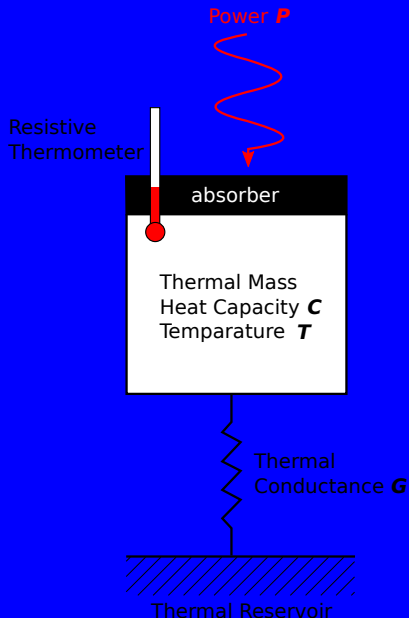
В 1822 г. Нисефор Ньепс изобрел гелиографию. Луи Дагер в 1837 г. разработал дагеротипию. 1840 г Джон Уильям Дрэпер (отец Генри Дрэпера) — первое астрофото Луны.





Эндрю Эйнсли Камэн (Andrew Ainslie Common),
1883 г. — туманность Ориона.





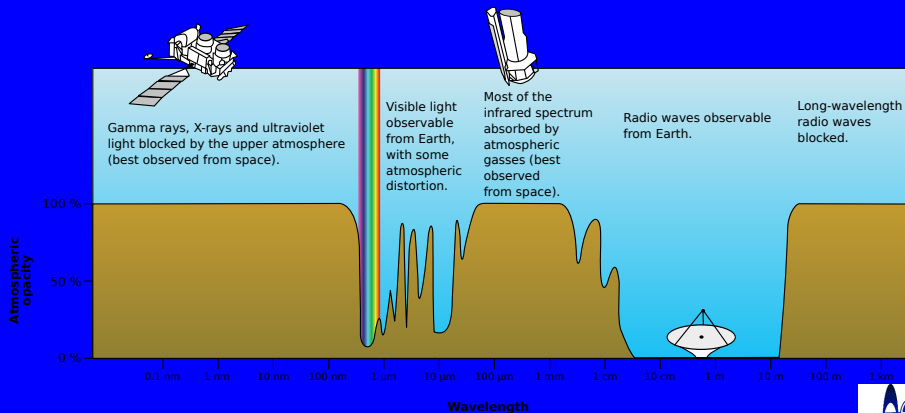
1878 г. Сэмюэль Лэнгли изобрел болометр: две платиновые полоски, зачерненные ламповой сажей, включенные по схеме моста Уитсона и подключенные к чувствительному гальванометру. Болометр Лэнгли чувствовал корову за милю! Расширение диапазона до ИК.



Спектроскопия

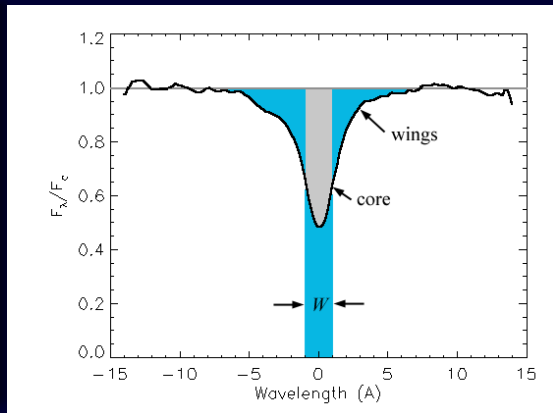
Земная атмосфера

Наземная астрофизика сильно сжата в спектральном диапазоне земной атмосферой.



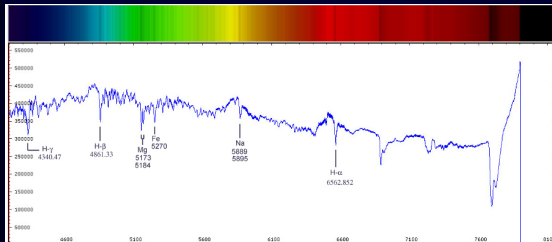
Область применения спектроскопии

- Эквивалентные ширины: скорость вращения, спектрополяриметрия, определение химического состава звезд.
- Строгая спектральная классификация, определение возраста скоплений.
- Определение скорости движения объектов.
- Космология.



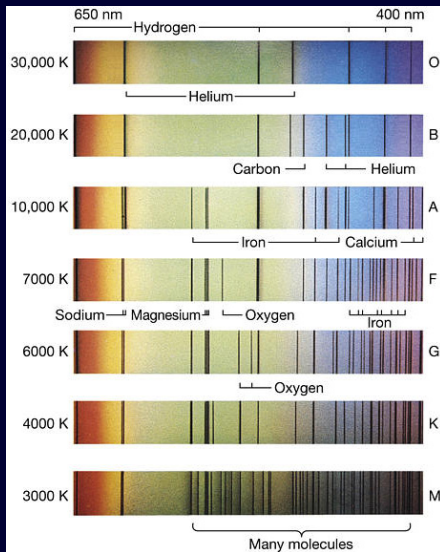
Область применения спектроскопии

- Эквивалентные ширины:
скорость вращения,
спектрополяриметрия,
определение химического
состава звезд.
- Строгая спектральная
классификация,
определение возраста
скоплений.
- Определение скорости
движения объектов.
- Космология.



Область применения спектроскопии

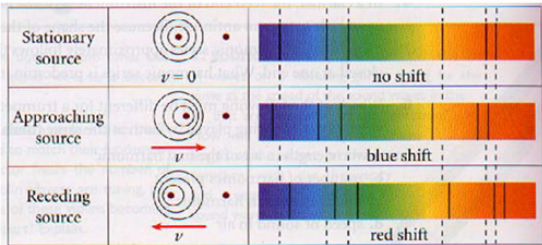
- Эквивалентные ширины: скорость вращения, спектрополяриметрия, определение химического состава звезд.
- Строгая спектральная классификация, определение возраста скоплений.
- Определение скорости движения объектов.
- Космология.



Область применения спектроскопии

- Эквивалентные ширины: скорость вращения, спектрополяриметрия, определение химического состава звезд.
- Строгая спектральная классификация, определение возраста скоплений.
- Определение скорости движения объектов.
- Космология.

Doppler Effect

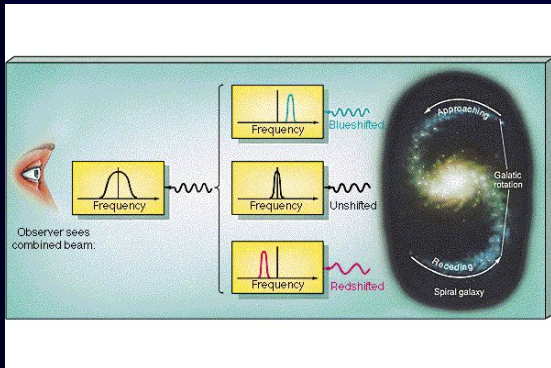


Measuring the relative velocities of stars by the Doppler shift.



Область применения спектроскопии

- Эквивалентные ширины: скорость вращения, спектрополяриметрия, определение химического состава звезд.
- Строгая спектральная классификация, определение возраста скоплений.
- Определение скорости движения объектов.
- Космология.



Йозеф фон Фраунгофер



В 1860 г. Густав Кирхгофф и Роберт Бунзен обнаружили, что многим темным фраунгоферовым линиям соответствуют светлые линии спектров сжигаемых металлов. Кирхгофф объяснил происхождение фраунгоферовых линий поглощением света в атмосфере Солнца.

В 1868 г. Норман Локьер (пионер археоастрономии) и Пьер Жансен обнаружили гелий.

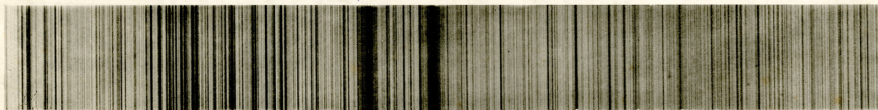
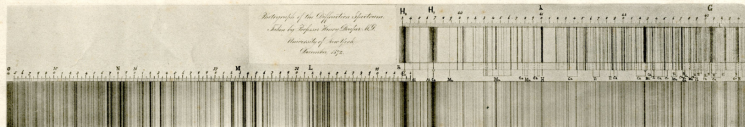
Спектральные наблюдения с использованием призмы проводил еще Исаак Ньютон в 1666–1672 гг., он и предложил термин «спектр».

Применение спектрального анализа к звездам начато работами Анджело Секки (ватиканская обсерватория) и Уильяма Хаггинса (частная обсерватория в Англии) в 1863 г. Секки первым доказал, что Солнце — звезда, первым предложил спектральную классификацию (4 класса).



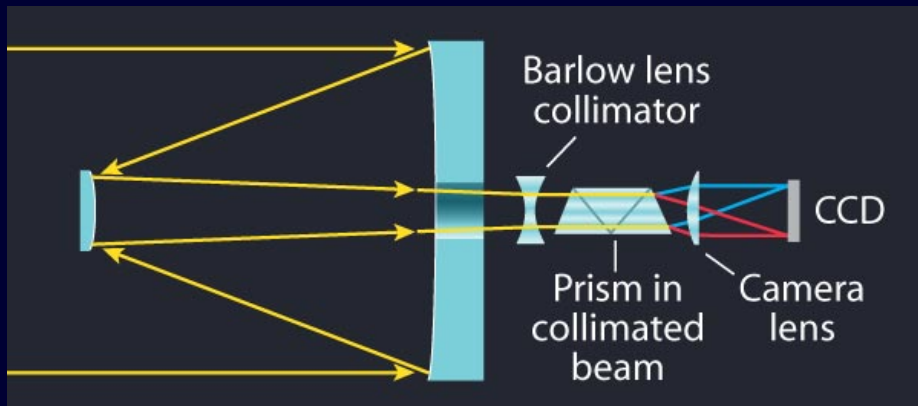
Генри Дрэпер

1872, первый спектр Веги на фотопластинке. С 1918 по 1924 г. вышел каталог HD в честь Дрэпера (изначально 225300 звезд, Эдвард Пикеринг со товарищи, наблюдения в гарвардской обсерватории с объективной призмой).

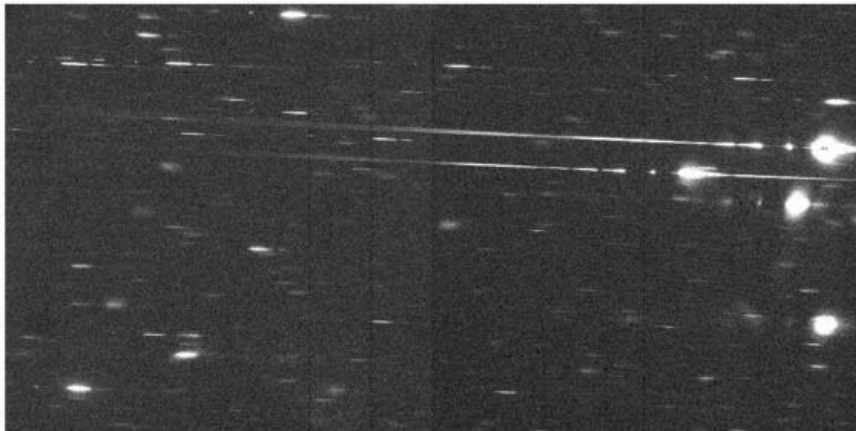


Бесщелевые спектры

Николас Мейол, 1930-е.



Бесщелевые спектры

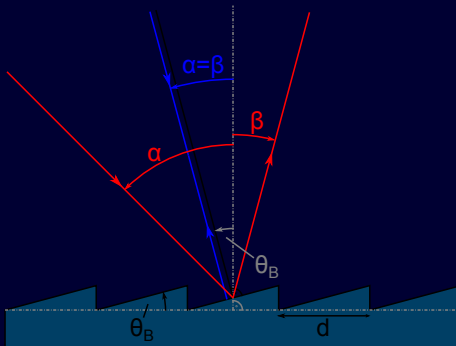


Дифракционная решетка

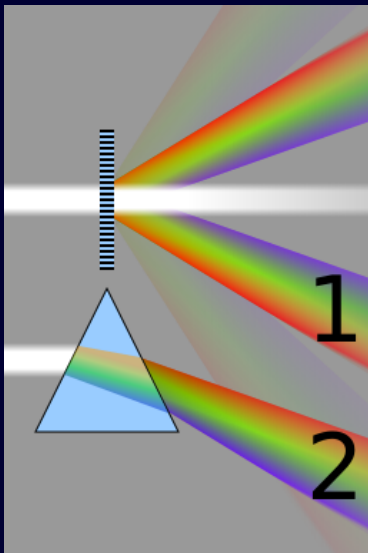
Середина 18 века, Джеймс Грегори — принцип построения дифракционной решетки.

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

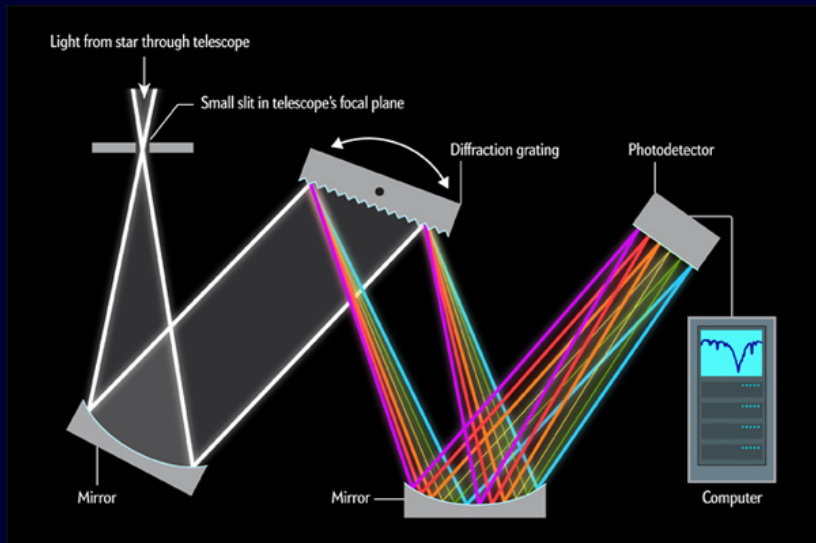
Нарезные решетки. Предел — около 4.7/мм (1899, Генри Джозеф Грейсон).



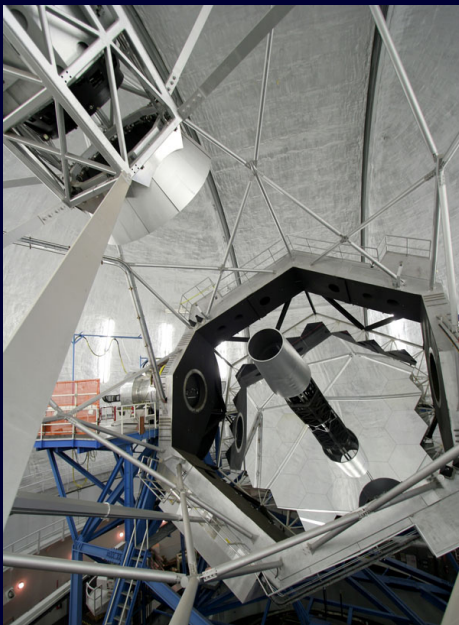
Дифракция и дисперсия



Спектрограф



Большие телескопы

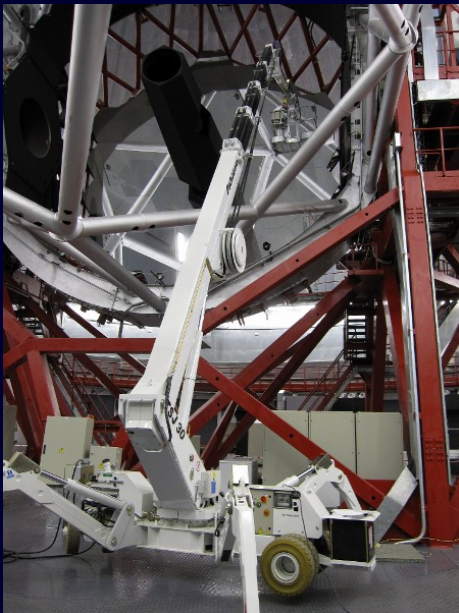


Телескопы Кека

1993 — Кек-1 (Мауна Кеа), 10 м, 36 сегментов из церодура, площадь рабочей поверхности 75.76 м^2 — крупнейшие в мире!



Большие телескопы



Большой Канарский

2007 (2009), ла Пальма, 10.4 м, 36
сегментов из церодура, площадь
рабочей поверхности 74.14 м^2 .



Great Paris Exhibition
Telescope
(lens at the same scale)
Paris, France (1900)

Yerkes Observatory
(40" refractor
lens at the same scale)
Williams Bay,
Wisconsin (1893)

Hooker
(100")
Mt Wilson,
California
(1917)

Hale (200")
Mt Palomar,
California
(1948)



(1979-1998)
Multi Mirror Telescope
Mount Hopkins, Arizona



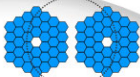
(1999-)
Hale Telescope
Mount Palomar, California



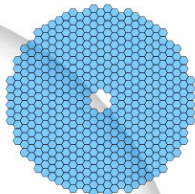
Large Sky Area
Multi-Object Fiber
Spectroscopic
Telescope
Hebei, China
(2009)



Gran Telescopio
Canarias
La Palma,
Canary Islands,
Spain (2007)



Keck Telescope
Mauna Kea, Hawaii
(1993/1996)



Thirty Meter Telescope
Mauna Kea, Hawaii (planned 2022)



Gemini North
Mauna Kea,
Hawaii (1999)



Subaru
Telescope
Mauna Kea,
Hawaii (1999)



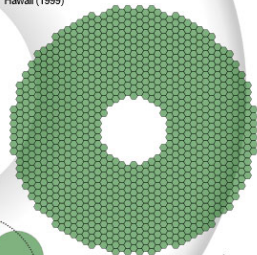
Hobby-Eberly
Telescope
Davis
Mountains,
Texas (1996)



Southern African
Large Telescope
Sutherland,
South Africa
(2005)



Gemini South
Cerro Pachón,
Chile (2000)



European Extremely
Large Telescope
Cerro Armazones,
Chile (planned 2022)



BTA-6 (Large
Altazimuth Telescope)
Zelenchuksky, Russia
(1975)



Large Binocular Telescope
Mount Graham,
Arizona (2005)



Large Synoptic
Survey Telescope
El Peñón, Chile
(planned 2020)



Large Zenith Telescope
British Columbia, Canada
(2003)



Very Large Telescope
Cerro Paranal, Chile
(1998-2000)



Giant Magellan Telescope
Las Campanas Observatory,
Chile (planned 2020)

Gaia
Earth-Sun L2 point
(2014)



James Webb
Space Telescope
Earth-Sun L2 point
(planned 2018)

Kepler
Earth-trailing
solar orbit
(2009)

Hubble Space
Telescope
Low Earth
Orbit
(1990)



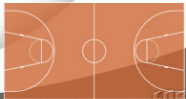
Magellan Telescopes
Las Campanas,
Chile (2000/2002)



Tennis court at the same scale

Overwhelmingly Large Telescope
(cancelled)

Arecibo radio telescope at the same scale



Basketball court at the same scale

Human
at the
same scale

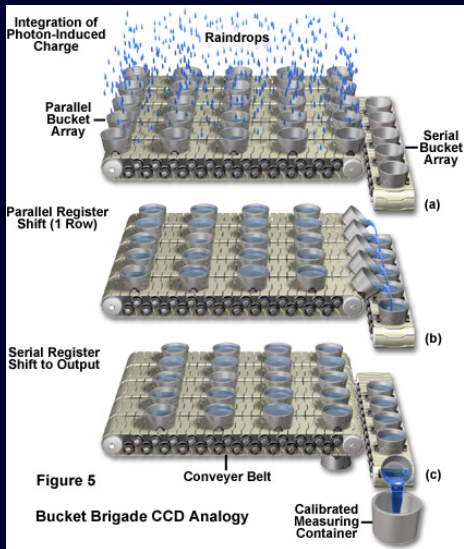


Зачем такие большие?

Задачи, требующие построения гигантских телескопов

- происхождение Вселенной;
- механизмы образования и эволюции звезд, галактик и планетных систем;
- физические свойства материи в экстремальных астрофизических условиях;
- астрофизические аспекты зарождения и существования жизни во Вселенной.





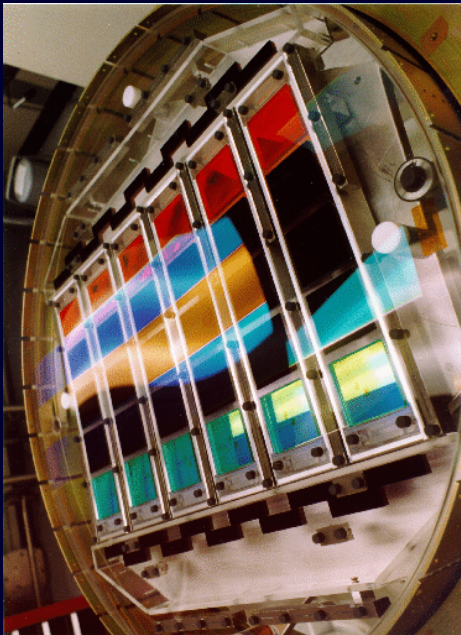
ПЗС

1969, Уиллард Бойл и Джордж Смит, лаборатории Белла.

1975 — первая ПЗС 100x100 (Steven Sasson, Kodak).

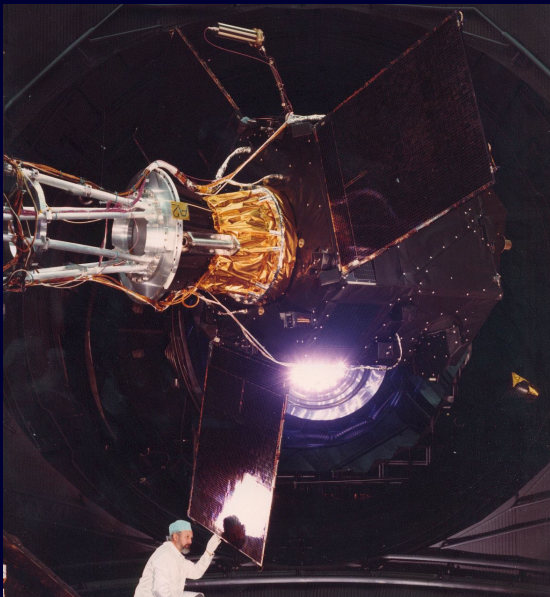
1976 — запуск спутника-шпиона с ПЗС 800x800.





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





1989, Hipparcos — High Precision Parallax Collecting Satellite.

1mas. Каталоги Hipparcos и Tycho.





Телескоп им. Хаббла

2.4 м зеркало.

1978 — стартовое финансирование, 36 млн.длр.

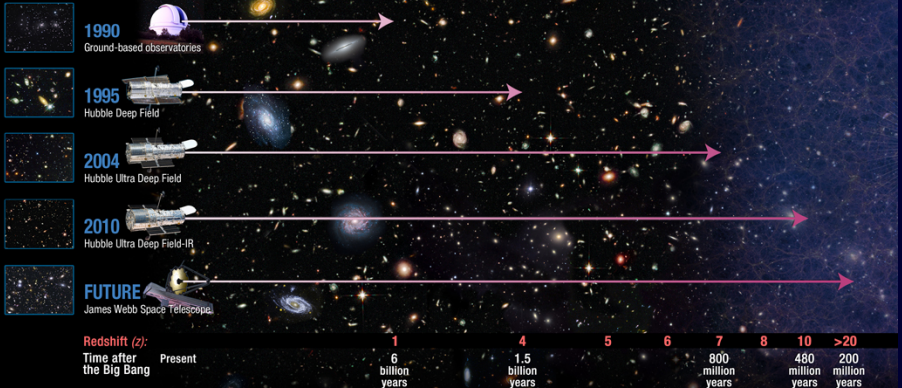
1986 — общий бюджет проекта вырос до 1.175 млрд.длр.

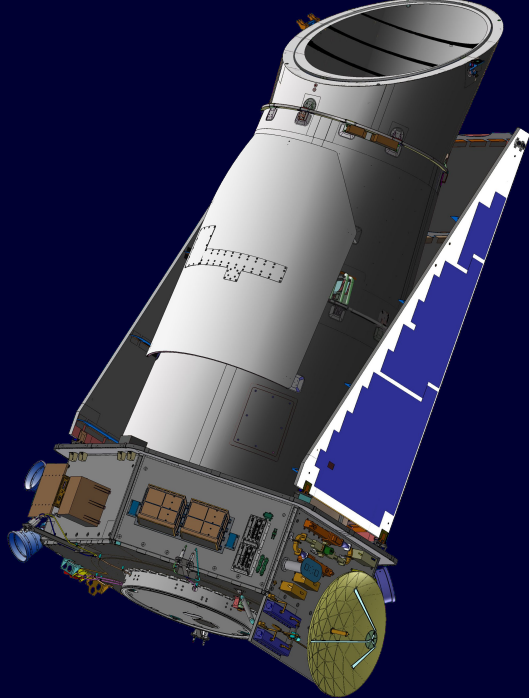
25 апреля 1990 г. — 2.5 млрд.длр.

1999 — около 6 млрд.длр. + 593 млн.евр. от ЕКА.

Четыре экспедиции.

Hubble Probes the Early Universe

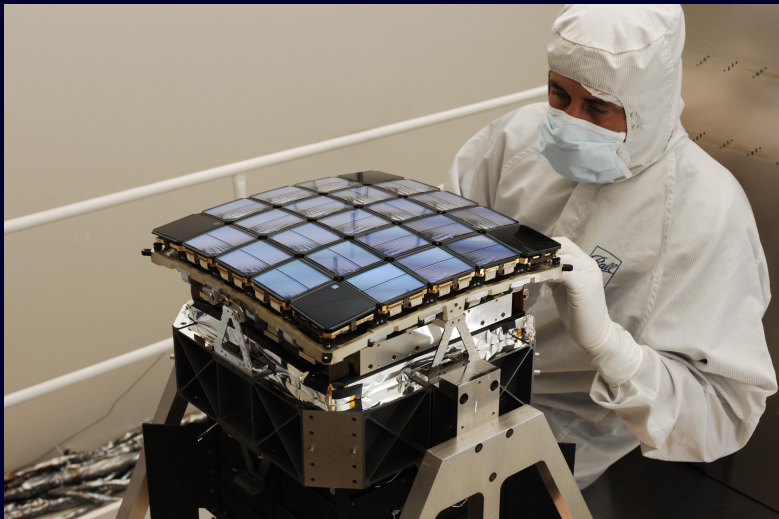




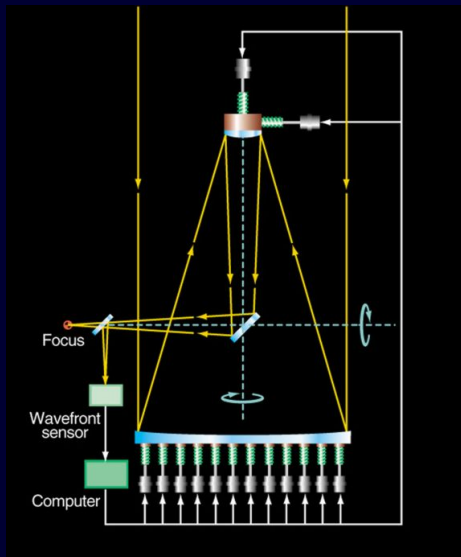
Телескоп Кеплера

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





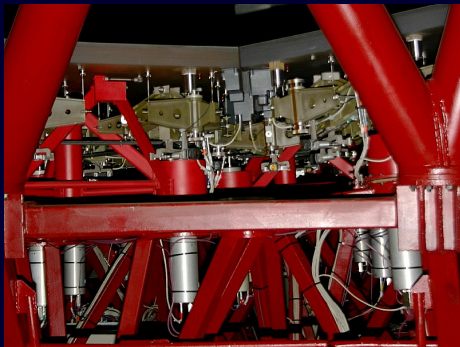
Активная оптика



VLT

VLT: 150 актуаторов на зеркале, управляемое вторичное зеркало. 1 сет — 30 секунд (для избавления от атмосферных эффектов). В случае отсутствия опорной звезды в кадре сигналы вычисляются по модели (учитывающей наклон оси и температуры).





GTC

Зеркало — 17т.



Спекл-интерферометрия

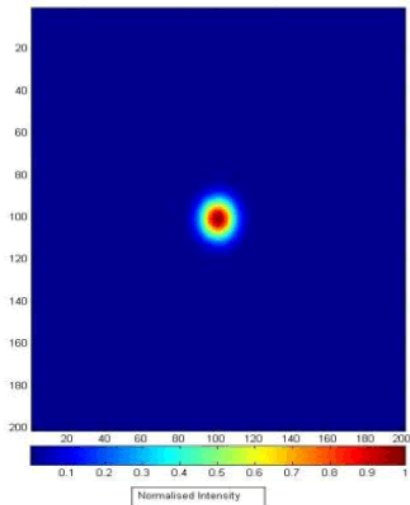


Fig.2.A: No Turbulence

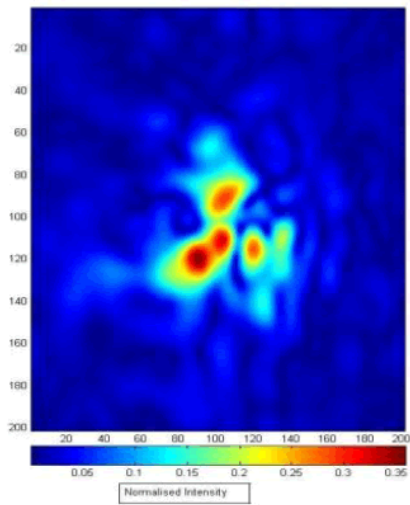
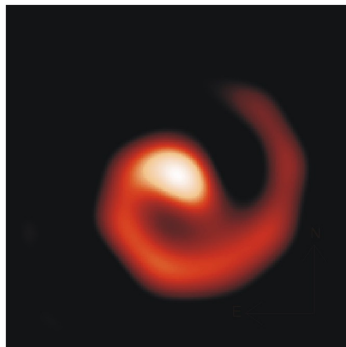


Fig.2. B: Strong Turbulence

WR 104 at 2.27 Microns

April 98

1/10 ARCSEC



160 AU



Адаптивная оптика

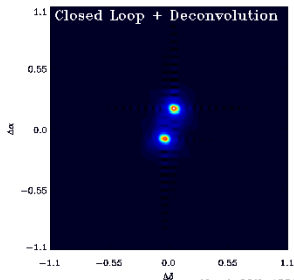
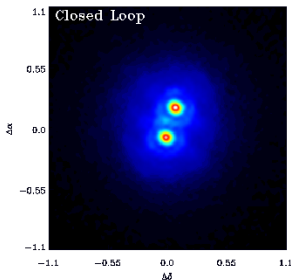
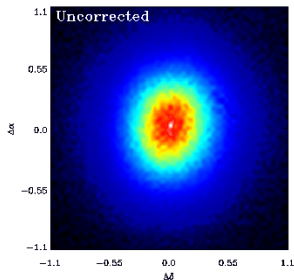
30 ÷ 60 mas. Искусственные звезды: звезды Рэля (ближний ИК, 15 ÷ 25 км) и натриевые (80 ÷ 100 км, 589 нм).

CFHT Adaptive Optics Bonnette & Monica

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

Magnitude=10.7
Strehl Ratio=30%

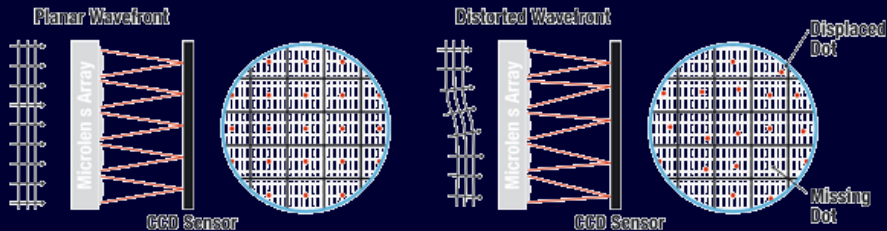
H band, Integration=40 sec
Maximum likelihood



March 29th, 1996



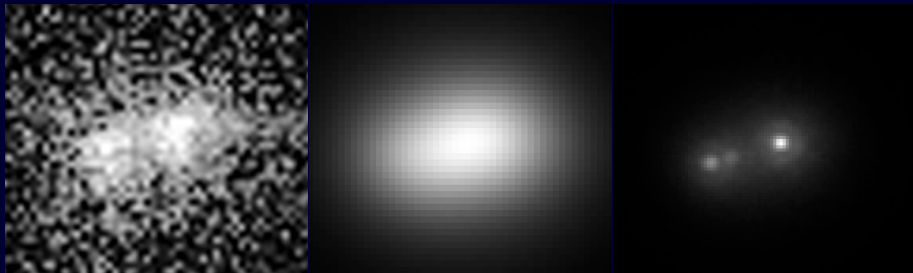
Адаптивная оптика



Адаптивная оптика



Lucky-imaging, Superresolution



Куб данных с экспозициями $10 \div 50$ мс.
Совмещение снимков с наименьшим числом Штреля.
Усреднение.
Итог: было 900 mas, стало 40!
Для малых телескопов ($< r_0$) это Superresolution.



Спасибо за внимание!

mailto

eddy@sao.ru

edward.emelianoff@gmail.com

