

# Астрофизическое оборудование

## От древности и до наших дней

Емельянов Эдуард Владимирович

Специальная астрофизическая обсерватория РАН  
Лаборатория обеспечения наблюдений

22 июня 2016 года



- 1 Археоастрономия
- 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 Ласко (15-19 тыс. лет назад)



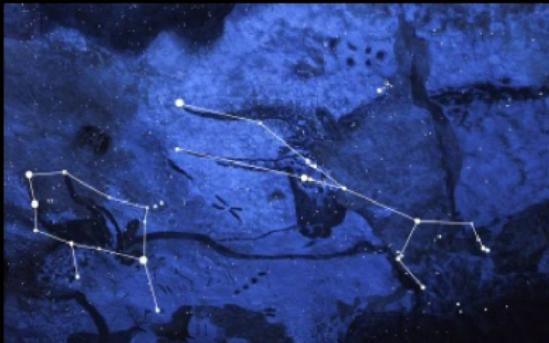
2039-01: Lascaux Cave. Cave painting in the hall of Bulls and paleolithic sky.



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

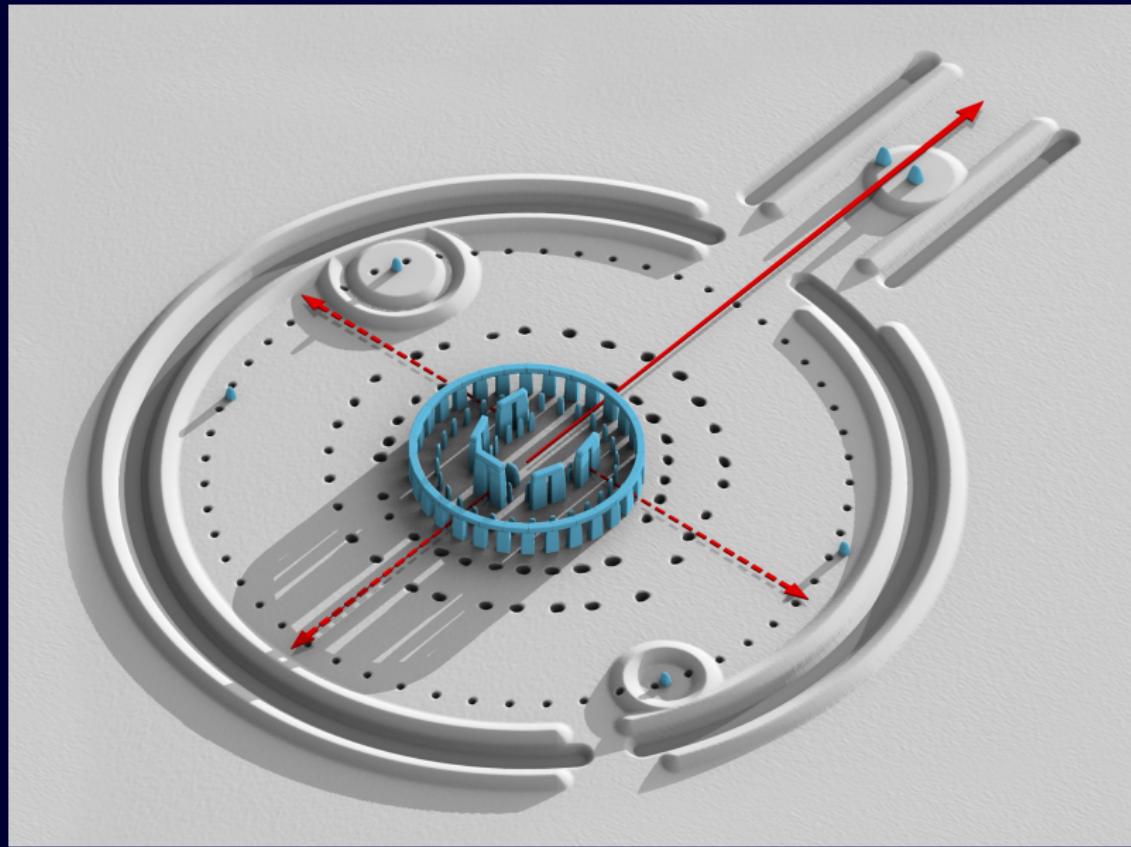


2039-03: Lascaux cave. Auroch set in comparison with the constellation of the Lion according to Chantal Jegues-Wolkiewiez's studies.

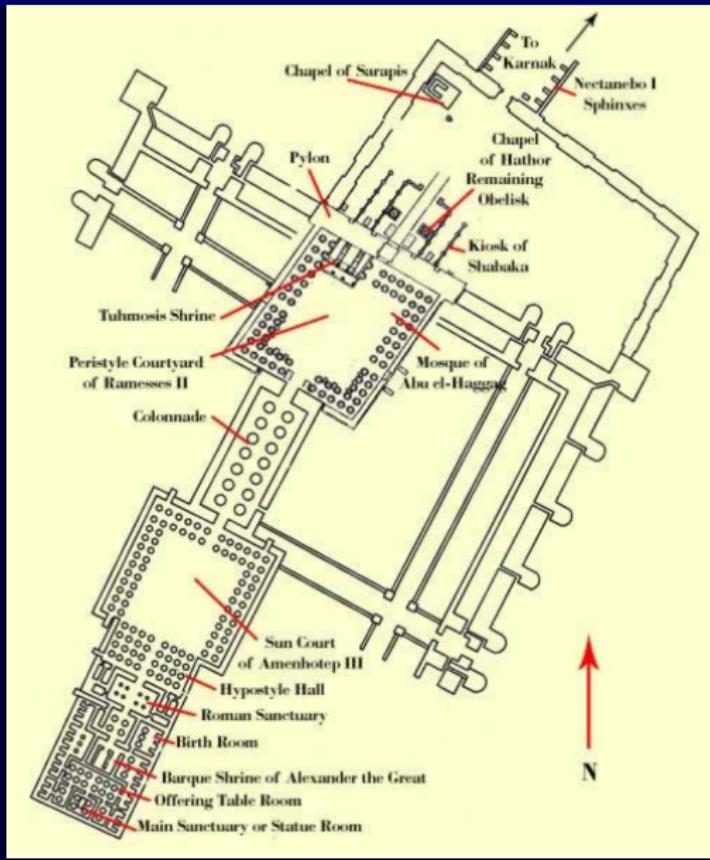


2039-04: Lascaux cave. Auroch drawn over the constellation of the Bull according to Chantal Jegues-Wolkiewiez's studies.

# Стоунхендж

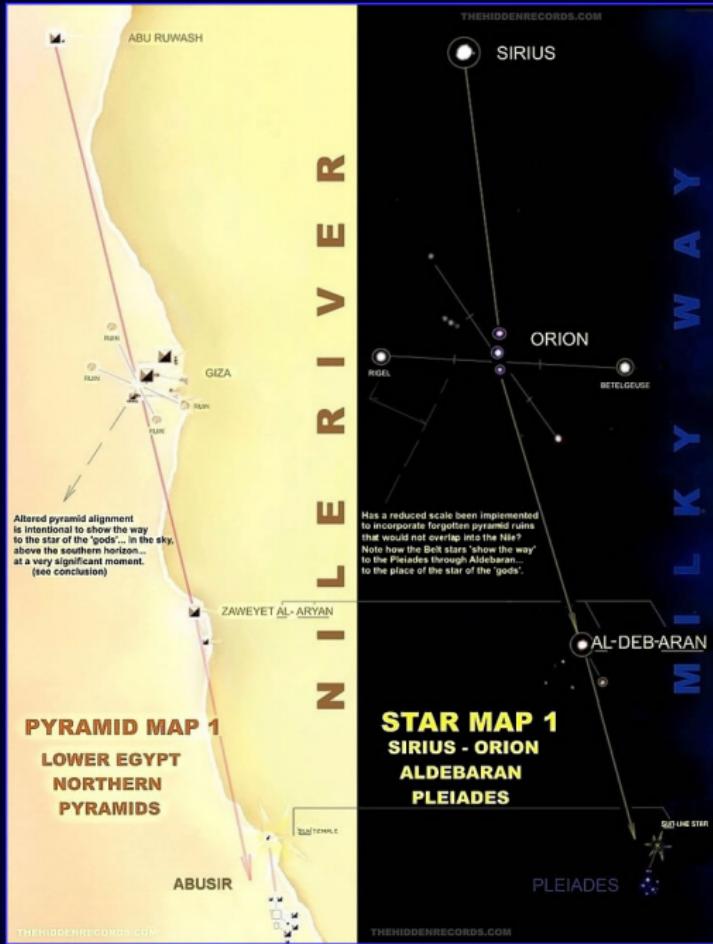


# Храмы Луксора и Карнака

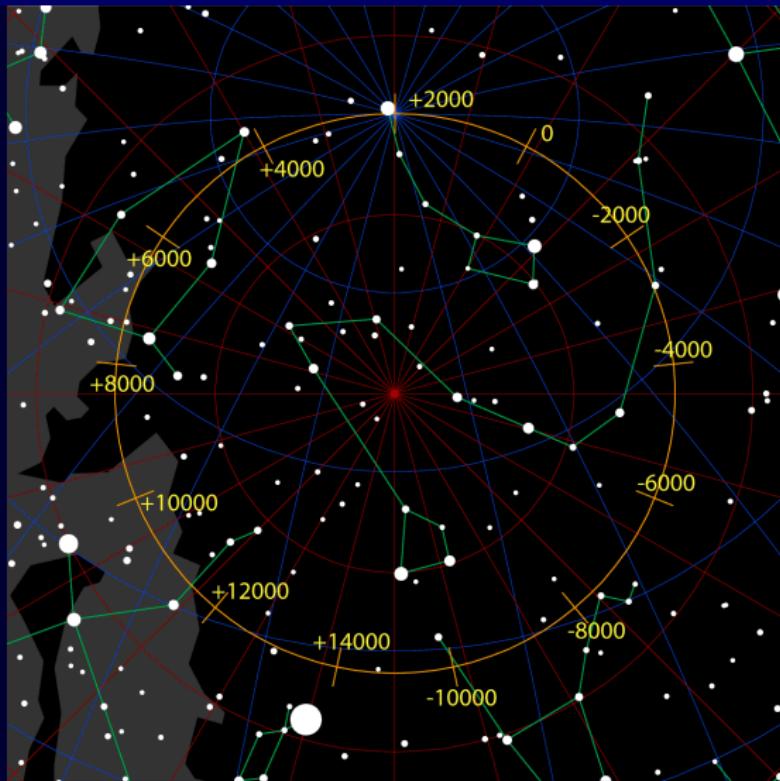


# Пирамиды Гизы и Орион в 105 в. до н.э.





# Прецессия ( $T = 25800$ лет)

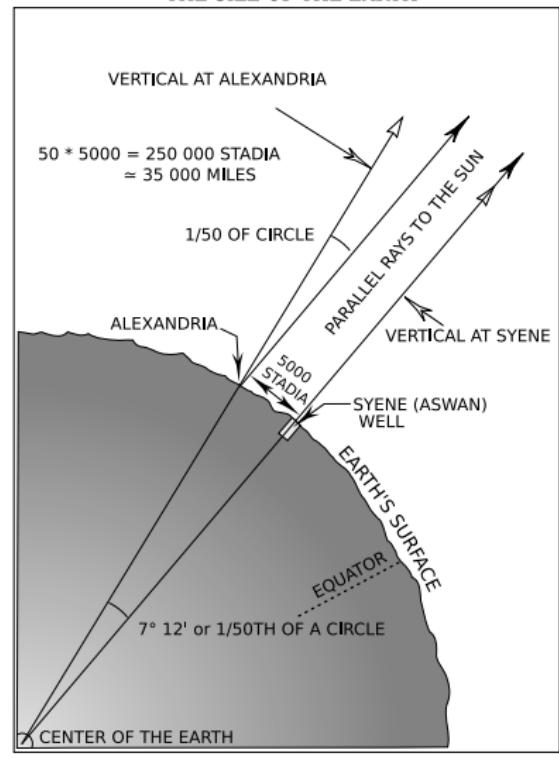


(2000) 365.2422 дня — тропический год, 365.2564 — сидерический год. Сотический цикл — 1460 лет.



# Эратосфен

## ERATOSTHENES METHOD FOR DETERMINING THE SIZE OF THE EARTH



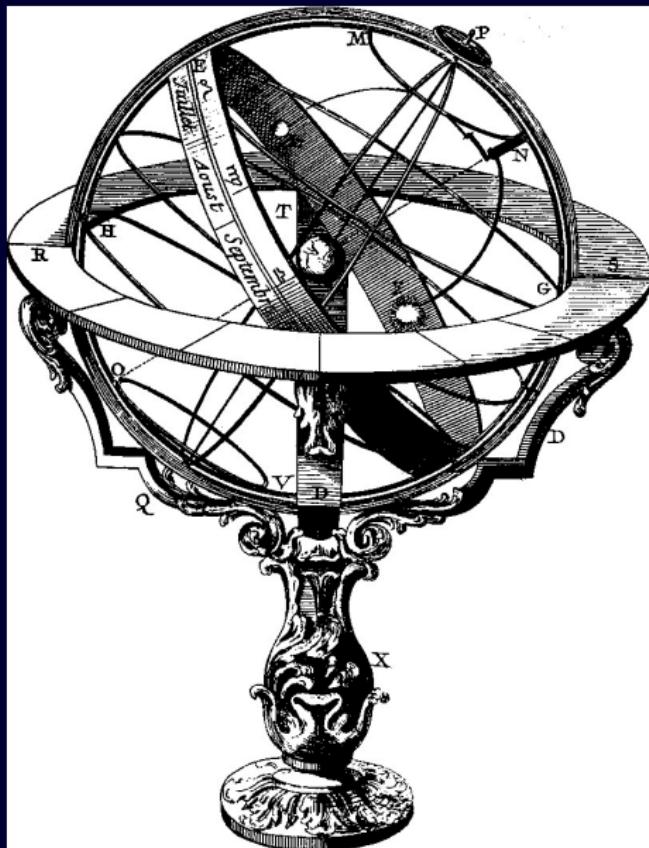
# Гномон (Анаксимандр Милетский, 6в до н.э.)



Обелиск площади св. Петра в Ватикане как гномон.



# Армиллярная сфера (Эратосфен?)



# Антикитерский механизм





# Экваториальное кольцо (Гиппарх)

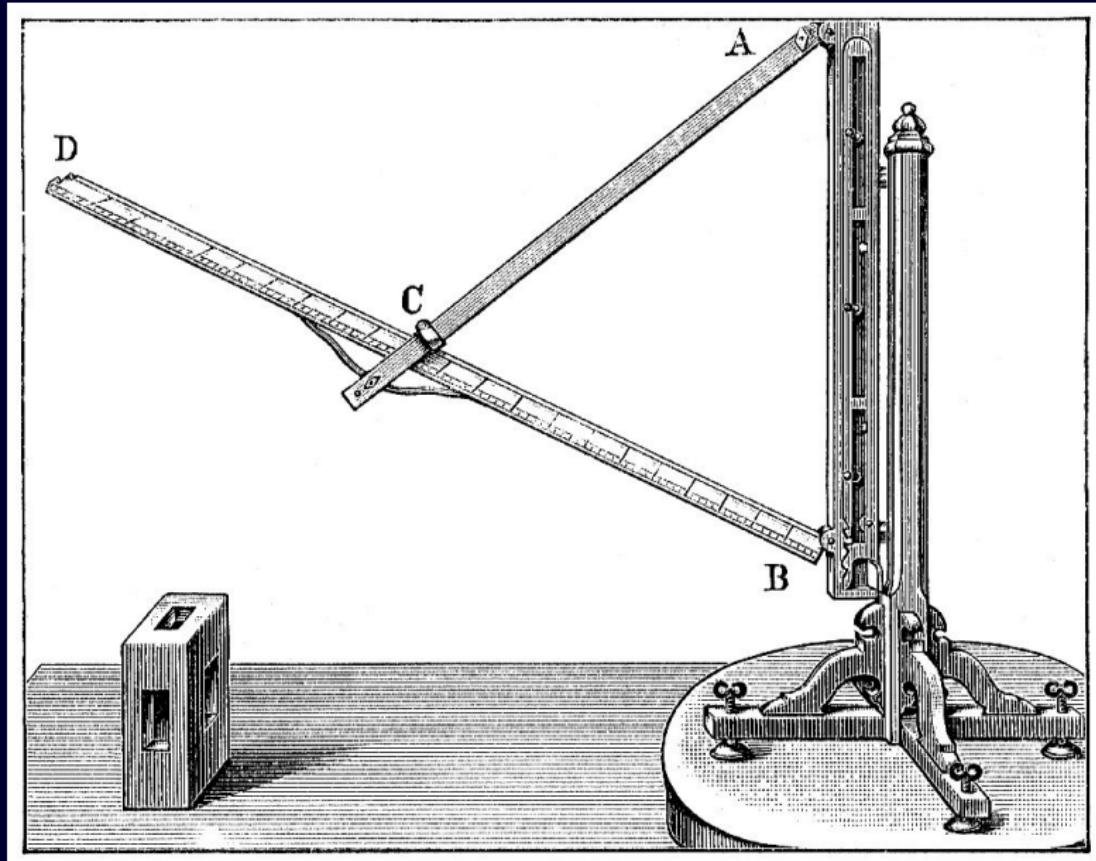
Открытие предварений равноденствий (Аристарх Самосский?).  $1^\circ$  в столетие (реально – за 72 года). Звездный каталог. Звездные величины.



# Астролябия

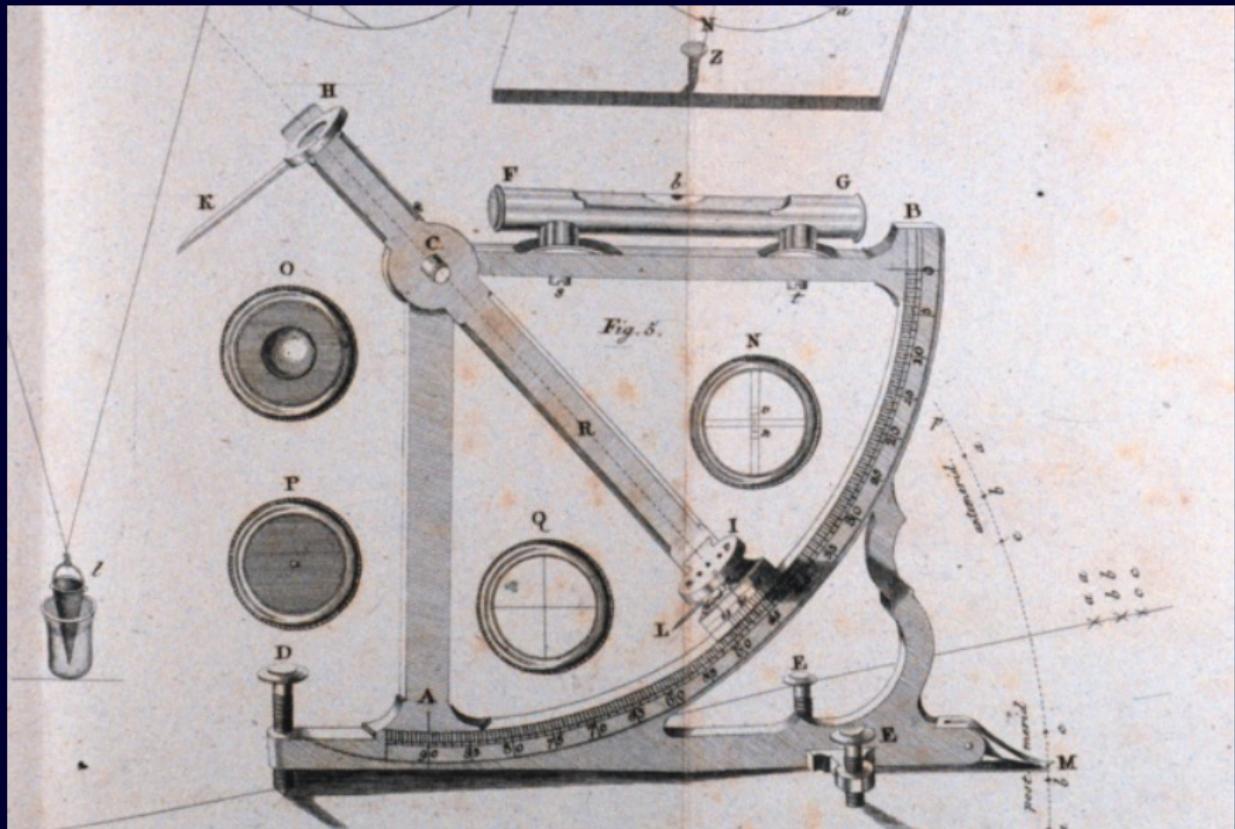


# Триквётрум

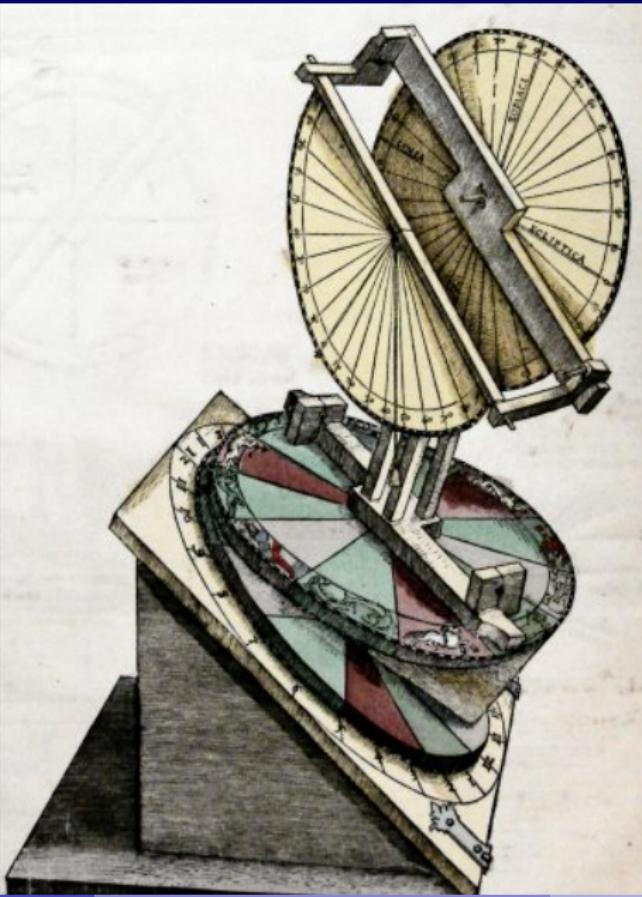


# Квадрант, секстант





# Торквэтум



# «Послы» Ганса Гольбейна Младшего (1533)



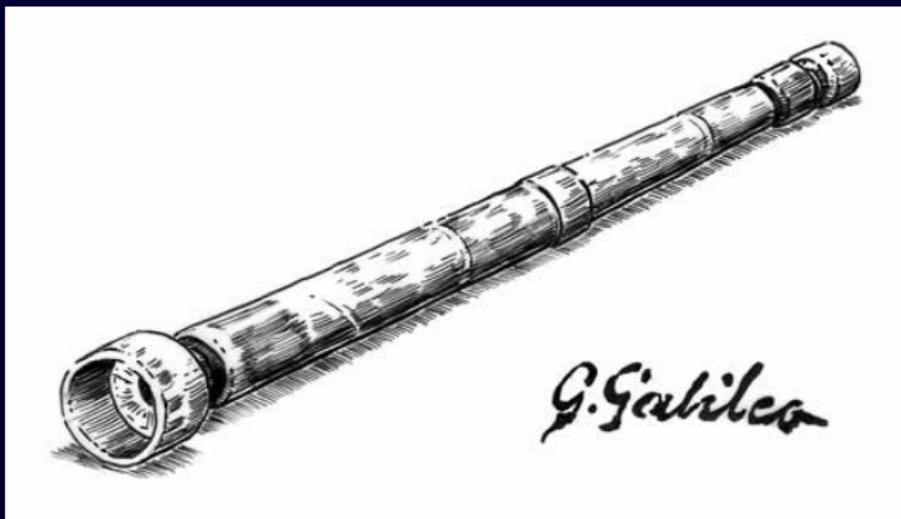
## Предметы

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

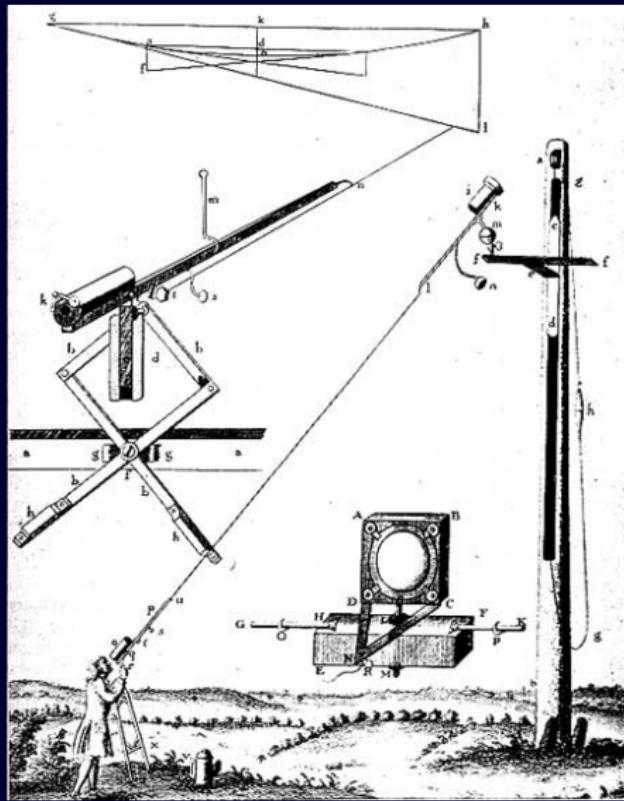


# Рефракторы

**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.

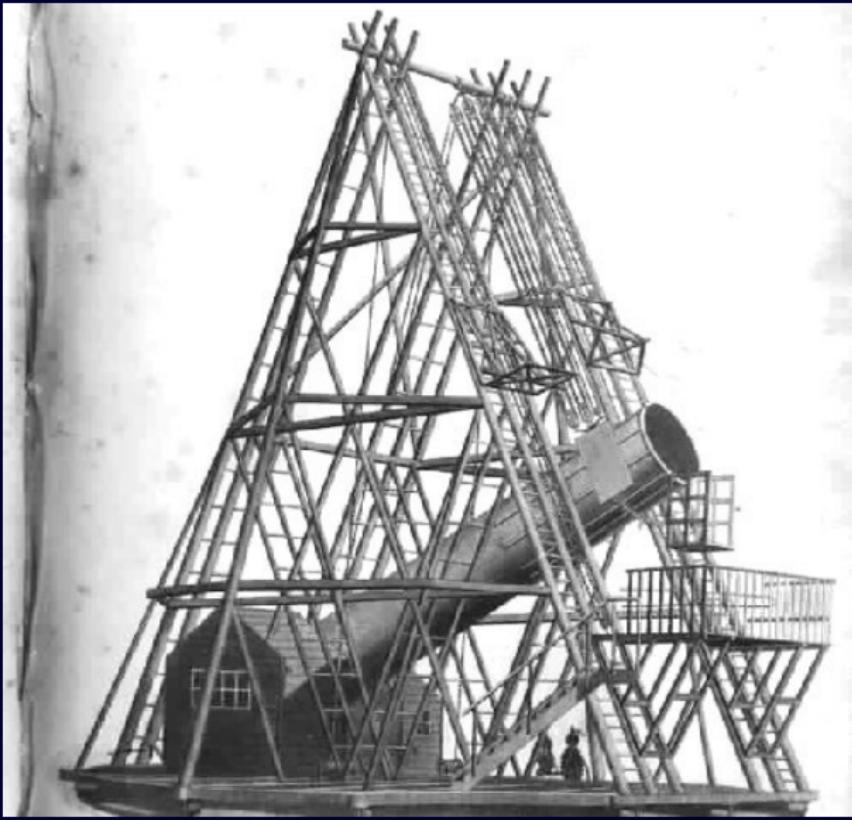
# Рефлекторы



**Рефлекто́р** — оптический телескоп, в котором в качестве объектива выступает зеркало.  
Исаак Ньюто́н, 1668.

1663 — система Грегори.  
1672 — система Кассегрена.  
1721 — рефлекто́р 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

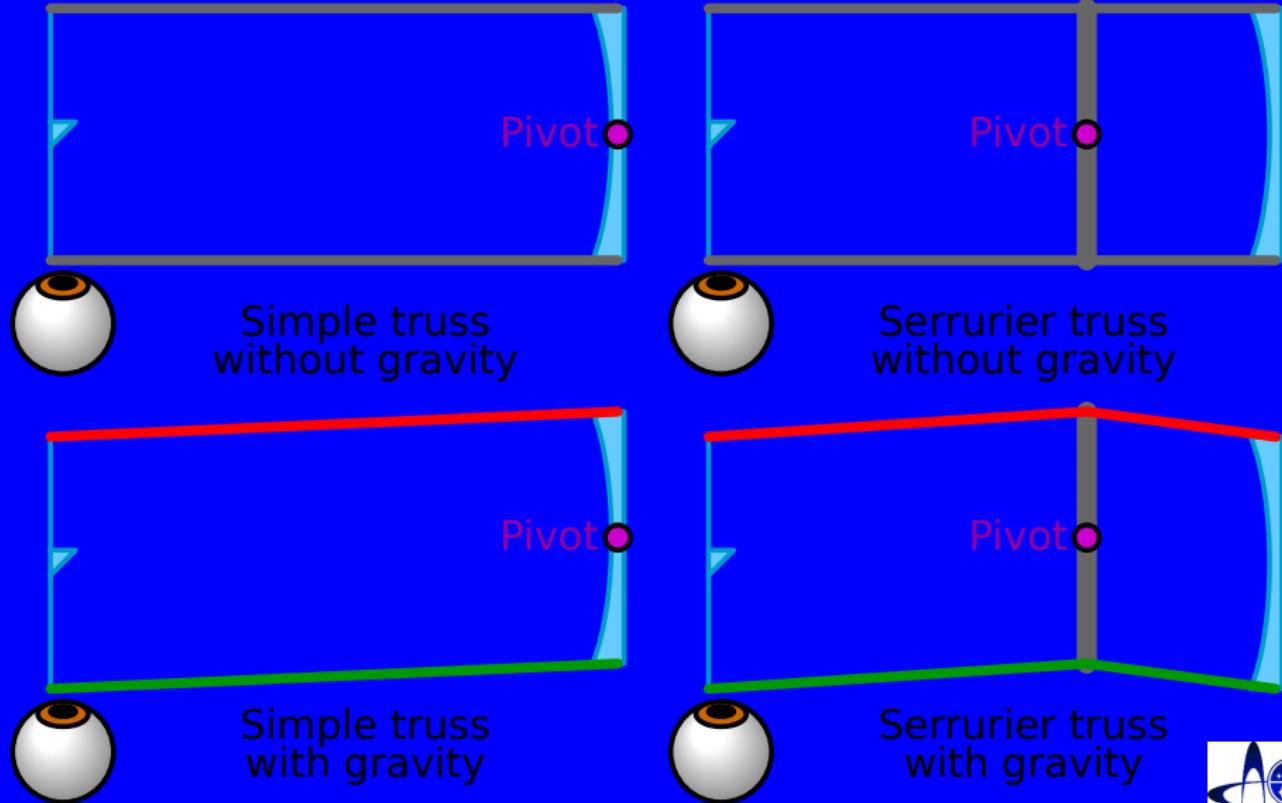
200 дюймов, 1949 г. Прямой фокус, Куде и Несмит.

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

Полярная монтировка «седло».



# Труба Сerrюреa



# Альт-азимутальная монтировка



Timur Agirov, timmag12.livejournal.com, agirov.com



# Астрофизика

**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).

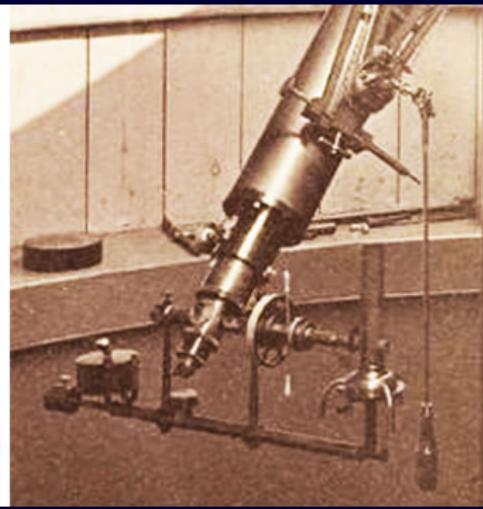
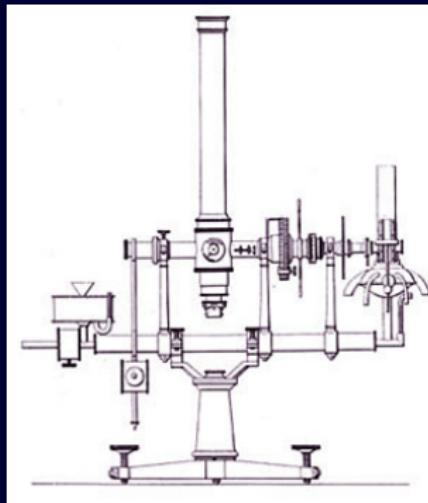
Основоположники — Вильям Хайд Волластон и Йозеф фон Фраунгофер. Сам термин «астрофизика» предложен Иоганном Карлом Фридрихом Цёлльнером (известен по точной фотометрии) в 1865 г. Астрофизика делится на наблюдательную и теоретическую, находящиеся в тесной взаимосвязи.



# Фотометрия

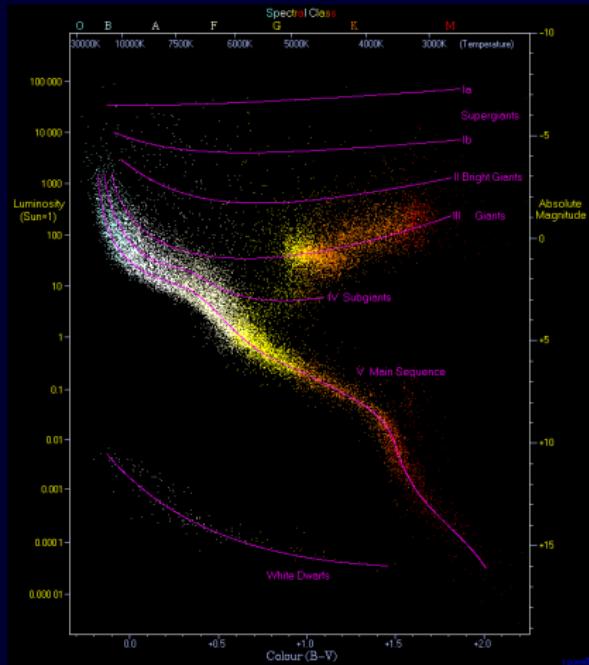
## Фотометр Цёлльнера

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

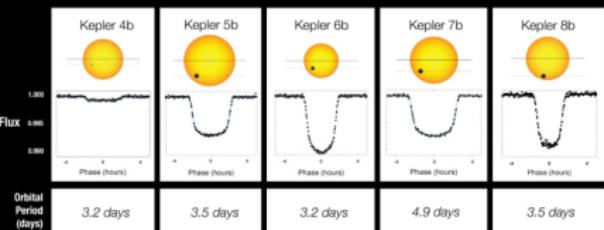
- Астрометрические задачи.
- Определение светимости объекта.
- Классификация объекта (и предположение о его свойствах).
- Космология: отождествление галактик.
- Определение параметров переменных объектов.
- Поиск крупных экзопланет.
- Измерение расстояний (цефеиды, сверхновые).



# Область применения фотометрии

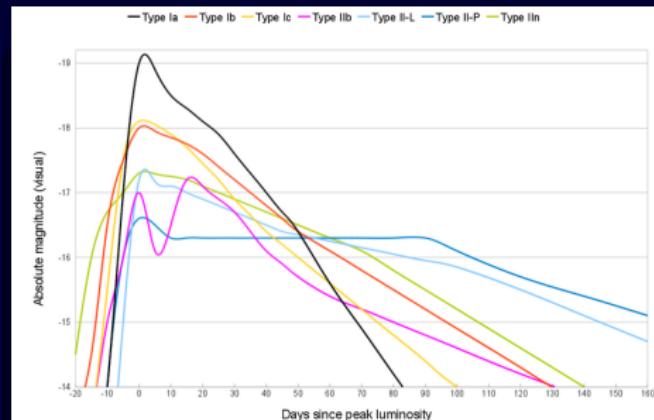
- Астрометрические задачи.
- Определение светимости объекта.
- Классификация объекта (и предположение о его свойствах).
- Космология: отождествление галактик.
- Определение параметров переменных объектов.
- Поиск крупных экзопланет.
- Измерение расстояний (цефеиды, сверхновые).

## Transit Light Curves



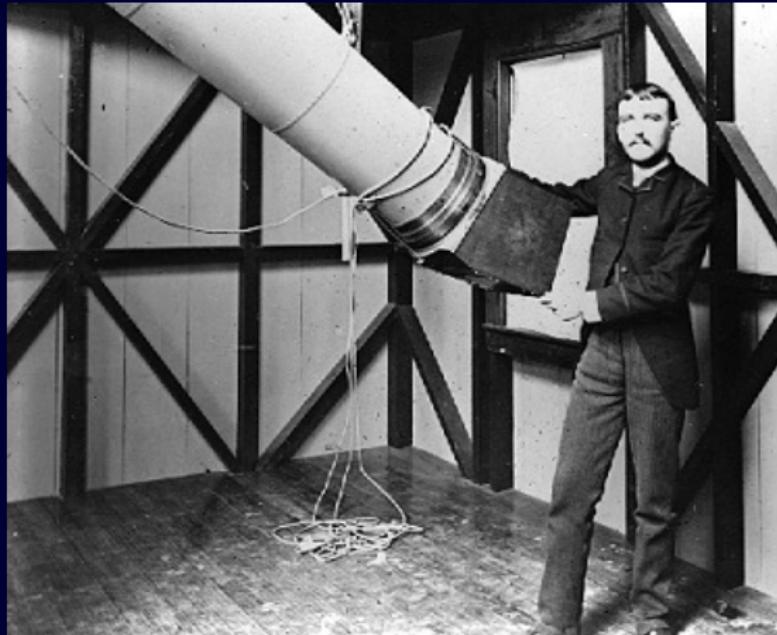
# Область применения фотометрии

- 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

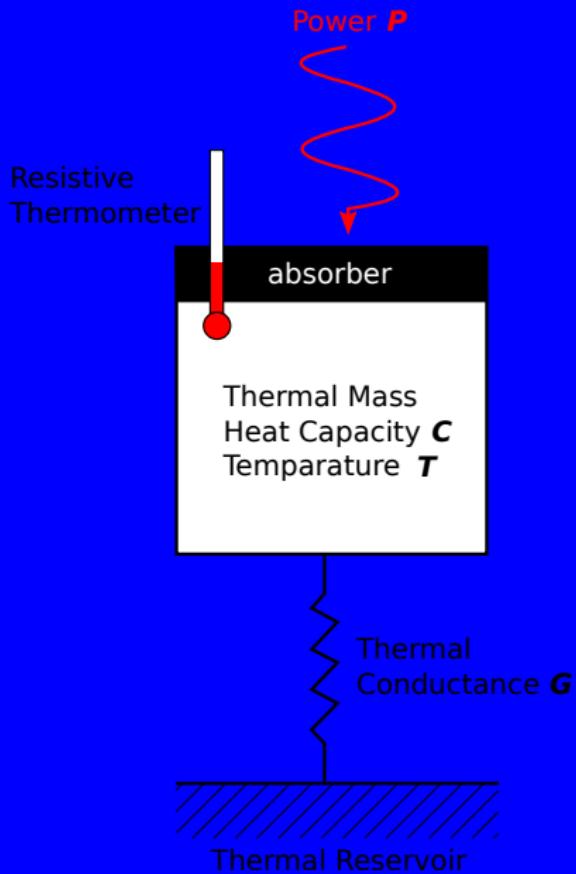
В 1822 г. Нисефор Ньепс изобрел гелиографию. Луи Дагер в 1837 г. разработал дагеротипию. 1840 г Джон Уильям Дрэпер (отец Генри Дрэпера) — первое астрофото Луны.





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





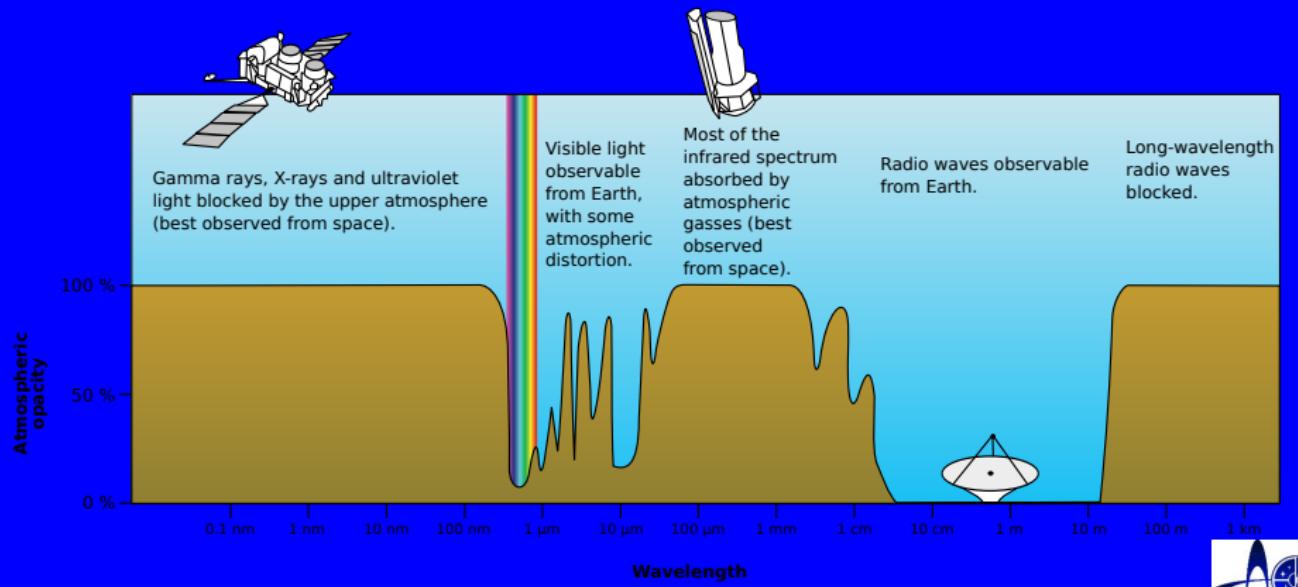
1878 г. Сэмюэль Лэнгли изобрел болометр: две платиновые полоски, зачерненные ламповой сажей, включенные по схеме моста Уитсона и подключенные к чувствительному гальванометру. Болометр Лэнгли чувствовал корову за милю! Расширение диапазона до ИК.



# Спектроскопия

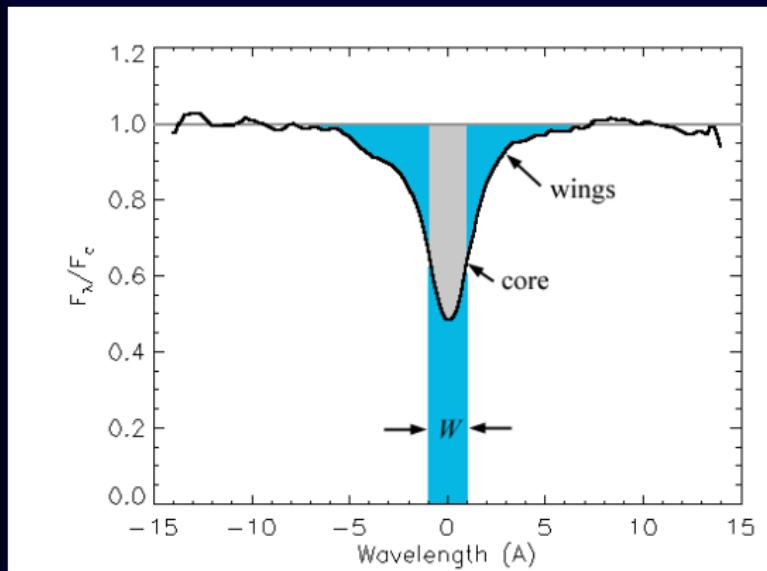
## Земная атмосфера

Наземная астрофизика сильно сжата в спектральном диапазоне земной атмосферой.



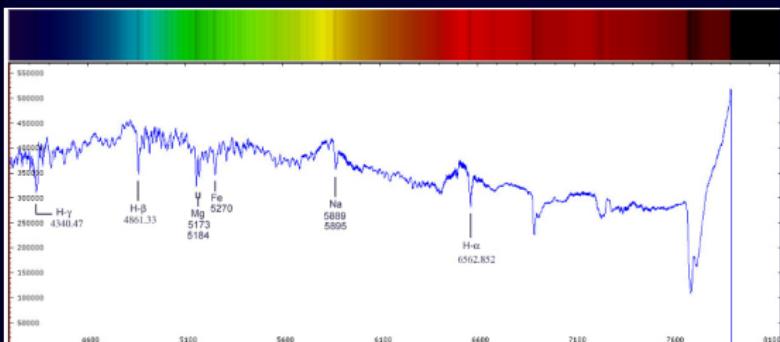
# Область применения спектроскопии

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



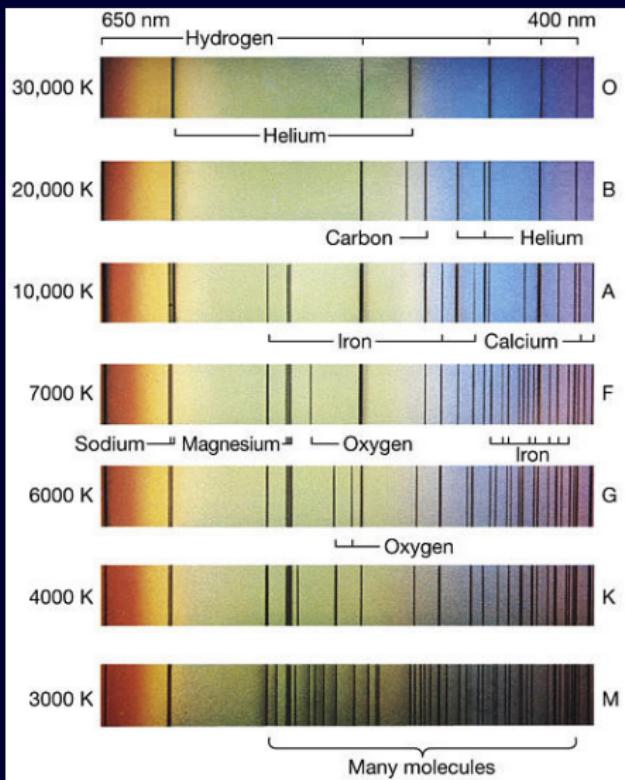
# Область применения спектроскопии

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



# Область применения спектроскопии

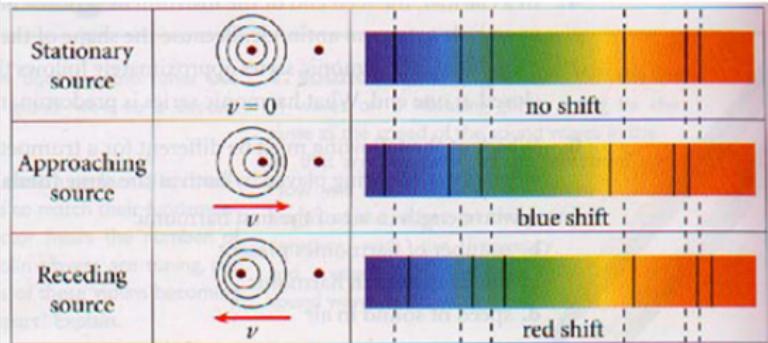
- Эквивалентные ширины: скорость вращения, спектрополяриметрия, определение химического состава звезд.
- Строгая спектральная классификация, определение возраста скоплений.
- Определение скорости движения объектов.
- Космология.



# 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

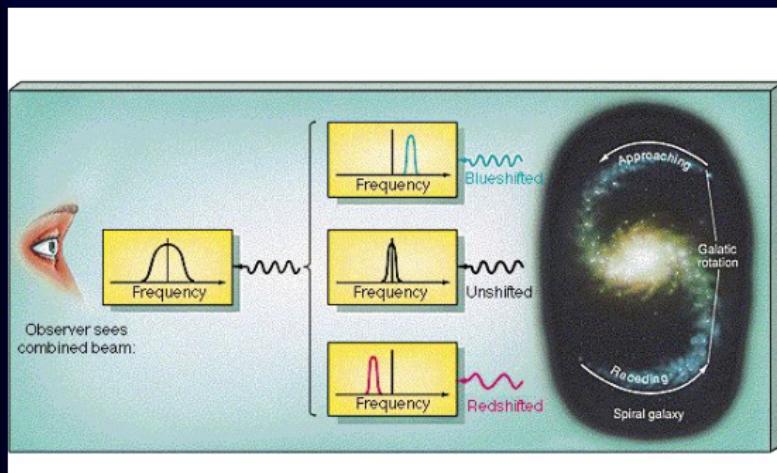


Measuring the relative velocities of stars  
by the Doppler shift.



# 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.

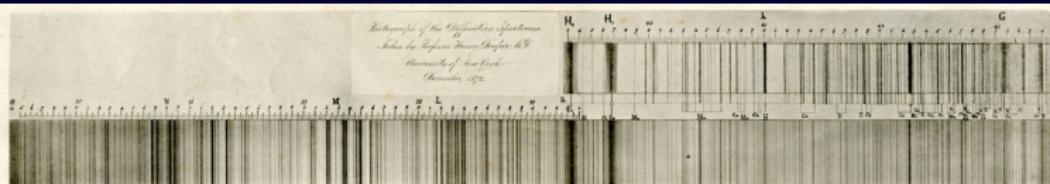
Спектральные наблюдения с использованием призмы проводил еще Исаак Ньютона в 1666–1672 гг., он и предложил термин «спектр».

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).



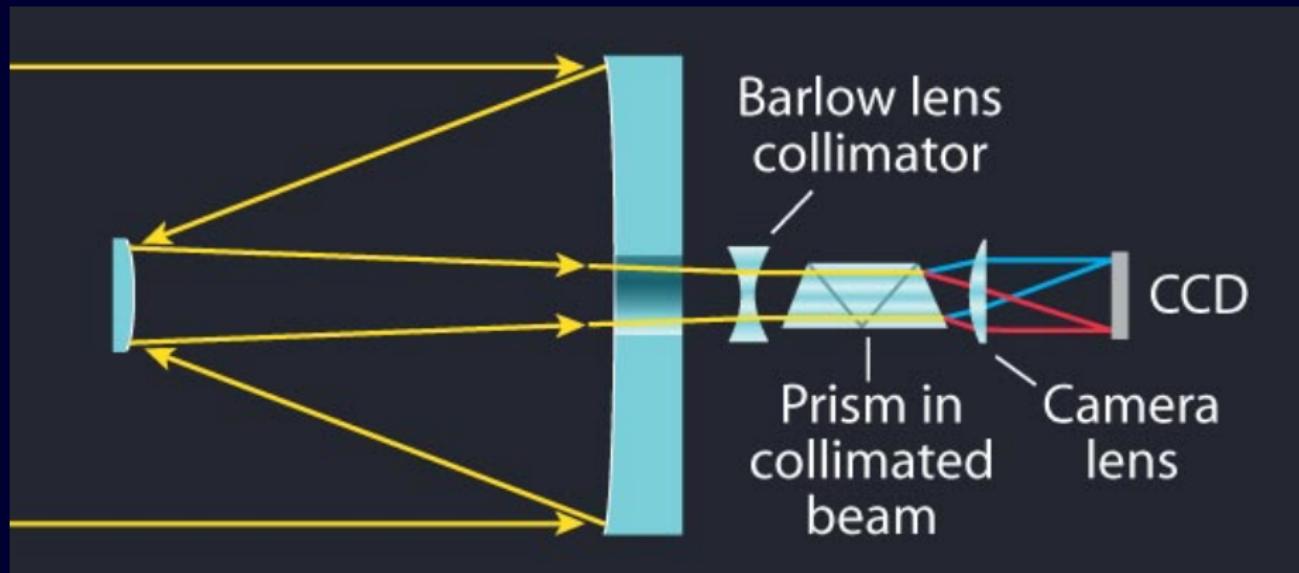
# Генри Дрэпер

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

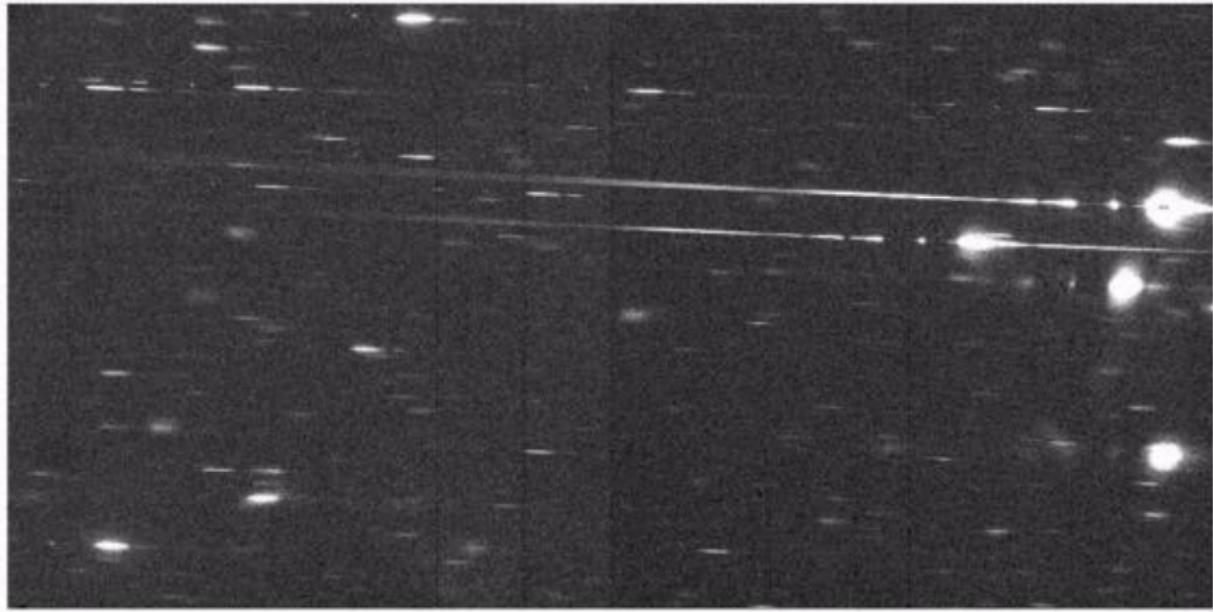


# Бесщелевые спектры

Николас Мейол, 1930-е.



# Бесщелевые спектры

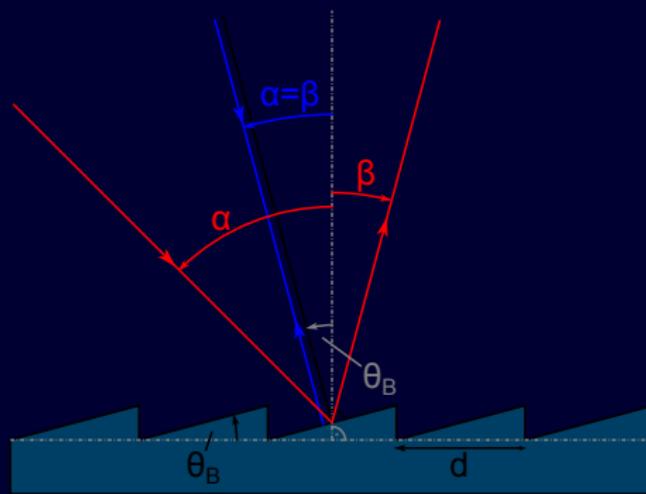


# Дифракционная решетка

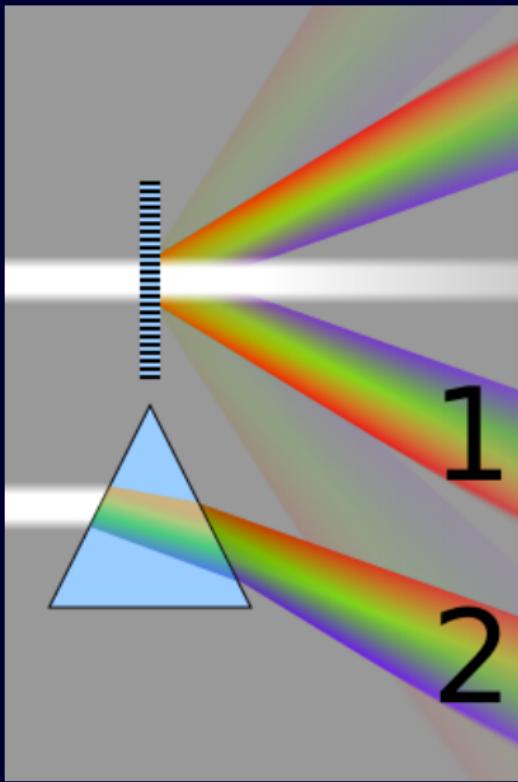
Середина 18 века, Джеймс Грегори — принцип построения дифракционной решетки.

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

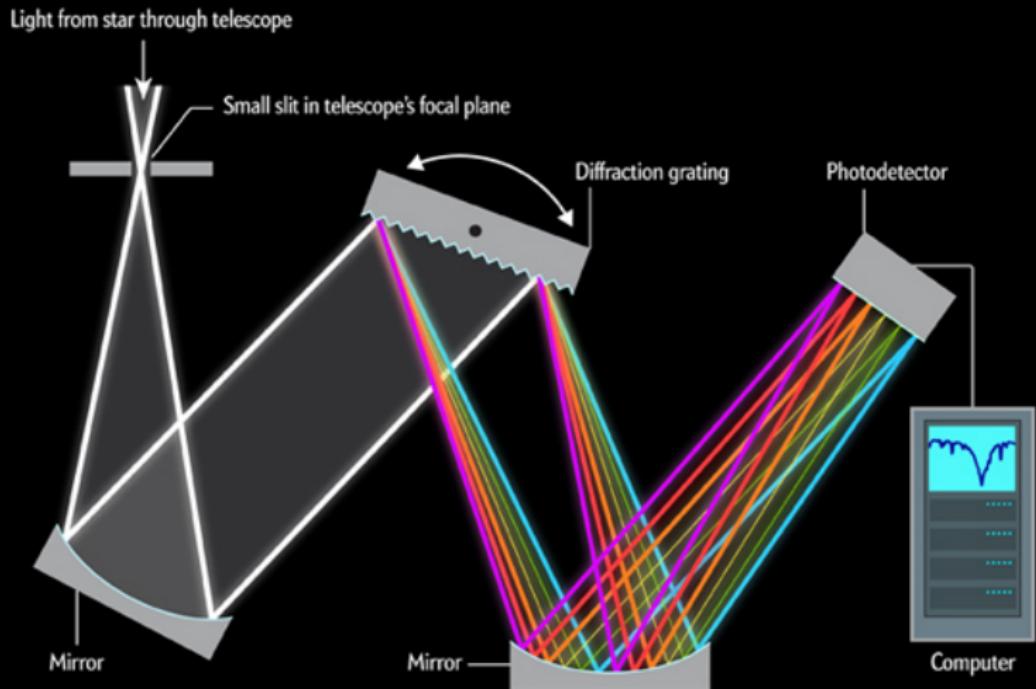
Нарезные решетки. Предел — около 4.7/мм (1899, Генри Джозеф Грейсон).



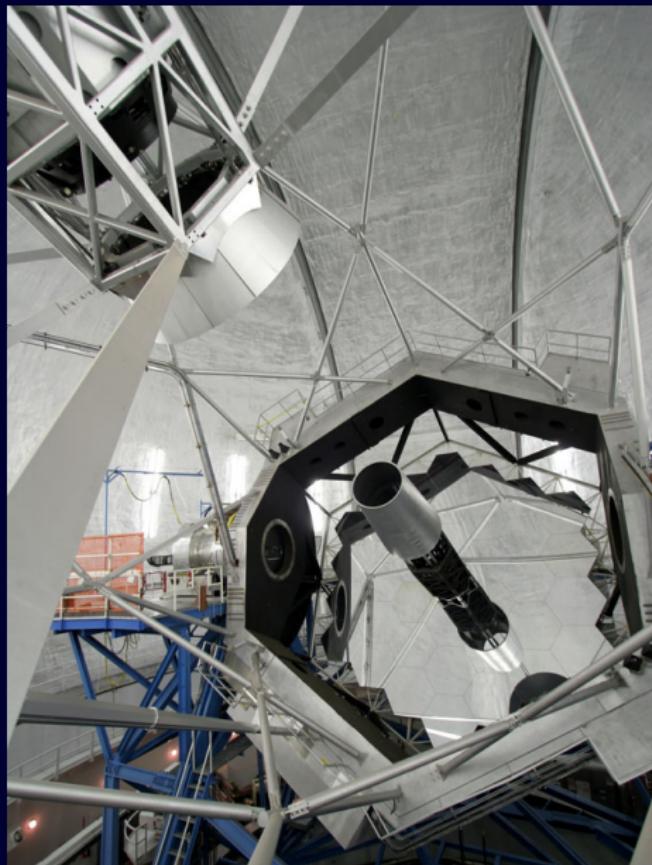
# Дифракция и дисперсия



# Спектрограф



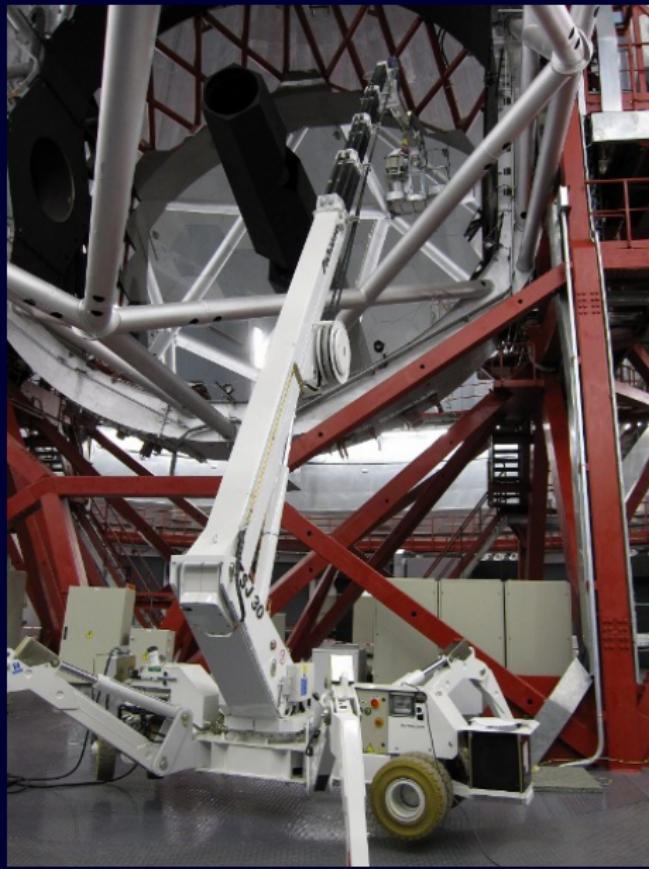
# Большие телескопы



## Телескопы Кека

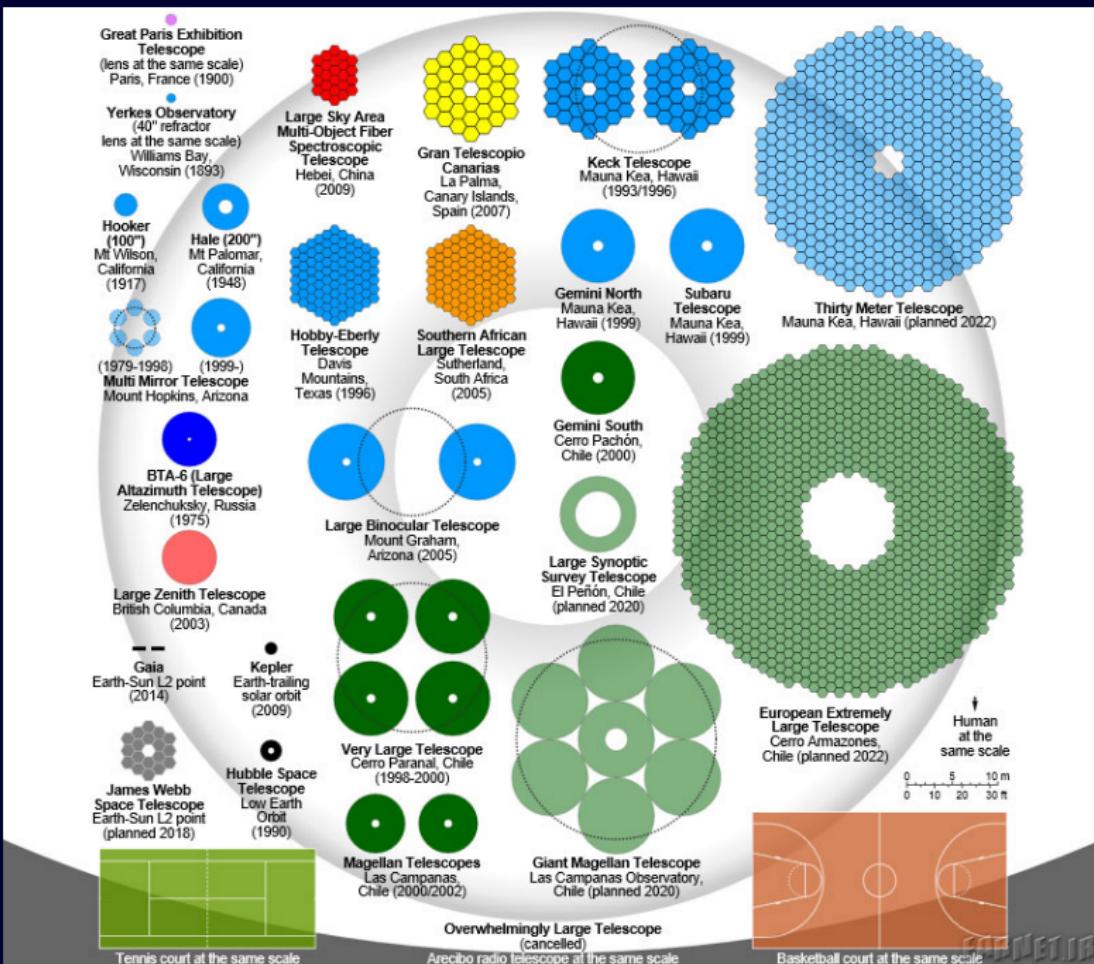
1993 — Кек-1 (Мауна Кеа), 10 м, 36 сегментов из церодура, площадь рабочей поверхности  $75.76 \text{ м}^2$  — крупнейшие в мире!

# Большие телескопы



## Большой Канарский

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



# 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.



Integration of Photon-Induced Charge

Raindrops

Parallel Bucket Array

Serial Bucket Array

Parallel Register Shift (1 Row)

(a)

Serial Register Shift to Output

(b)

(c)

Figure 5

Bucket Brigade CCD Analogy

Conveyer Belt  
Calibrated Measuring Container

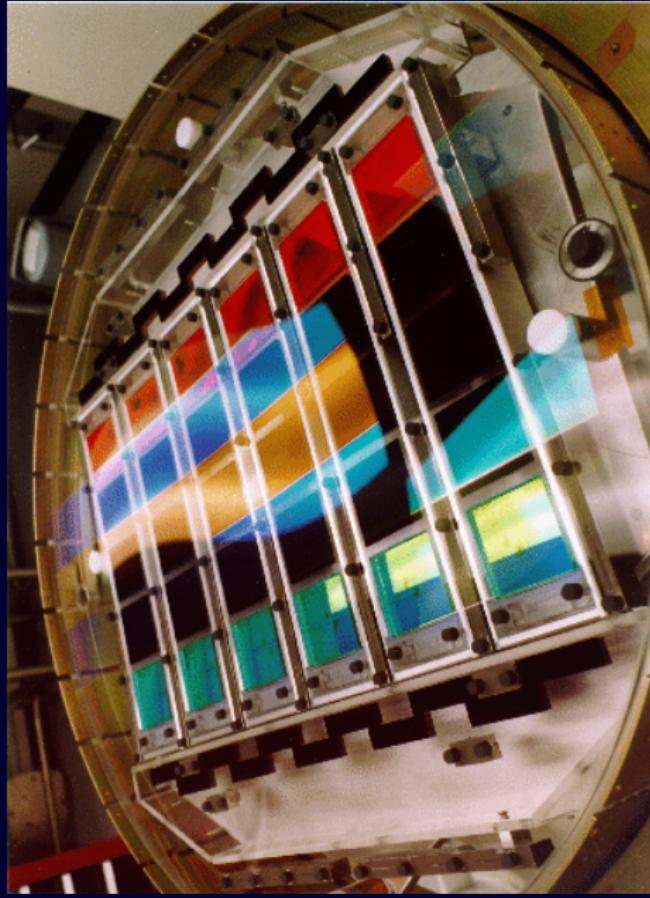
## ПЗС

1969, Уиллард Бойл и Джордж Смит, лаборатории Белла.

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

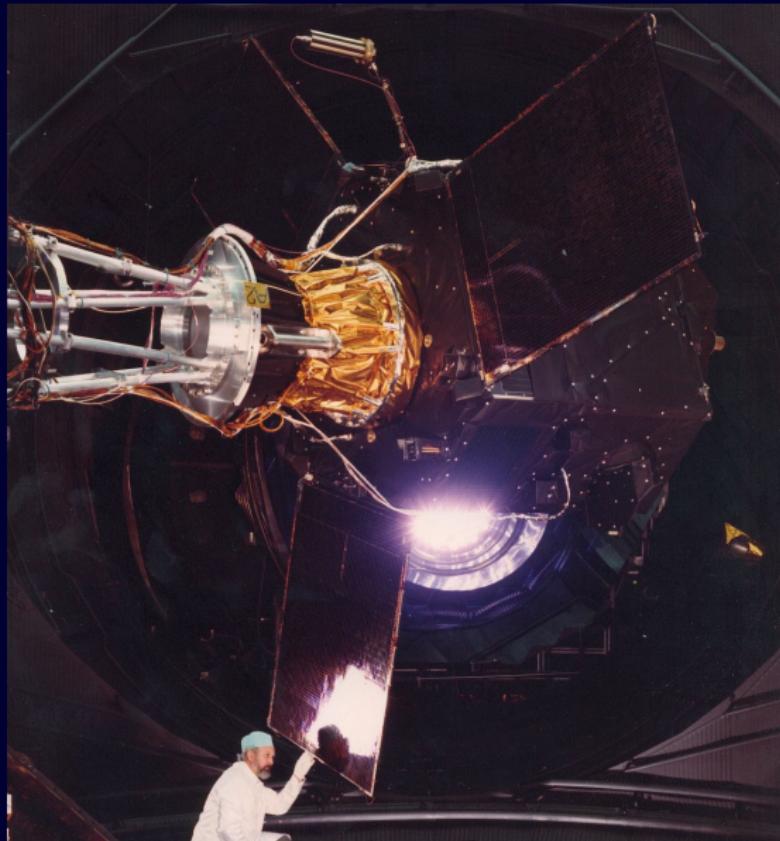
1976 — запуск спутника-шпиона с ПЗС 800x800.





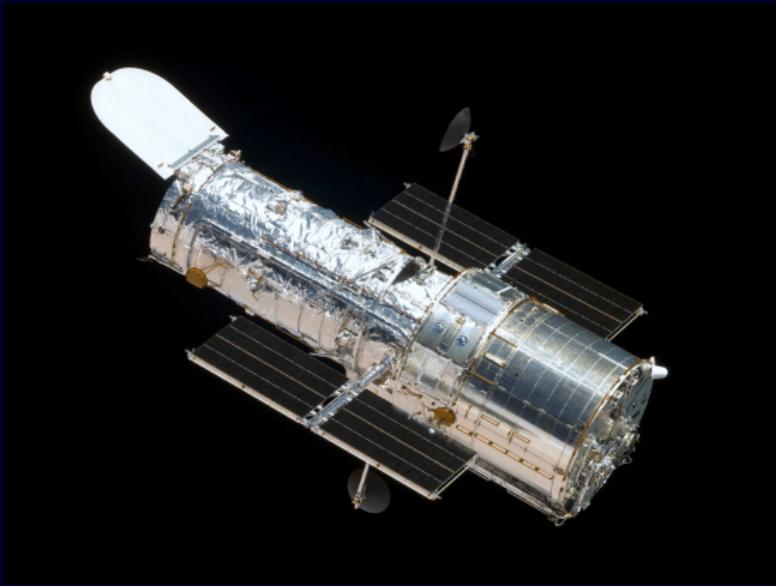
Слоановский обзор SDSS, 30 ПЗС  
2048x2048 в сканирующем режиме.

# Космическая астрофизика



1989, Hipparcos — High Precision Parallax Collecting Satellite.

1mas. Каталоги Hipparcos и Tycho.



## Телескоп им. Хаббла

2.4 м зеркало.

1978 — стартовое финансирование, 36 млн.др.

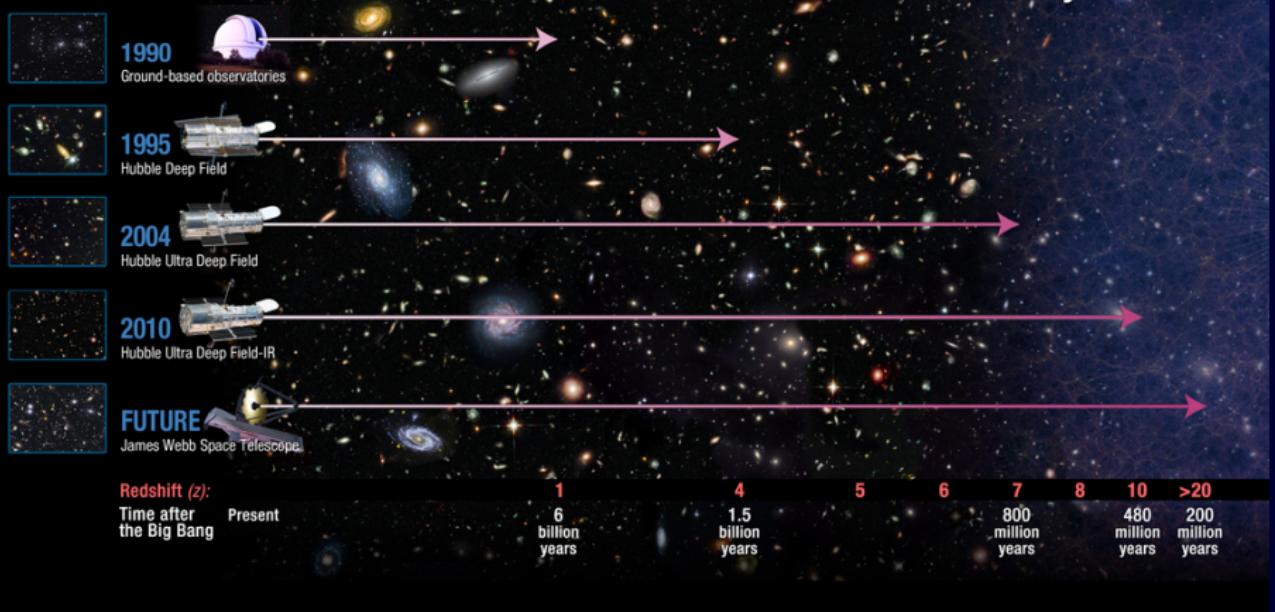
1986 — общий бюджет проекта вырос до 1.175 млрд.др.

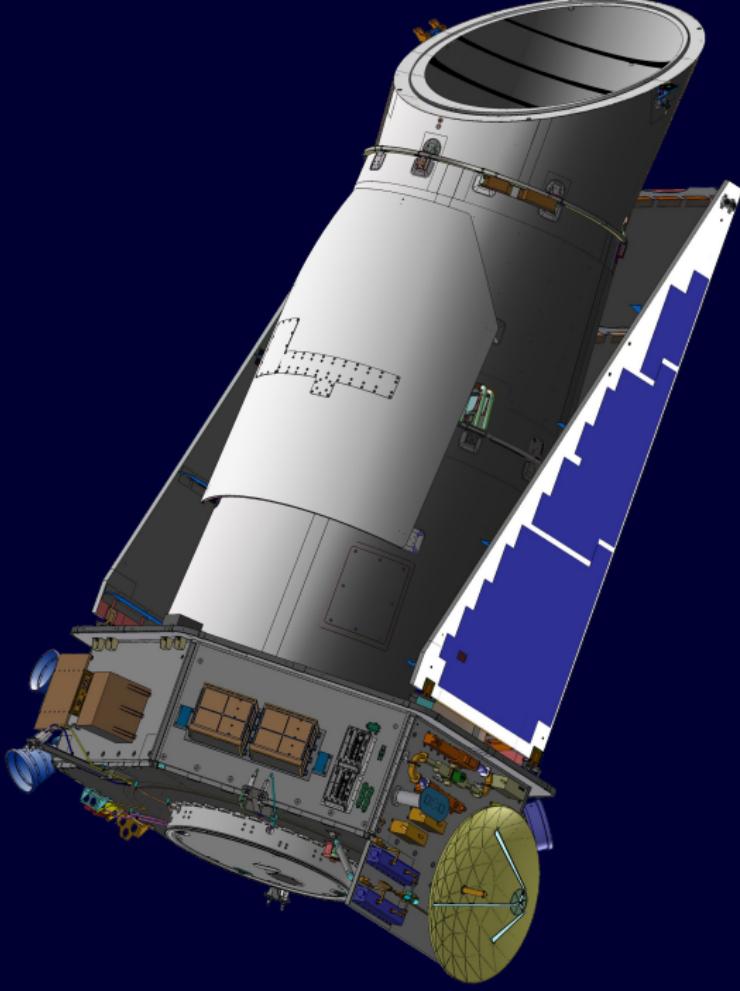
25 апреля 1990 г. — 2.5 млрд.др.

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

Четыре экспедиции.

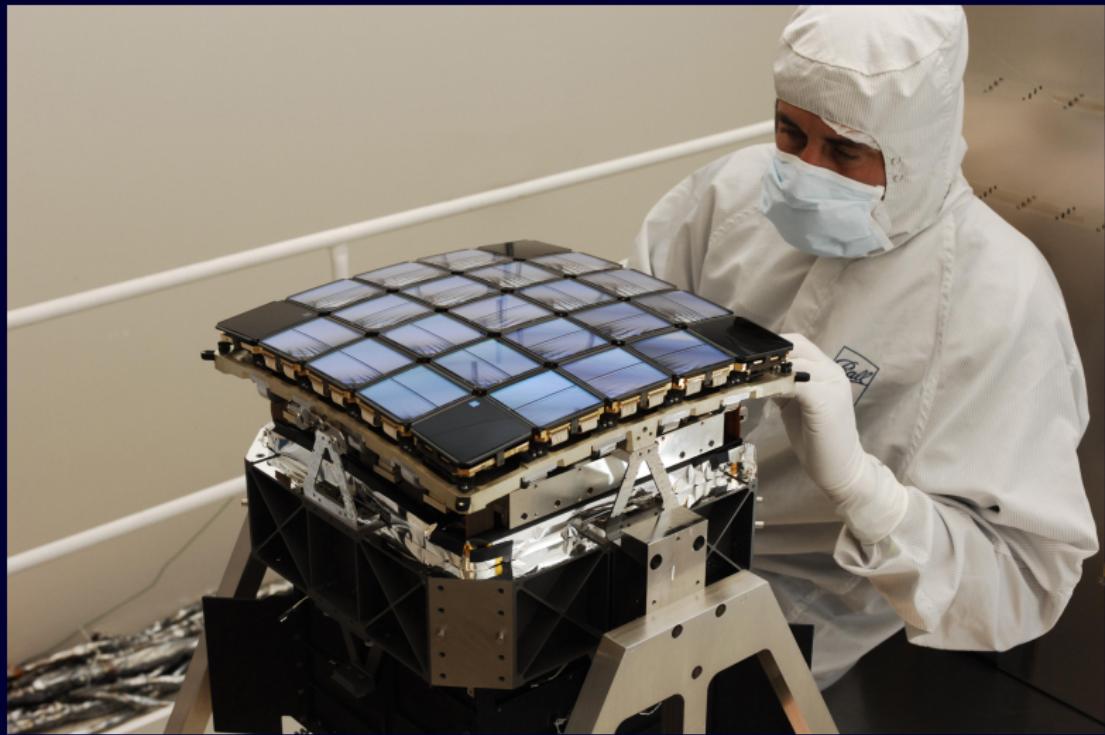
## Hubble Probes the Early Universe



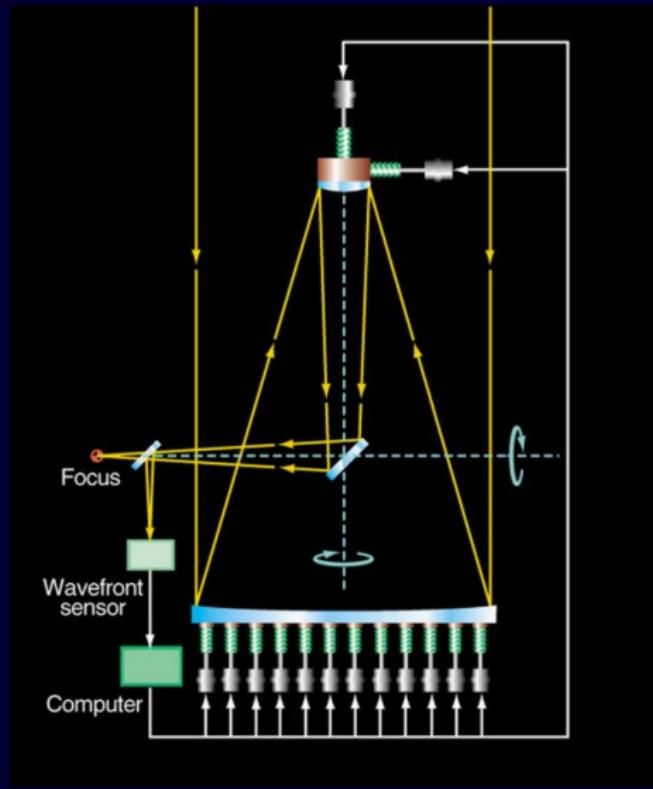


## Телескоп Кеплера

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).

# Активная оптика



GTC

Зеркало — 17т.

# Спекл-интерферометрия

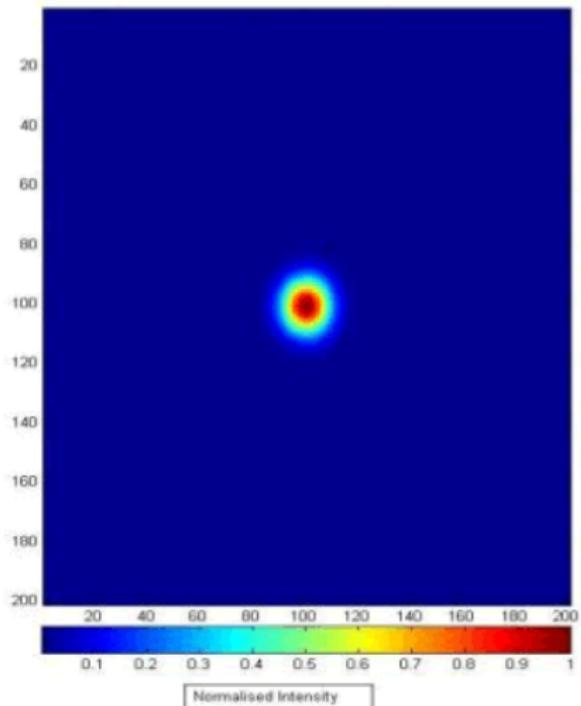


Fig.2.A: No Turbulence

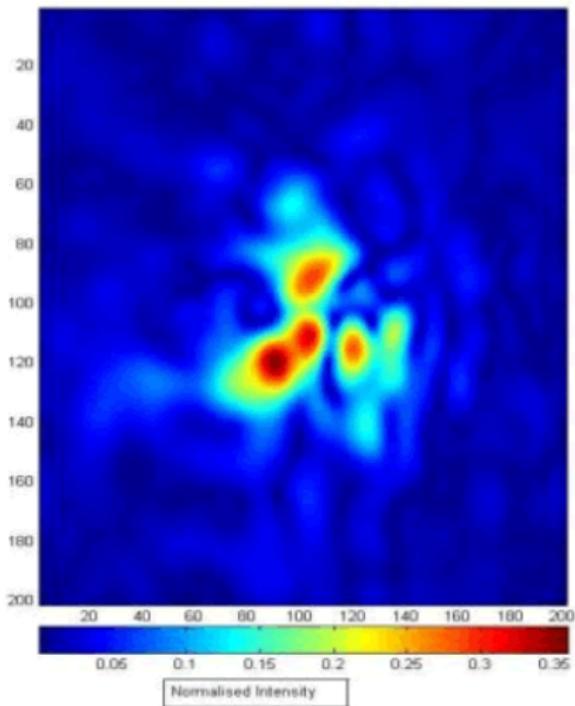


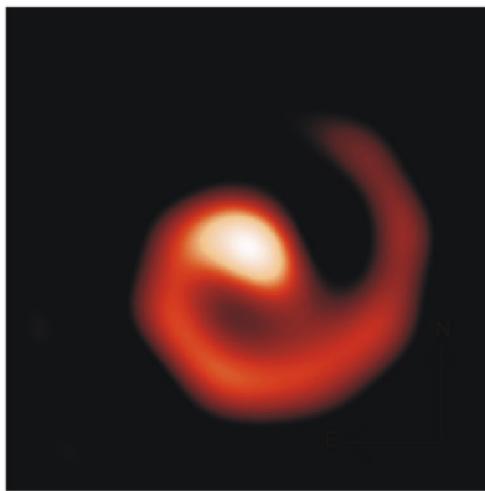
Fig.2. B: Strong Turbulence

# Спектр-интерферометрия

WR 104 at 2.27 Microns

April 98

1/10 ARCSSEC



160 AU

# Адаптивная оптика

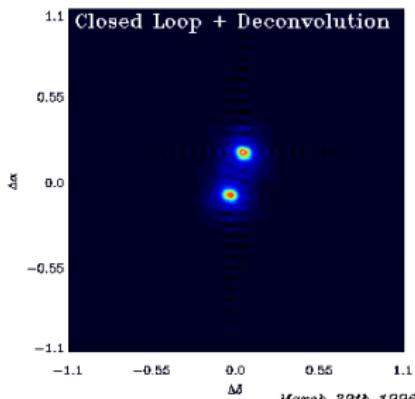
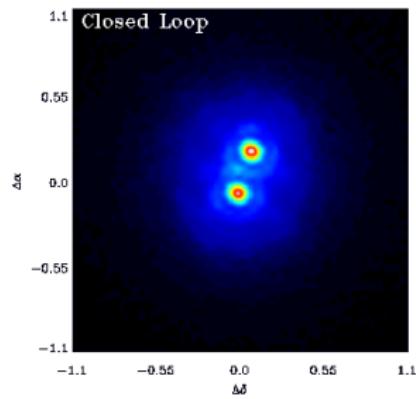
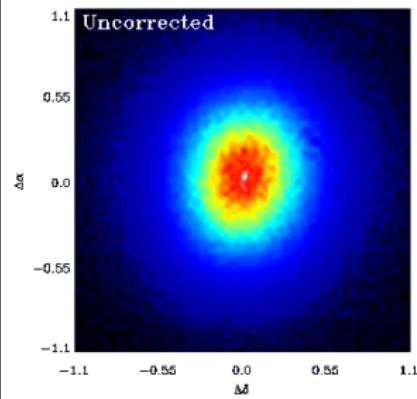
30  $\div$  60 mas. Искусственные звезды: звезды Рэлея (ближний ИК, 15  $\div$  25 км) и натриевые (80  $\div$  100 км, 589 нм).

## CFHT Adaptive Optics Bonnette & Monica

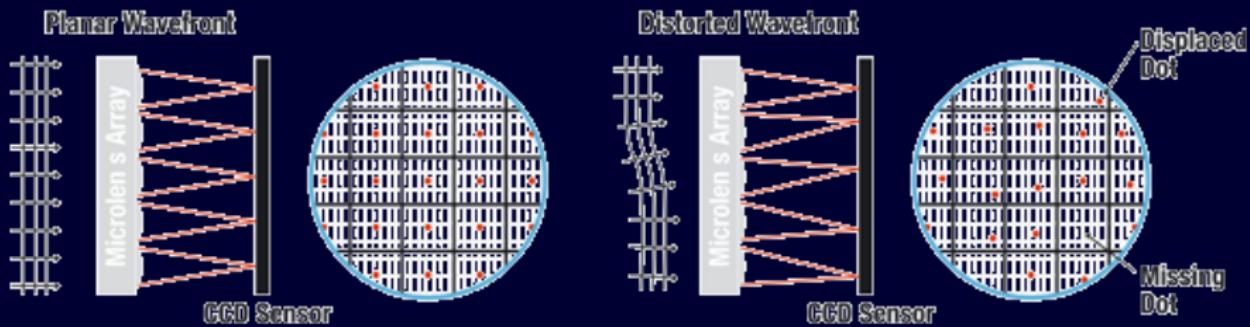
Double star, separation=0.276"  
Seeing=0.7" @ 0.5mic

Magnitude=10.7  
Strehl Ratio=30%

H band, Integration=40 sec  
Maximum likelihood



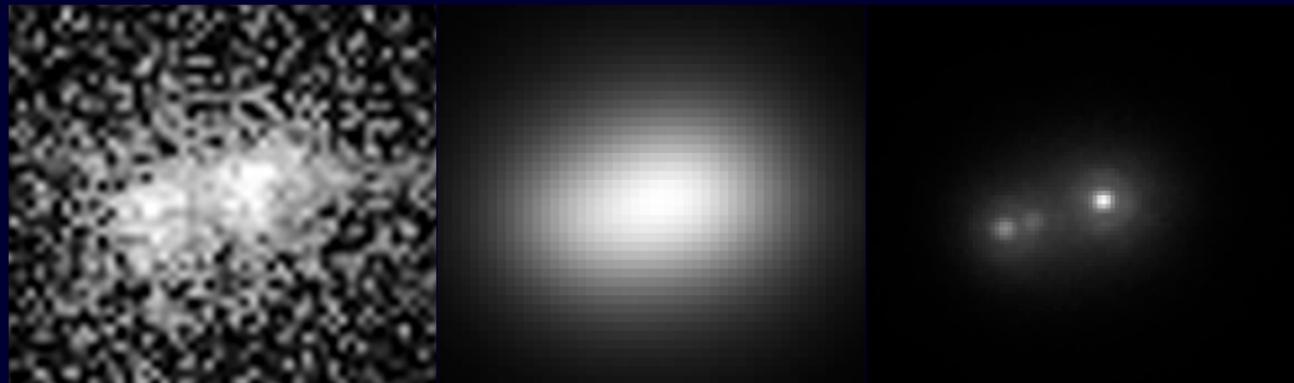
# Адаптивная оптика



# 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](mailto:)

[eddy@sao.ru](mailto:eddy@sao.ru)

[edward.emelianoff@gmail.com](mailto:edward.emelianoff@gmail.com)

