Сто часов астрономии – 2014
ГАИШ МГУ

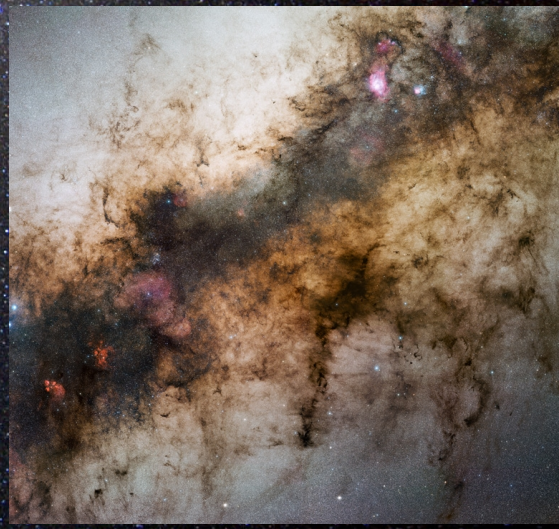
“Каннибализм” в мире галактик

Расторгуев А.С.,

доктор физ.-мат. наук, профессор кафедры экспериментальной астрономии МГУ им. М.В.Ломоносова, заведующий отделом изучения Галактики и переменных звёзд ГАИШ МГУ http://lnfm1.sai.msu.ru/~rastor

Наше место во Вселенной и мир галактик: иерархия структур

Наша спиральная Галактика – Млечный Путь: вид в оптике

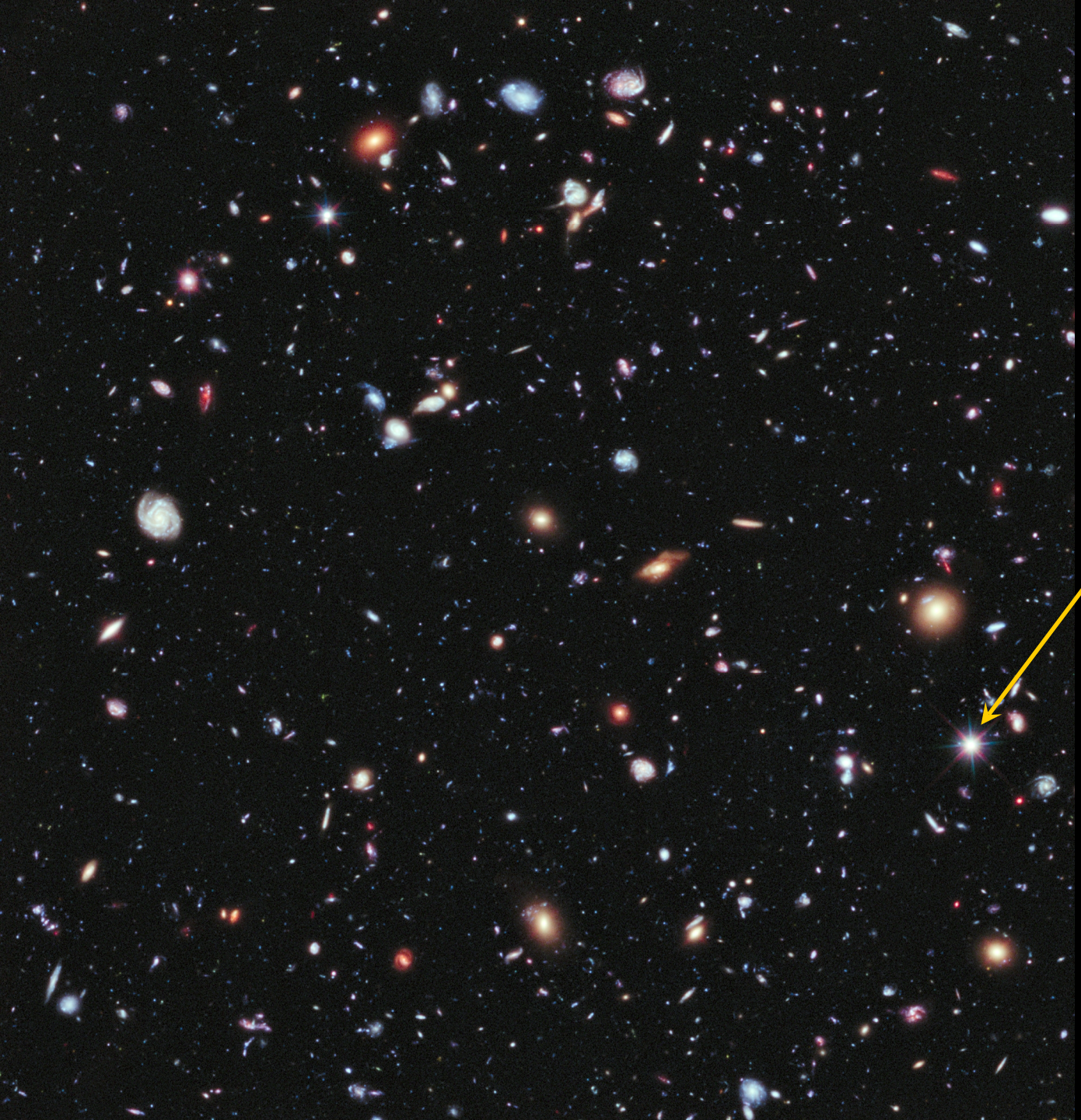


Звёзды, перемешанные с облаками пыли

Размер Хаббловского сверхглубокого поля на небе

Созвездие Печи (Fornax) на южном небе

Много ли галактик во Вселенной ? Какие они ?



Суммарная экспозиция Хаббла ~550 часов за 10 лет

Всего 1 звезда в кадре !

- Галактик на небе в сотни раз больше, чем звёзд !

Хаббловкая схема классификации галактик по морфологическим типам (внешний вид, строение): начало XX века

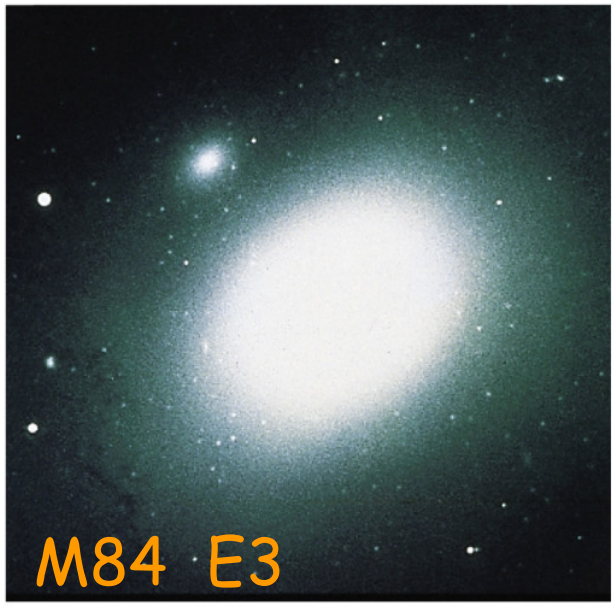
"Вечный" вопрос:

Есть ли эволюционная связь между галактиками разных типов на Хаббловской классификационной схеме ?

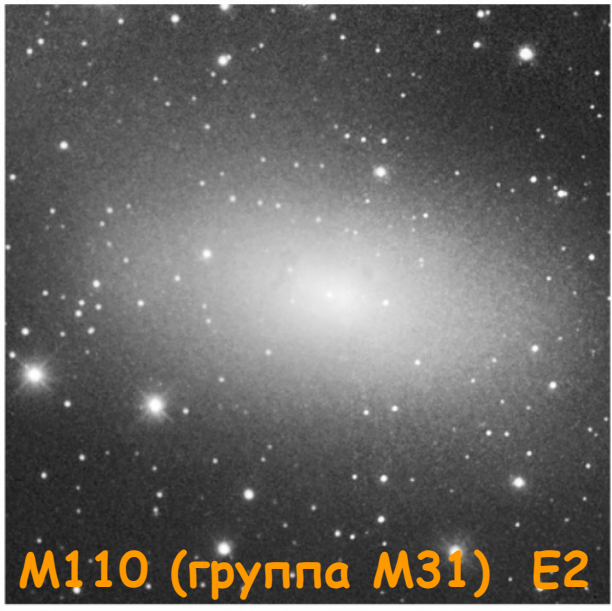
Эллиптические галактики

M87 E1 (центр скопления в Деве)

M49 E2



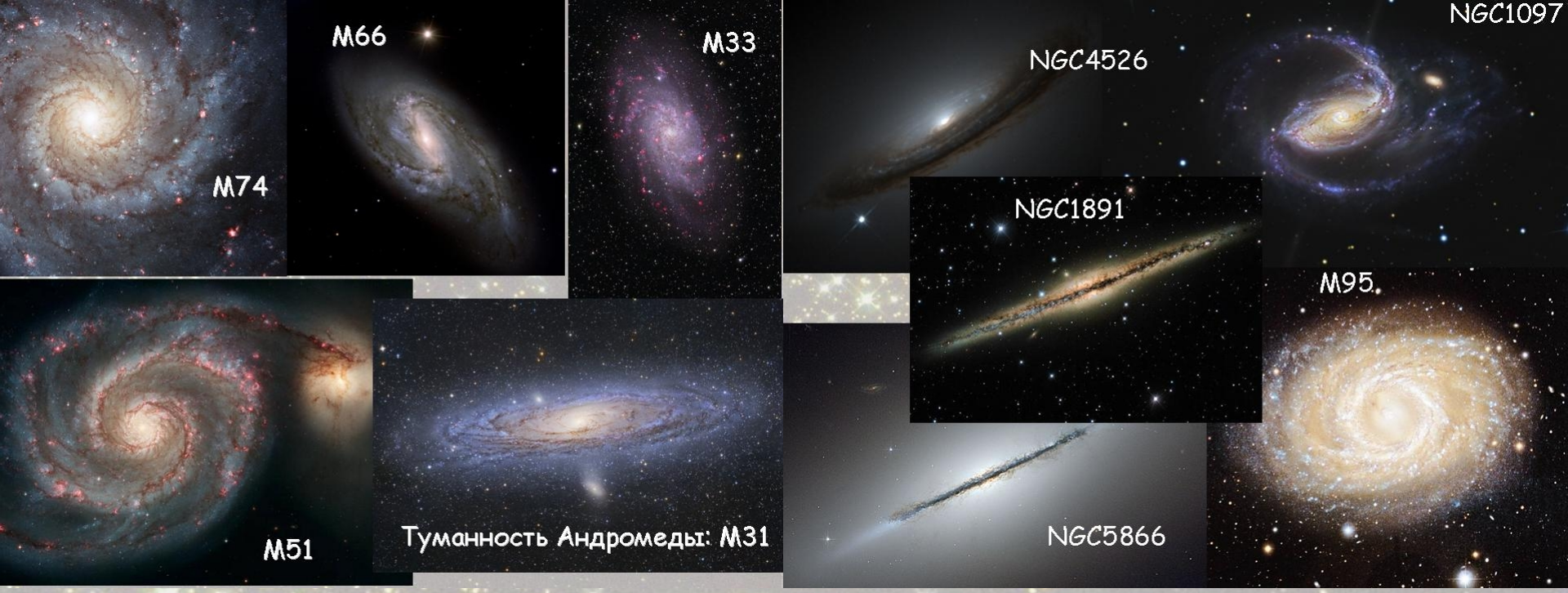
M84 E3



M110 (группа M31) E2

- Правильные эллипсоидальные формы
- Практически нет газа, пыли и молодых горячих (голубых) звёзд; видны в основном старые (красные) звёзды
- Вращаются, как правило, медленно, но скорости звёзд на вытянутых орбитах достигают ~200-300 км/с

NGC 1132



Спиральные галактики:

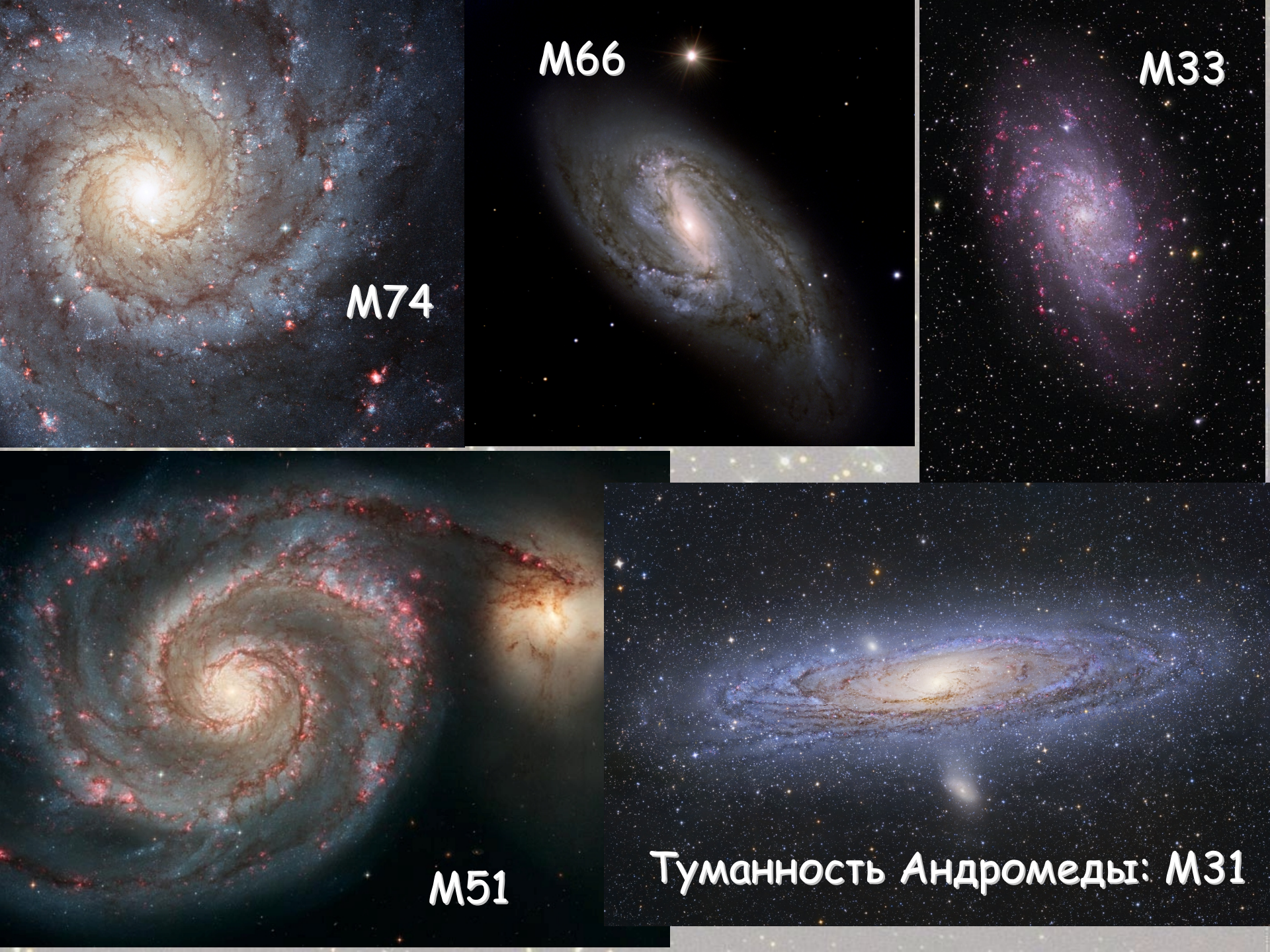
Дисковидные; показывают богатство и многообразие форм и сложное многокомпонентное строение

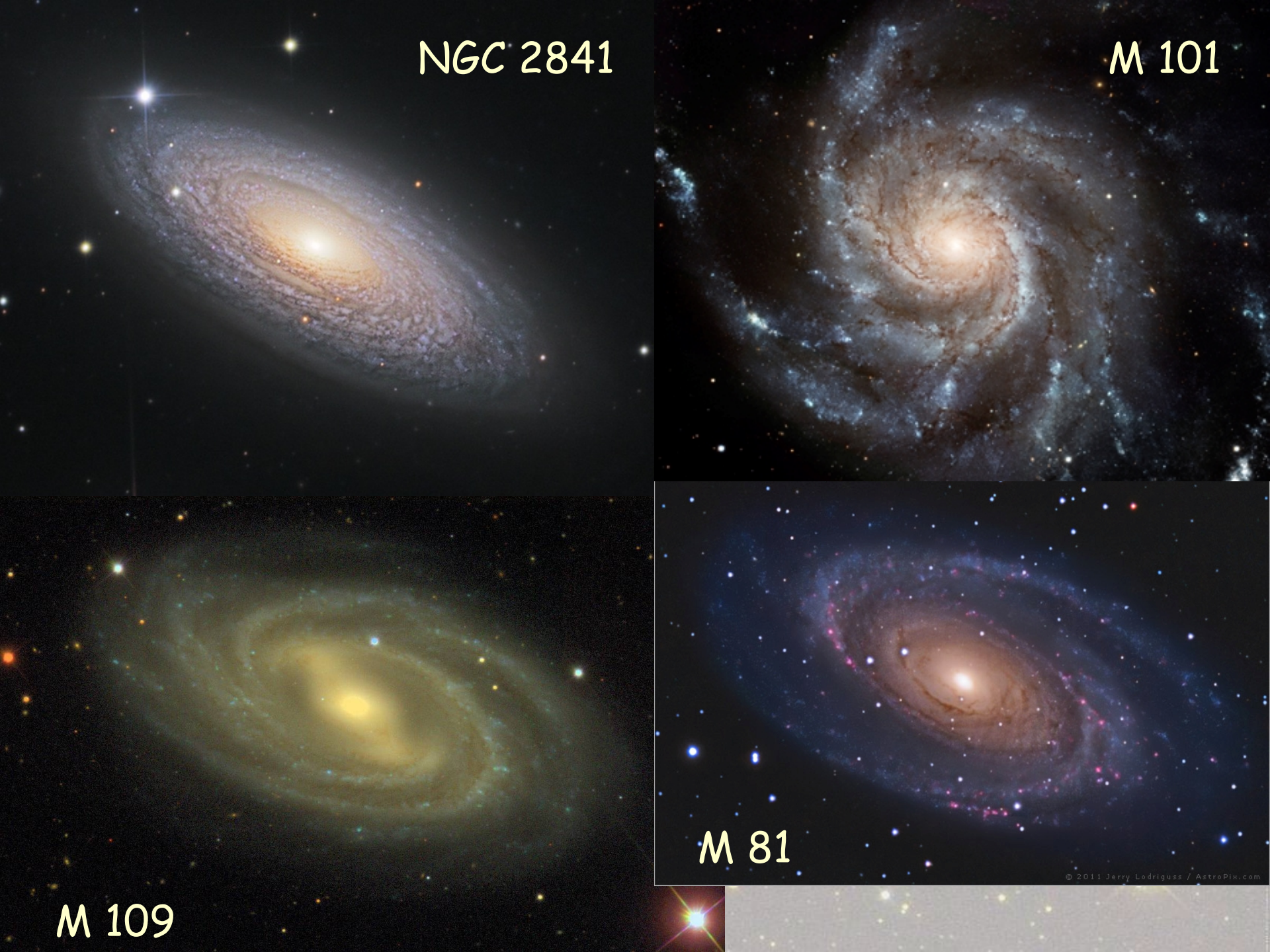
Много газа и пыли (пыль: плохо для наблюдений)

Много молодых горячих (голубых) звёзд

Быстрое вращение (~200-300 км/с)

Спиральный узор


M74
M66
M33
M51
Туманность Андромеды: M31


NGC 2841
M 101
M 81
M 109
© 2011 Jerry Lodriguss / AstroPix.com

Пыль в спиральных галактиках

Неоднородное распределение галактик:
Местная Группа галактик (Млечный Путь,
Туманность Андромеды (M31)
и их ярчайшие спутники)

Диаметр ~ 2 Мпк

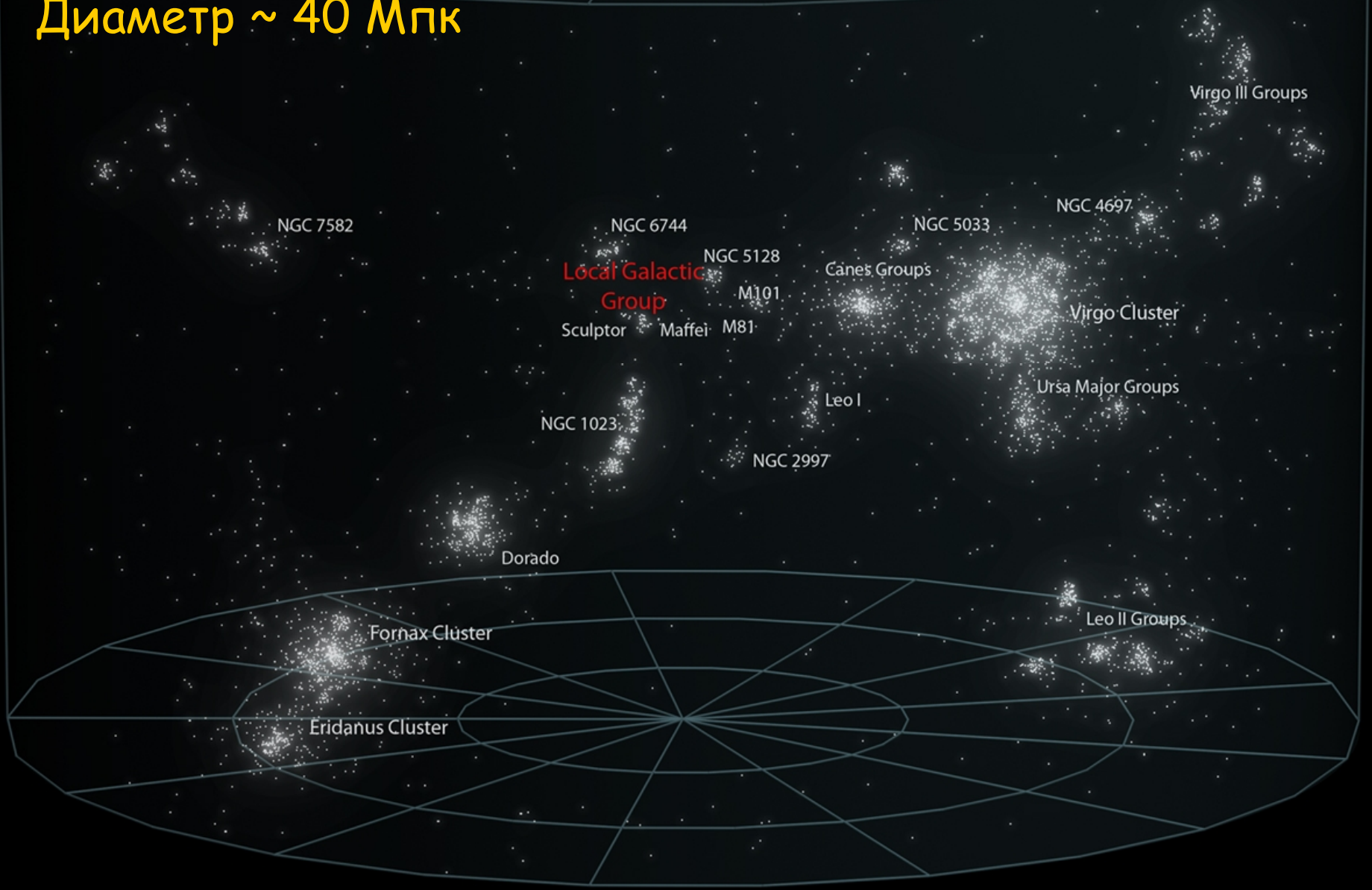
Современный списочный состав Местной Группы (~50 членов)

MW	
M31	S
M33, NGC598	S
M110, NGC205	E
M32, NGC221	E
SMC, NGC292	SB(s)m pec.
LMC	Irr/SB(s)m
WLM, DDO221	Ir+
IC10	KBm/Ir+
CMa Dwarf	Irr
Pis Dwarf	Irr
IC1613, UGC668	IAB(s)m V
Phe Dwarf	Irr
Leo A, Leo III	Irr/SB(s)m
Sex B, UGC5373	Ir+IV-V
NGC3109	Ir+IV-V
Sex A, UGCA205	Ir+V
NGC147, DDO3	dE5 pec.
Sgr DIrrG	IB(s)m V
NGC6822	IB(s)m IV-V
Peg DIrrG	Irr
Boo	dSph
Cet	dSph/E4
CVn I	dSph
CVn II	dSph
And III	dE2
NGC185	DE3 pec.
And I	dE3 pec.
Scl, E351-G30	dE3
And V	dSph
And II	dE0
For, E356-G04	dSph/E2
Car, E206-G220	dE3
Ant	dE3
Leo I, DDO74	dE3
Sex	dE3
Leo II, Leo B	dE0 pec.
UMi	dE4
Dra, DDO208	dE0 pec.
Sgr DEllG	dSph/E7
Tuc	dE5
Cas	dSph
Peg, And VI	dSph
UMa I	dSph
UMa II	dSph
Vir Stream	dSph remn. ?
Willman I	dSph/GC ?
And IV	Irr ?
UGCA86, 0355+66	Irr, dE/S0 ?
UGCA92, EGB0427+63	Irr, S0 ?

GR8, DDO155	Im V	nonmemb. ?
IC5152	IAB(s)m IV	nonmemb. ?
NGC55	SB(s)m	nonmemb. ?
Aqr, DDO210	Im V	nonmemb. ?
NGC404	E0/SA(s)0	nonmemb. ?
NGC1569	Irp+ III-IV	nonmemb. ?
NGC1560, IC2062	Sd	nonmemb. ?
Cam A	Irr	nonmemb. ?
Car II, Argo Dwarf	Irr	nonmemb. ?
ESO 347-8, 2318-42	Irr	nonmemb. ?
UKS 2323-326	Irr	nonmemb. ?
UGC9128, DDO187	Irp+	nonmemb. ?
Sex C	?	nonmemb. ?

Местная Группа – периферийная часть Местного Сверхскопления галактик (с центром в скоплении в Деве)

Диаметр ~ 40 Мпк



Близкие сверхскопления галактик и пустоты ("войды")

Как астрономы изучают историю Вселенной и её строение

Красное смещение спектральных линий $z = \Delta\lambda / \lambda$ характеризует не только скорость удаления галактик, но и их расстояние и видимый возраст

- **Эффект Доплера** в астрономии – основной способ измерения скоростей звёзд и галактик
- $z = \Delta\lambda / \lambda = V / c$

(c – скорость света, V – скорость источника)

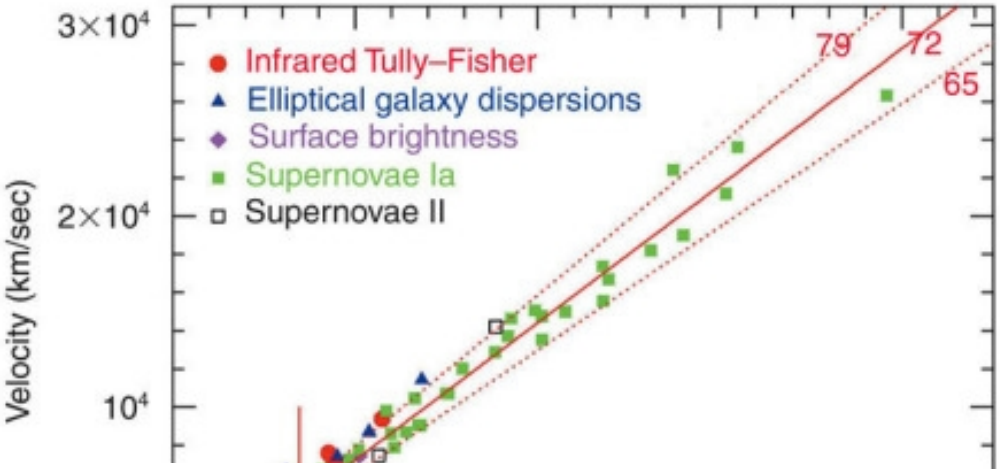
- При удалении объекта $\Delta\lambda > 0$ – видим смещение спектральных линий в **красную сторону (красное смещение),** а при приближении – в синюю сторону

- $z = \Delta\lambda / \lambda$ – **"красное смещение"**
- Э.Хаббл и В.Слайфер (1916-1929) – обнаружение *красных смещений* галактик; гипотеза расширения Вселенной:

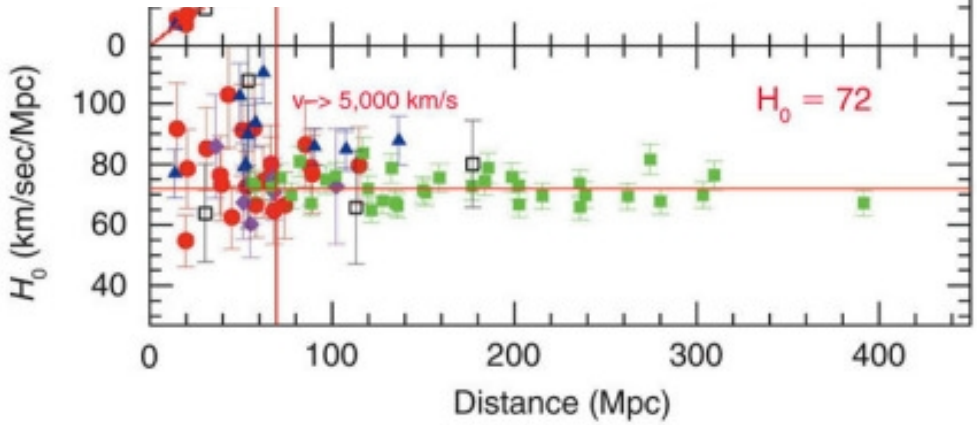
красные смещения близких галактик пропорциональны их расстояниям:

- $V \approx H_0 \cdot D$,
- $H_0 \approx 70$ *км/с/Мпк* – постоянная Хаббла

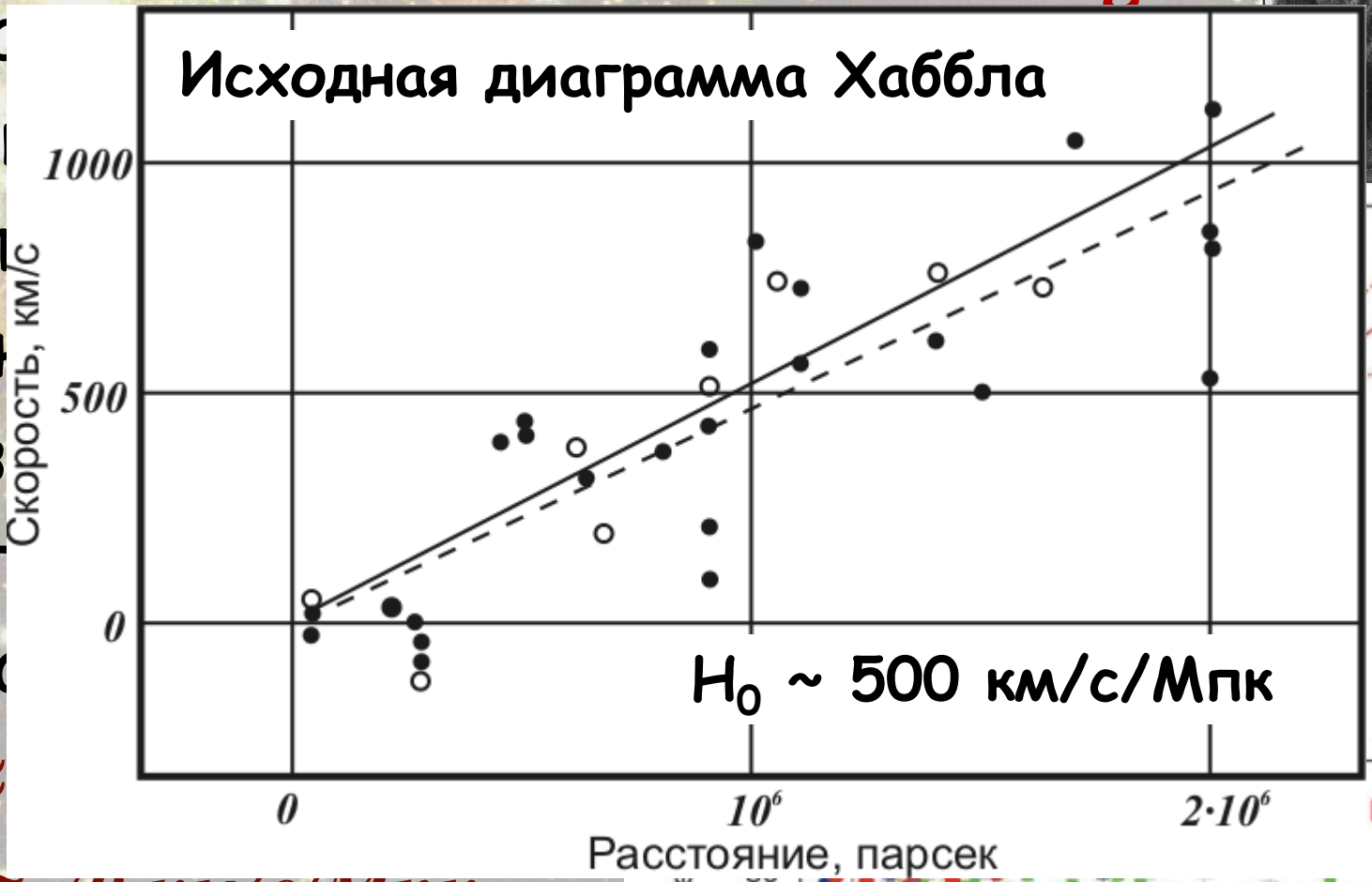
Исходная диаграмма Хаббла

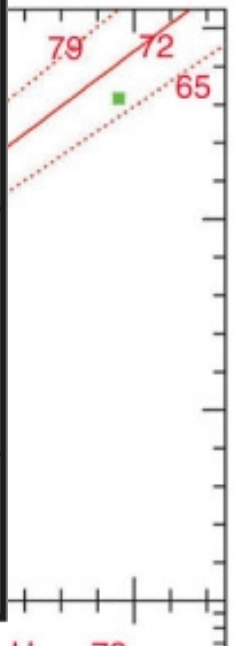


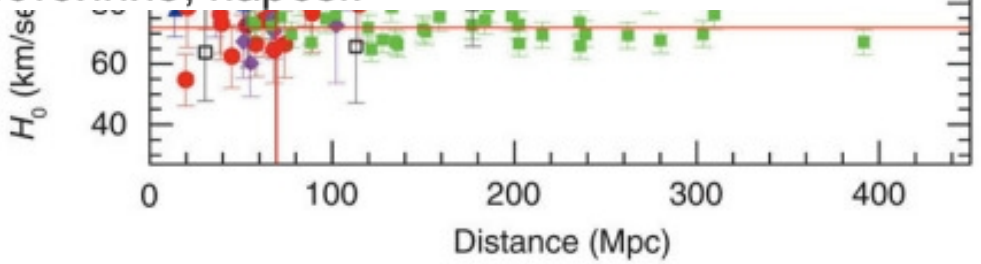
H_0 ~ 500 км/с/Мпк



- $z = \Delta\lambda / \lambda$ – "красное смещение"
- Э.Хаббл и В.Слайфер (1916-1929) – обно
гала
Всел
крас
близ
прог
их ро
- $V \approx$
- $H_0 \approx 70$ км/с/Мпк – постоянная Хаббла







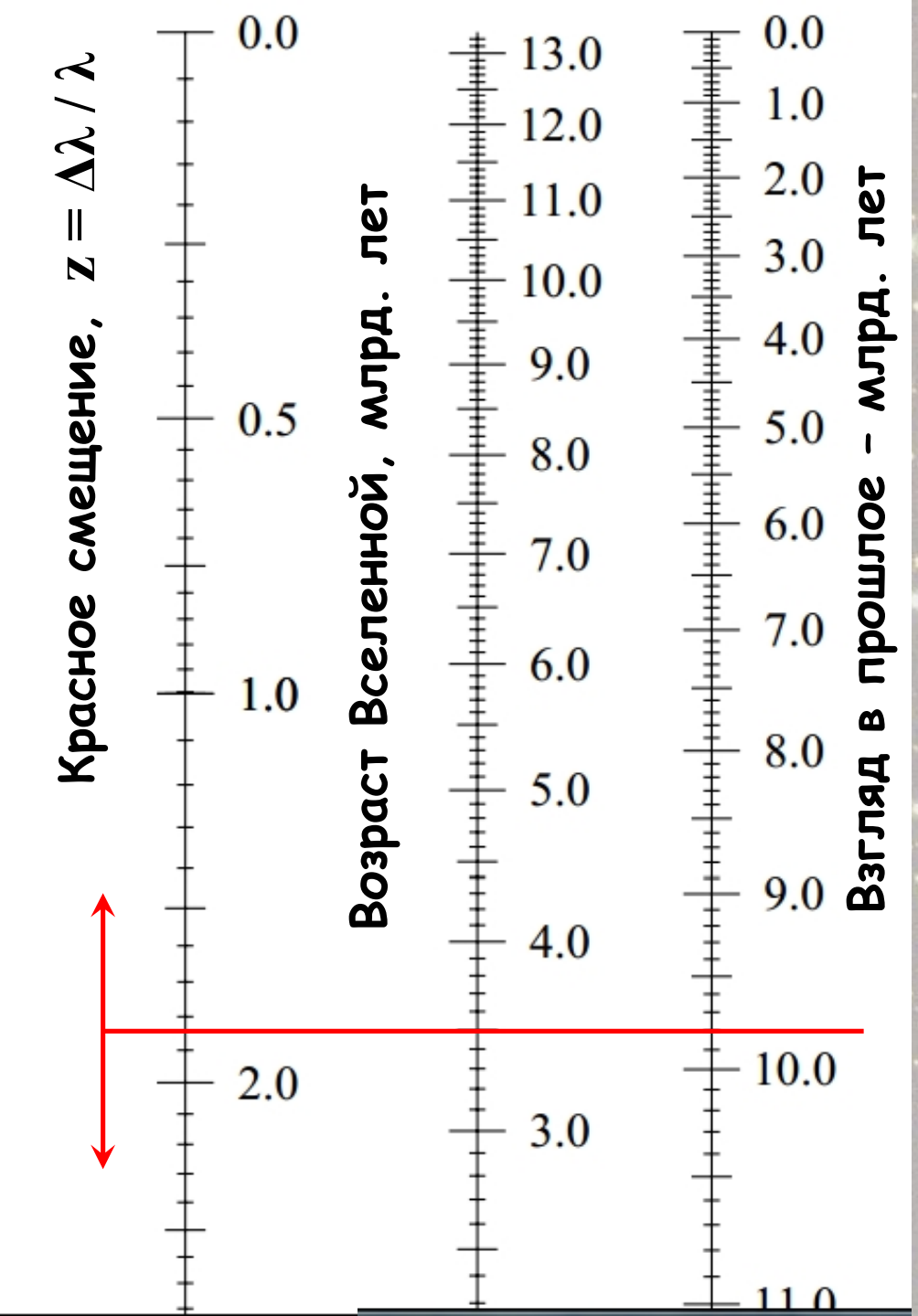
- Чем дальше галактика, тем больше скорость её удаления от нас
- Чем дальше галактика, тем больше времени требовалось на то, чтобы её свет дошёл до нас

- Относительно близкие галактики мы видим такими, какими они были в момент испускания света, т.е. $T \approx D / c$ лет назад (в нерелятивистском случае) – **фактически заглядываем в прошлое – у астрономов есть "машина времени" !**

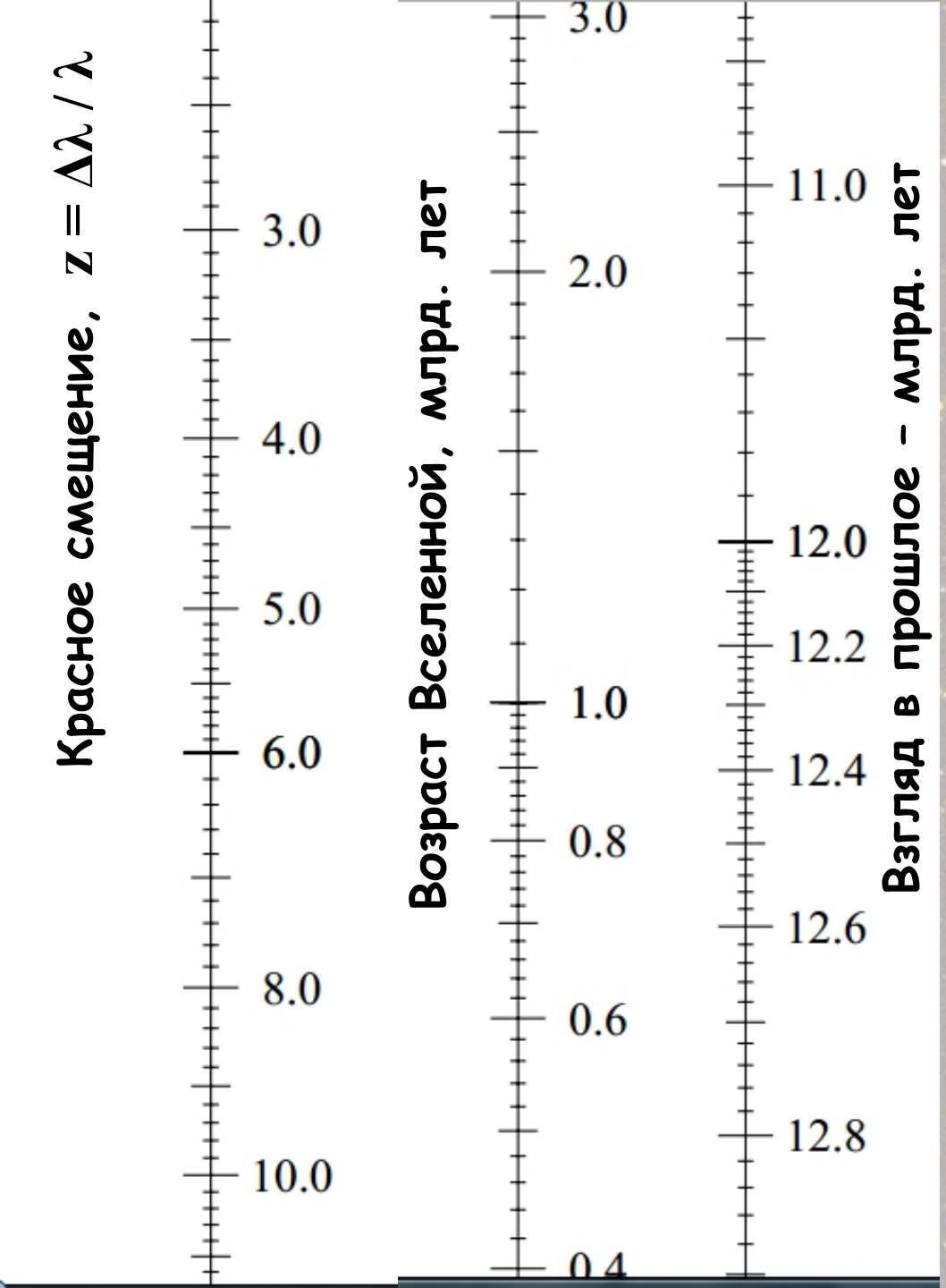
В релятивистском случае сложнее: время, на которое мы "заглядываем в прошлое", т.е время распространения света от изучаемой галактики с красным смещением z до нас, равно

$$T(z) = \int_0^z \frac{dz'}{H(z') \cdot (1 + z')}$$

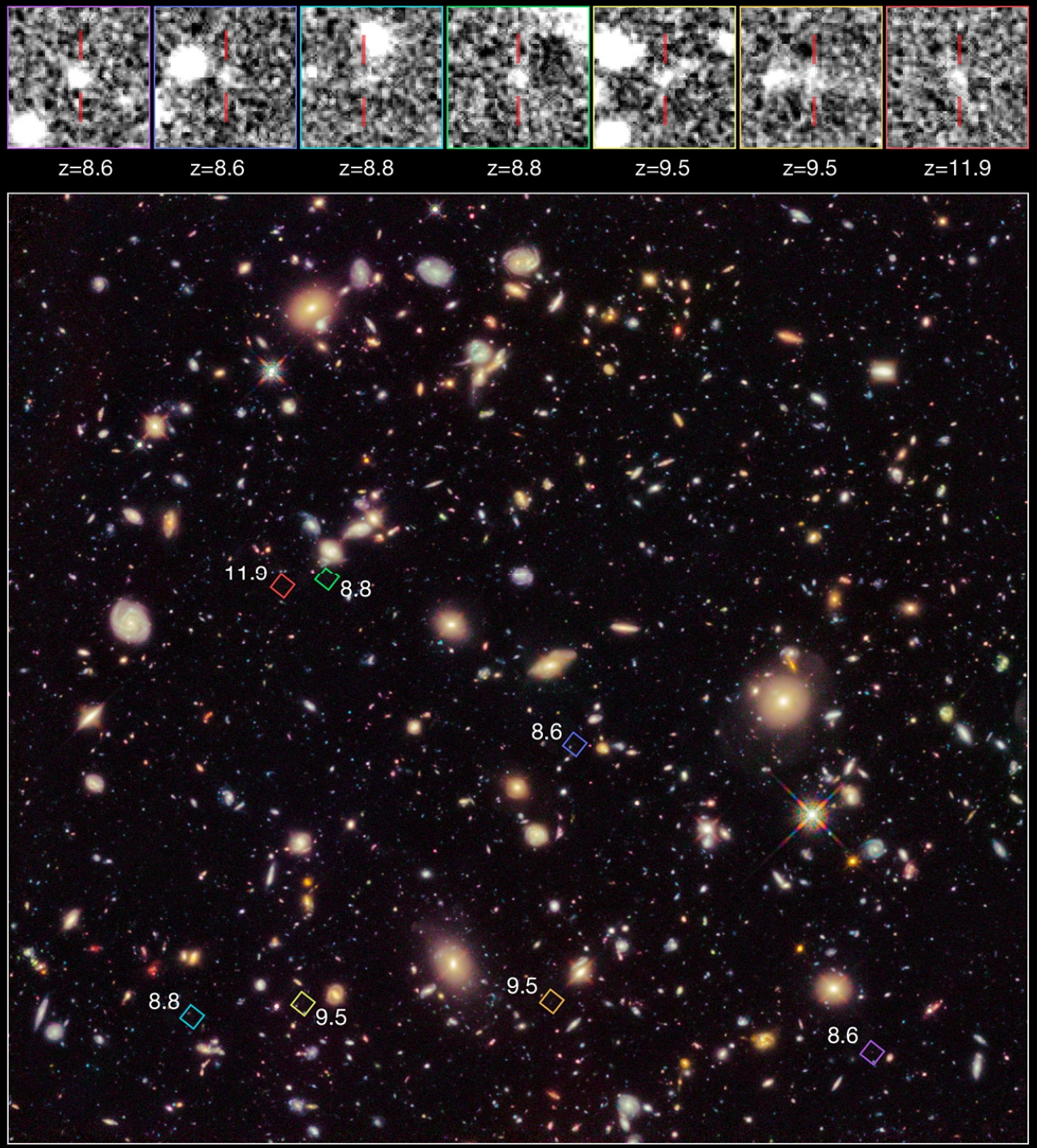
где $H(z')$ – значение постоянной Хаббла для эпохи z' ($H_0 \approx 70$ км/с/Мпк – современное значение постоянной Хаббла)



- Связь между красным смещением $z = \Delta\lambda / \lambda$, возрастом Вселенной и "заглядыванием в прошлое"
- $z < 2.5$



- Связь между красным смещением $z = \Delta\lambda / \lambda$, возрастом Вселенной и "заглядыванием в прошлое"
- $2.5 < z < 10.5$



Hubble XDF: Хаббловское сверхглубокое поле

Множество галактик разного возраста

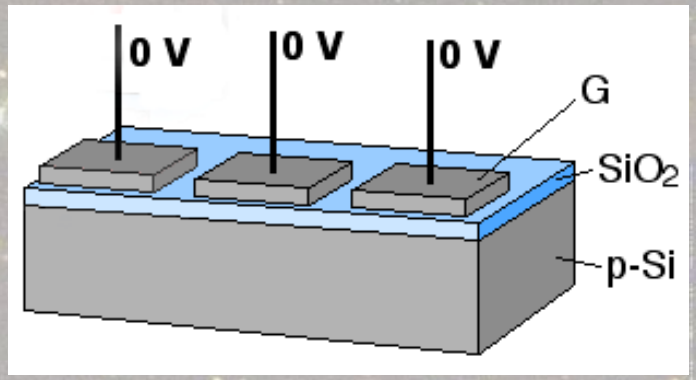
До z ≈ 11.9 (возраст Вселенной в тот момент был ~400-600 млн. лет; уже тогда были галактики !)

Астрономические проекты, изменившие взгляд на природу и жизнь Вселенной

- **HST – космический телескоп "Хаббл"**
  SDSS – Слоановский обзор неба
  2MASS – "всенебесный" инфракрасный обзор
  WMAP и Planck – изучение неоднородностей распределения реликтового излучения

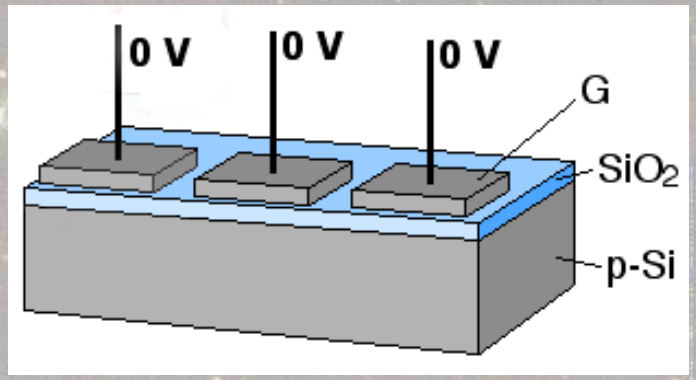
Из космоса виднее…
Больше спектров, хороших и разных
ИК-диапазон: видим сквозь пыль

- **Современные успехи астрономии связаны с**
  - Использованием больших телескопов (с диаметром зеркал более 5 м; сейчас их более 10) в местах с хорошим астроклиматом, а также космических телескопов
  - Разработкой и применением новых панорамных приёмников ков излучения с высоким кван-товым выходом (ПЗС-матриц)



  - Применением систем адаптивной и активной оптики для повышения эффективности наблюдений (оптика, ИК)
  - Наблюдениями во всех диапазонах спектра (гамма – рентген – ультрафиолет – оптика – ИК – микроволновый – радио): всеволновая астрономия

- **Современные успехи астрономии связаны с**
  - Использованием больших телескопов (с диаметром зеркал более 5 м; сейчас их более 10) в местах с хорошим астроклиматом, а также космических телескопов
  - Разработкой и применением новых панорамных приёмников ков излучения с высоким кван-товым выходом (ПЗС-матриц)

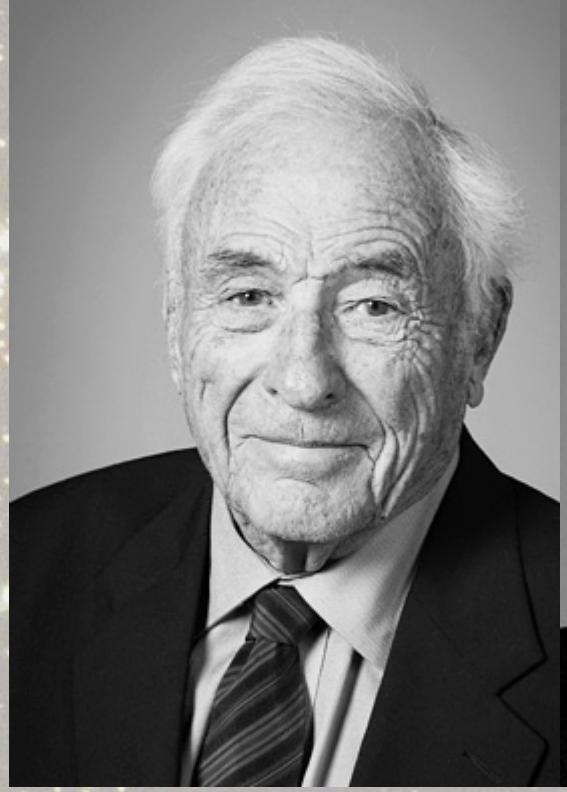


  - Применением систем адаптивной и активной оптики для повышения эффективности
  -

Слабейшие звёзды, видимые глазом +6m (V)
Самые слабые доступные телескопам звёзды:
+29…+30m (V)
Различия в блеске **~3-5 млрд. раз** !!!

ия

- У.Бойл и Дж.Смит – Нобелевская премия (2009) за изобретение ПЗС-приемников излучения (AT&T Bell Labs, 1969)



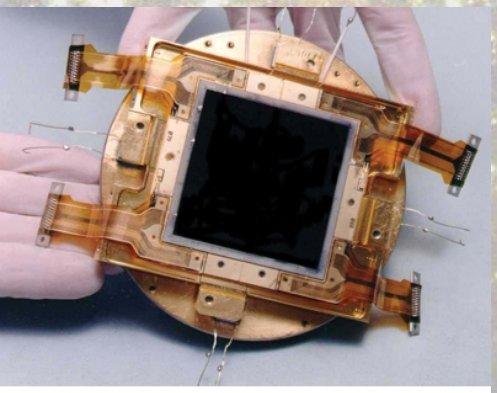
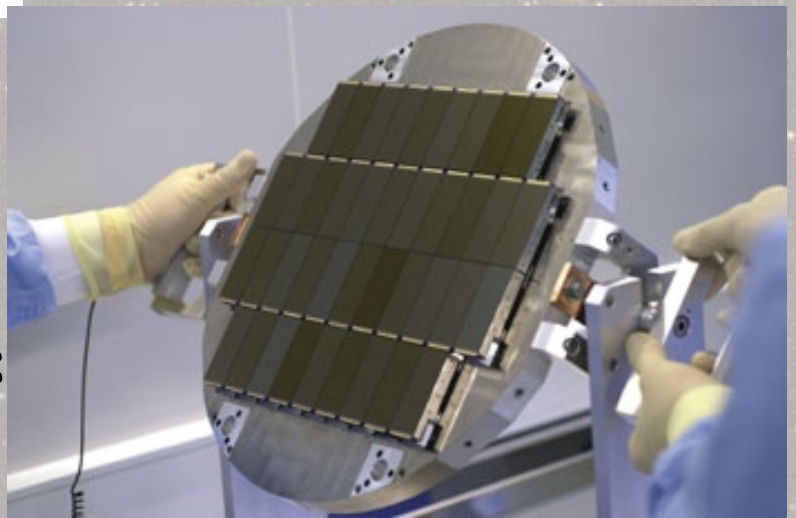
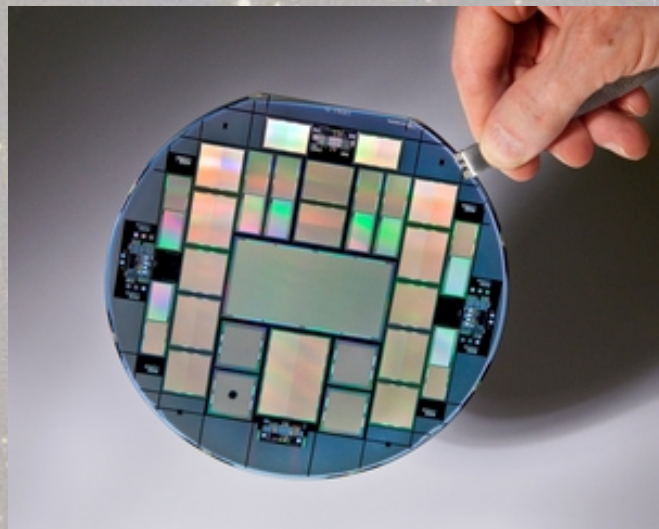


Figure 1. The Hubble Space Telescope Wide Field Camera 3 focal plane.

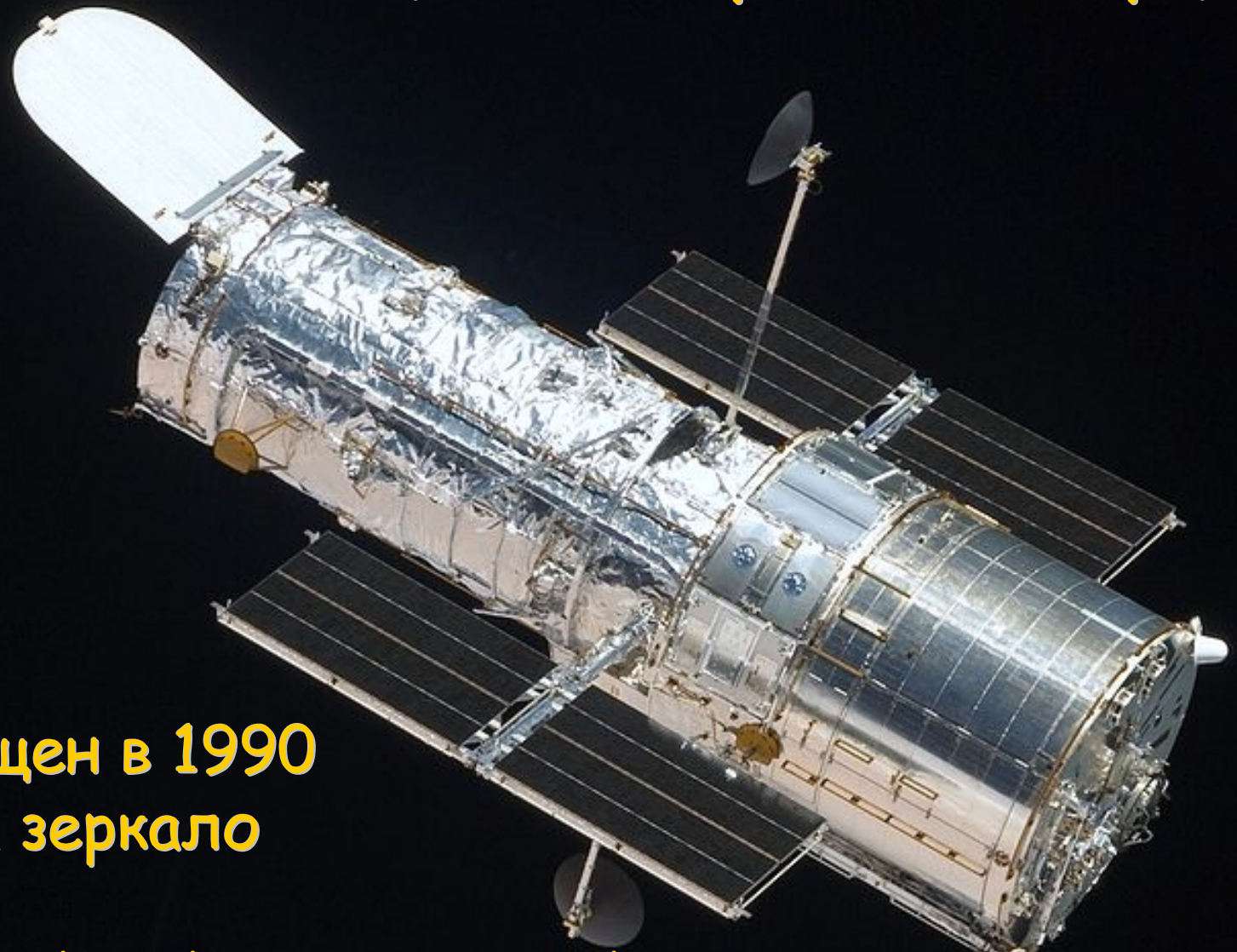
HST WFPC3

Мозаики:





HST (Hubble Space Telescope) NASA



Запущен в 1990
2.4-м зеркало

Крупнейший космический проект, один из наиболее эффективных космических телескопов

- **Направления работы:**

- Прямые изображения и спектры:
  - Заатмосферный UV (0.1-0.3 мкм)
  - Предельно слабые объекты (~30^m), в т.ч. галактики с большими красными смещениями
  - Наблюдения с предельным (дифракционным) угловым разрешением (~0.1 угловой секунды)
  - Космическая астрометрия – расстояния и собственные движения звёзд на малом временном интервале
  - Распределение энергии в спектрах

- **Направления работы:**

- Прямые изо
  - Заатмосфе
  - Предельно
    галактики с большими красными смещениями
  - Наблюдения с предельным (дифракционным) угловым разрешением (~0.1 угловой секунды)
  - Космическая астрометрия – расстояния и собственные движения звёзд на малом временном интервале
  - Распределение энергии в спектрах

Наблюдения с HST принесли революционные результаты во все области современной астрономии и космологии

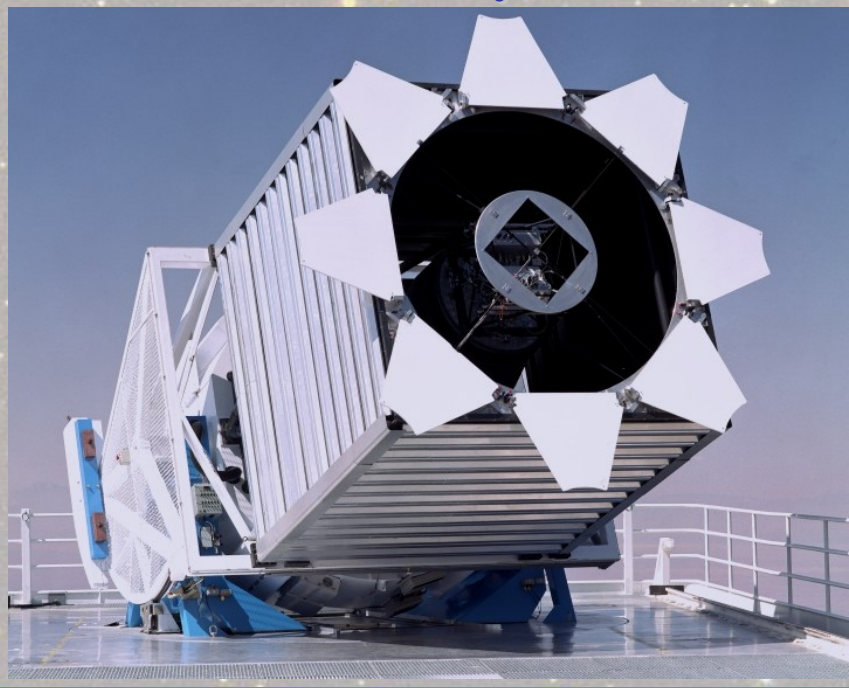
- ***SDSS: Sloan Digital Sky Survey (I-III)***

(начало - май 1998; http://www.sdss.org/)

- > 150 участников из > 25 институтов
- Основные задачи мегапроекта:
  - Получение изображений и измерение блеска всех объектов ярче 23^m
  - Изучение крупномасштабной структуры Вселенной, галактик и скоплений галактик
  - Поиск Сверхновых
  - Поиск новых звездных скоплений и карликовых галактик

- Наблюдения: 2.5-м телескоп в Apache Point, NM (США)
  - Система Ричи-Кретьена
  - светосила 1/5
  - поле зрения 2.5°, 120Мрх камера (30 CCD 2к х 2к)
  - 2 оптоволоконных эшельных спектрографа (по 1000 волокон !),

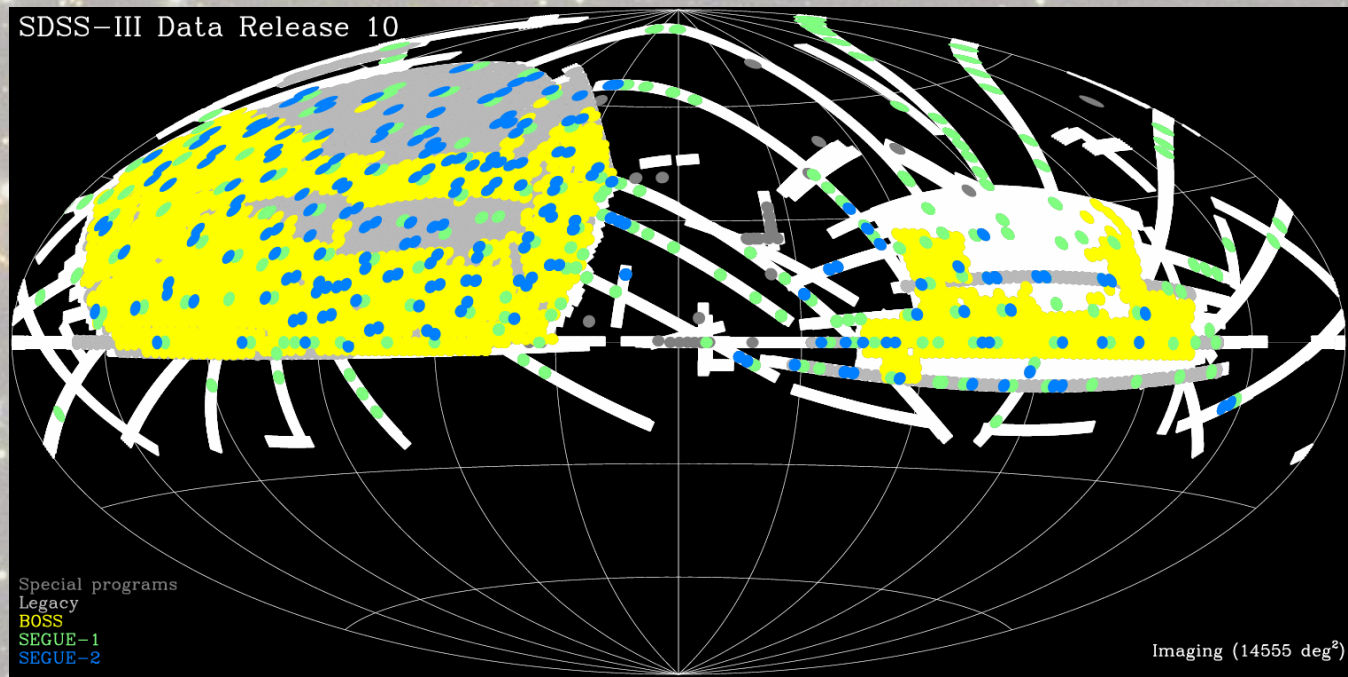
спектр. разрешение R~1850-2200 (±10 км/с)



Планируется установка “двойника” в южном полушарии

- **Data Release 10 (2013)**: покрытие неба
- Изображения: ~14555 кв. град. (~35% небесной сферы)
- Запланирована установка 2-го телескопа SDSS в ЮАР
- **Статистика:**
- **~1 млрд. изображений объектов (пределы u=22^m, z=20.5^m)**
- **~3 млн. спектров, из них:**
- **~1880000 галактик, ~312000 квазаров, ~730000 звёзд**

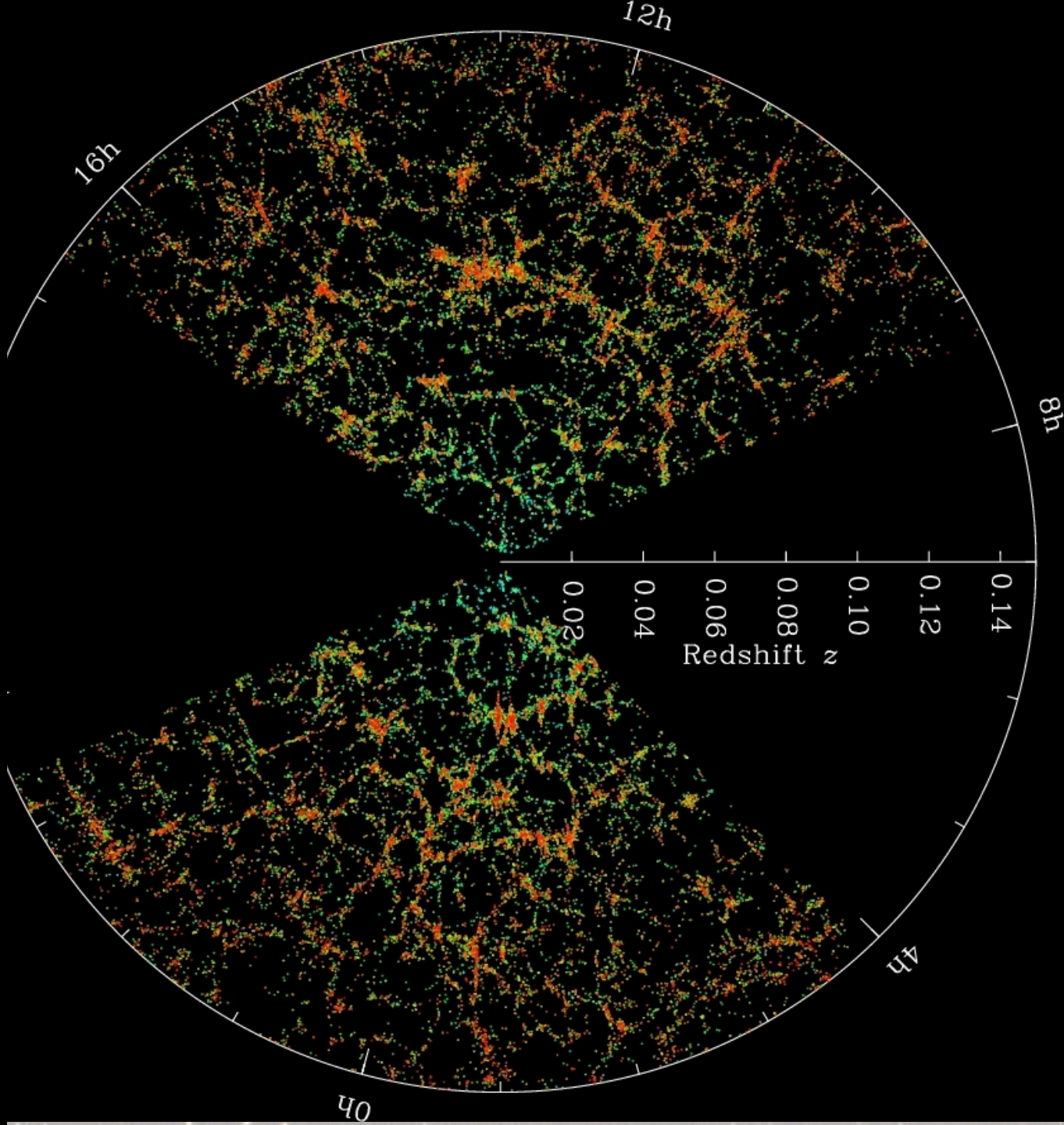
- Карта покрытия неба на 2013



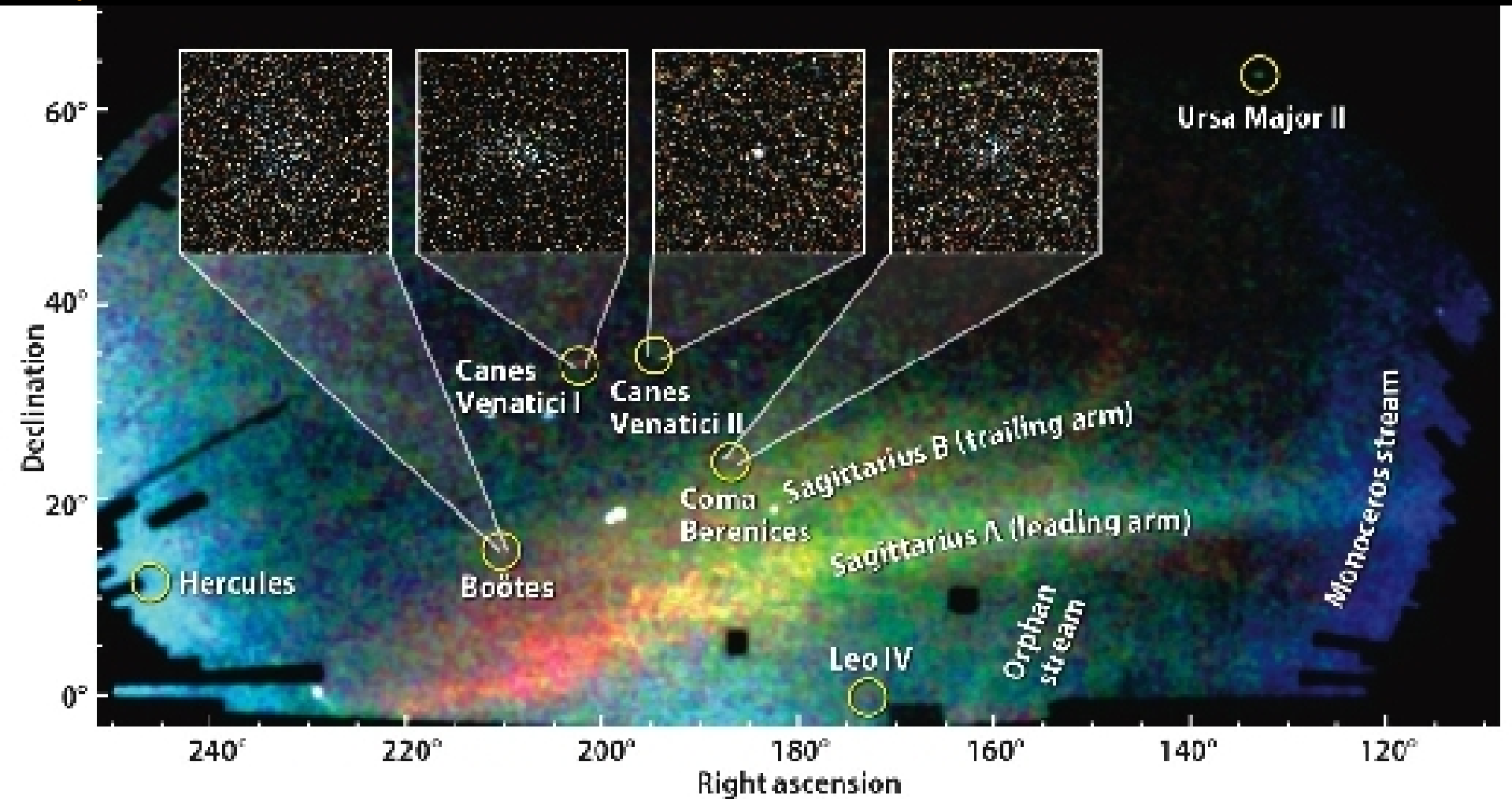
The Sloan Legacy Survey

(расстояния, в т.ч. по фотометрическим красным смещениям, 3D карты -

крупномасштабная структура Вселенной)

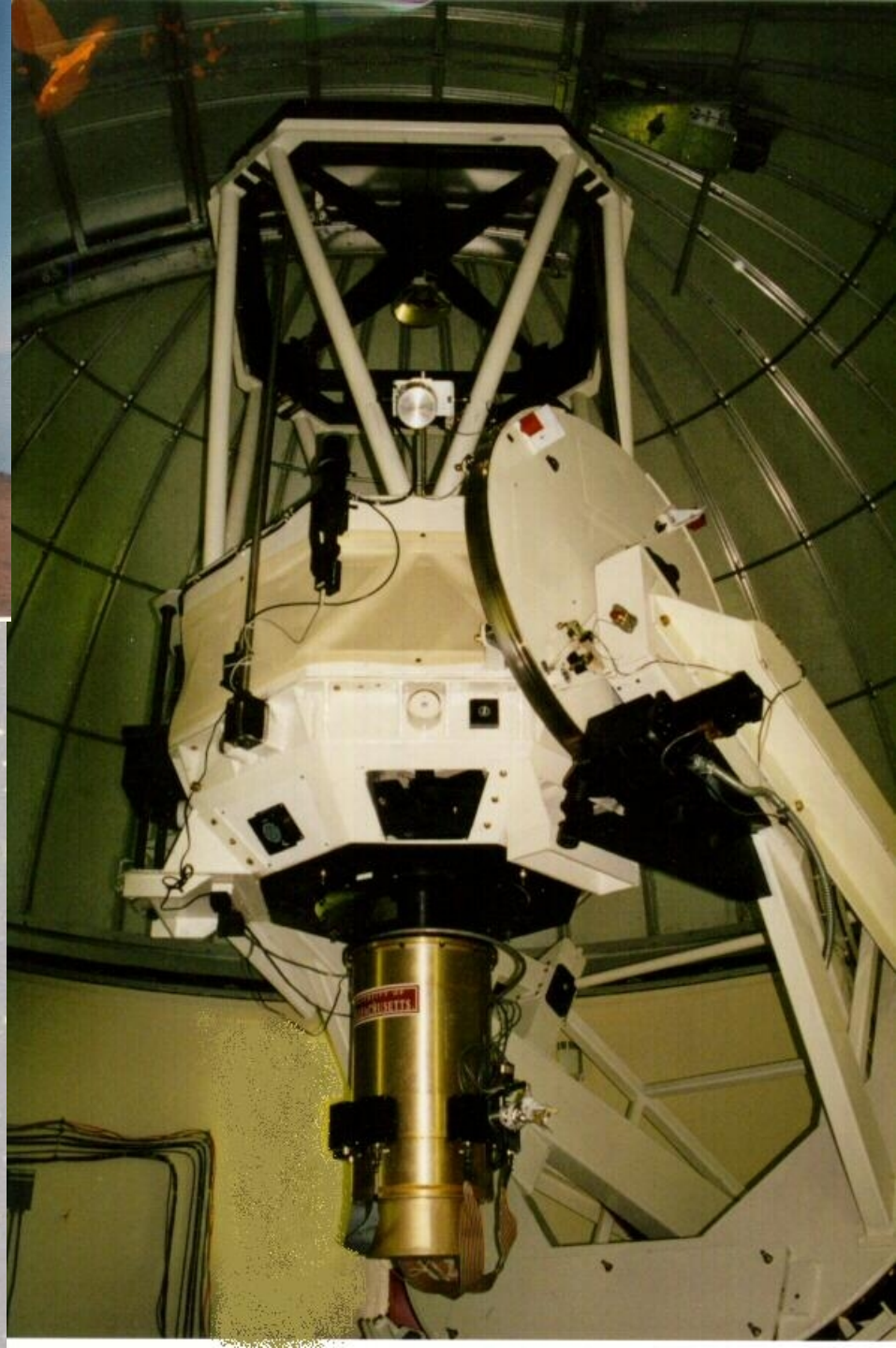


- SEGUE, SEGUE-2 (Sloan Extension for Galactic Understanding and Exploration) - поиск скоплений, карликовых галактик, приливных "шлейфов" - следов их распада



- **2MASS: Two Micron All Sky Survey**
- Два 1.3-м телескопа на Mt. Hopkins, AZ (США) и CTIO (Чили)
- "Всенебесный" фотометрический обзор
- 471 млн. звезд и ~2 млн. далеких галактик (до 16 зв. вел. в ИК полосах JHK, 1.2-2.2 мкм)
- Основное преимущество:
  - Удельное (в расчёте на 1 кпк расстояния) межзвездное поглощение света пылью в 4-5 раз меньше, чем в оптике (до центра Галактики – в 200 тыс. раз меньше !)
  - Видны далекие звезды и галактики

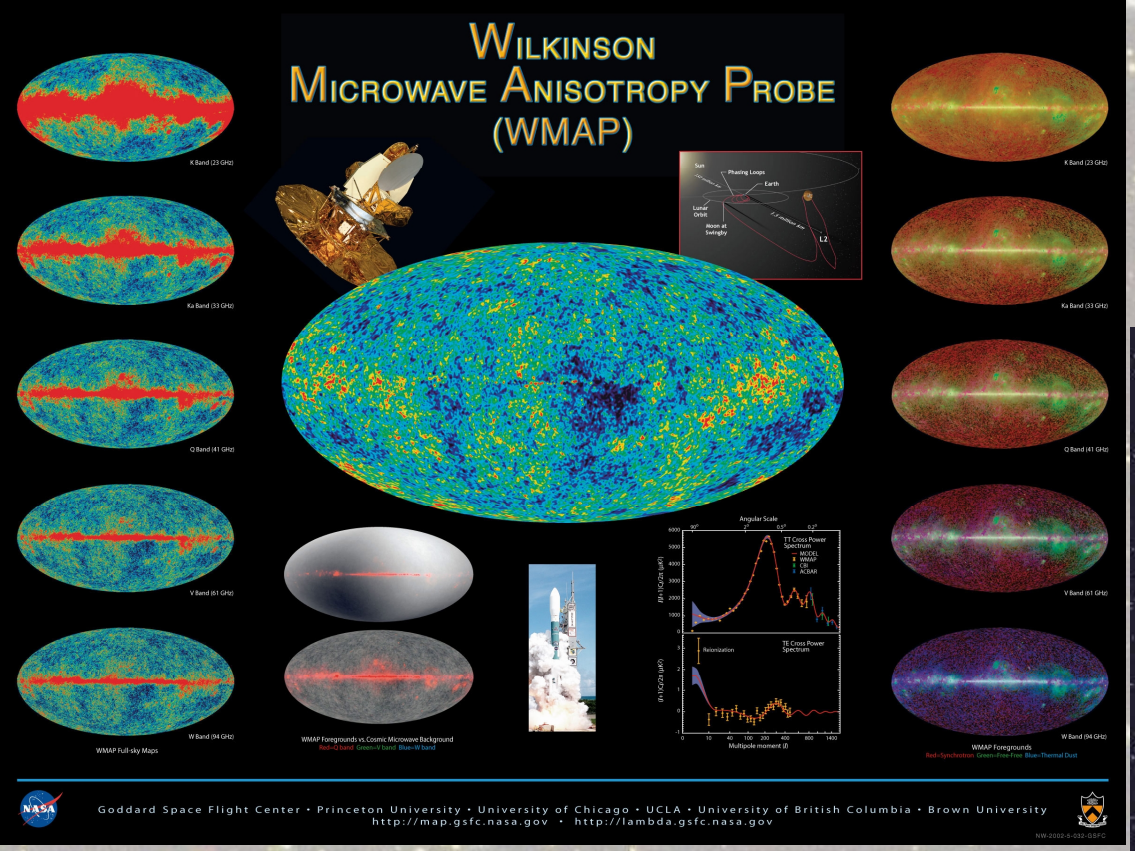
Башня в Аризоне
и 1.3-м телескоп

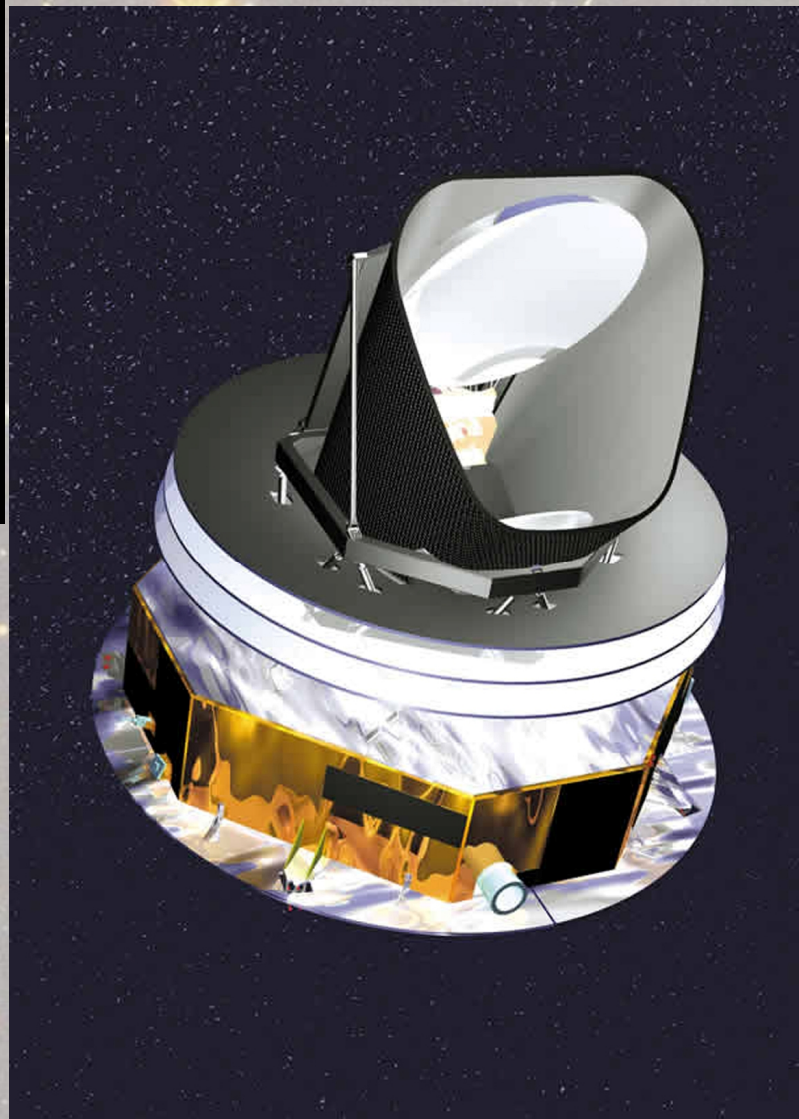


- **WMAP** и **Planck** – космические телескопы микроволнового (миллиметрового) диапазона, предназначенные для

Именно эти крошечные флуктуации плотности вещества на этой стадии существования Вселенной и породили наблюдаемый мир галактик, скоплений и звёзд

- Его современная температура – ***2.72548 K***, а интенсивность во всех направлениях практически одинакова, с небольшими (~0.00001) вариациями (флуктуациями)

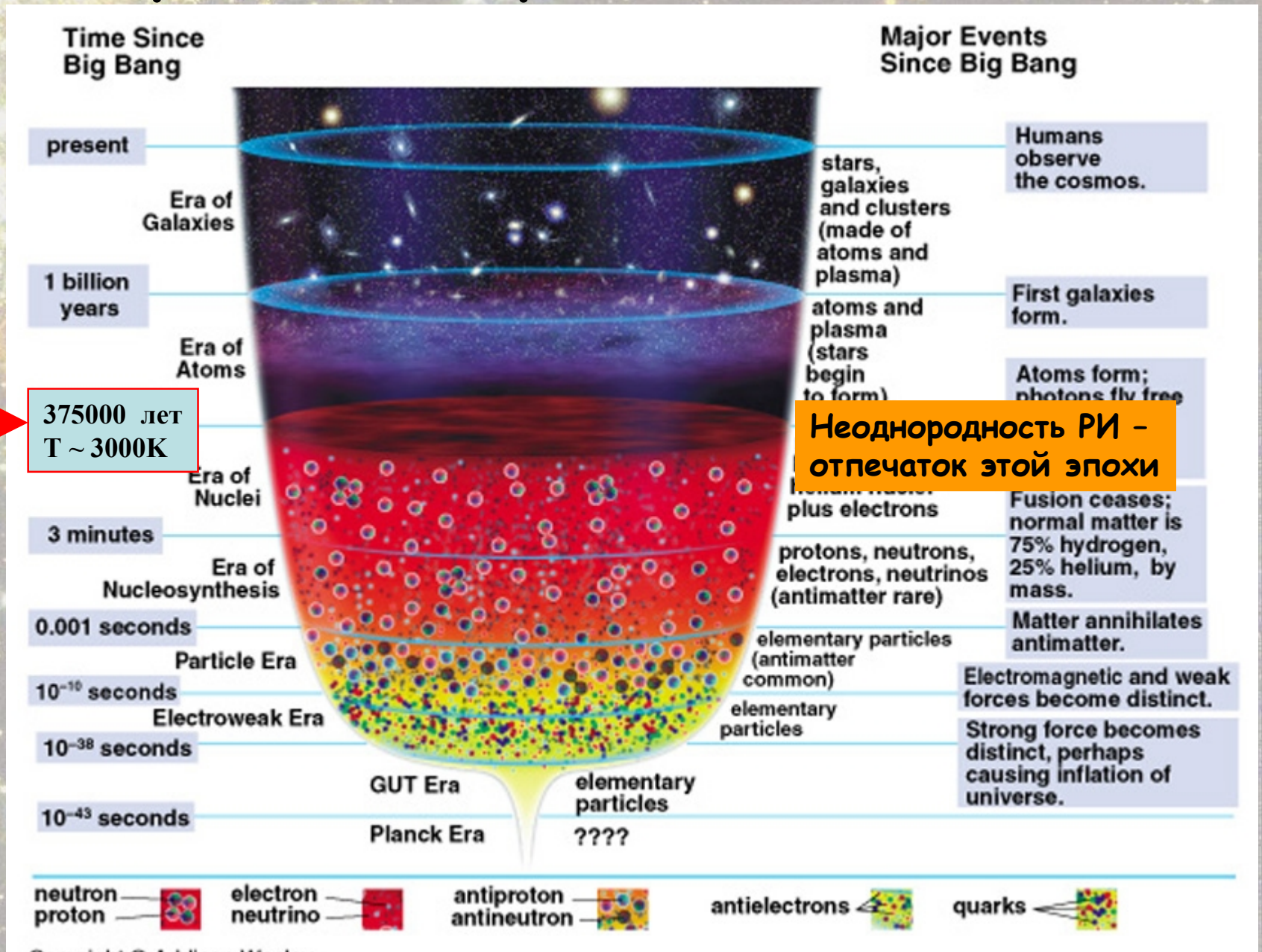




Работа на орбите: 2001 – 2009

- **Planck**
- Работа на орбите: 2009-2013

Краткая история Вселенной



z~1100

375000 лет
T ~ 3000K

Неоднородность РИ – отпечаток этой эпохи

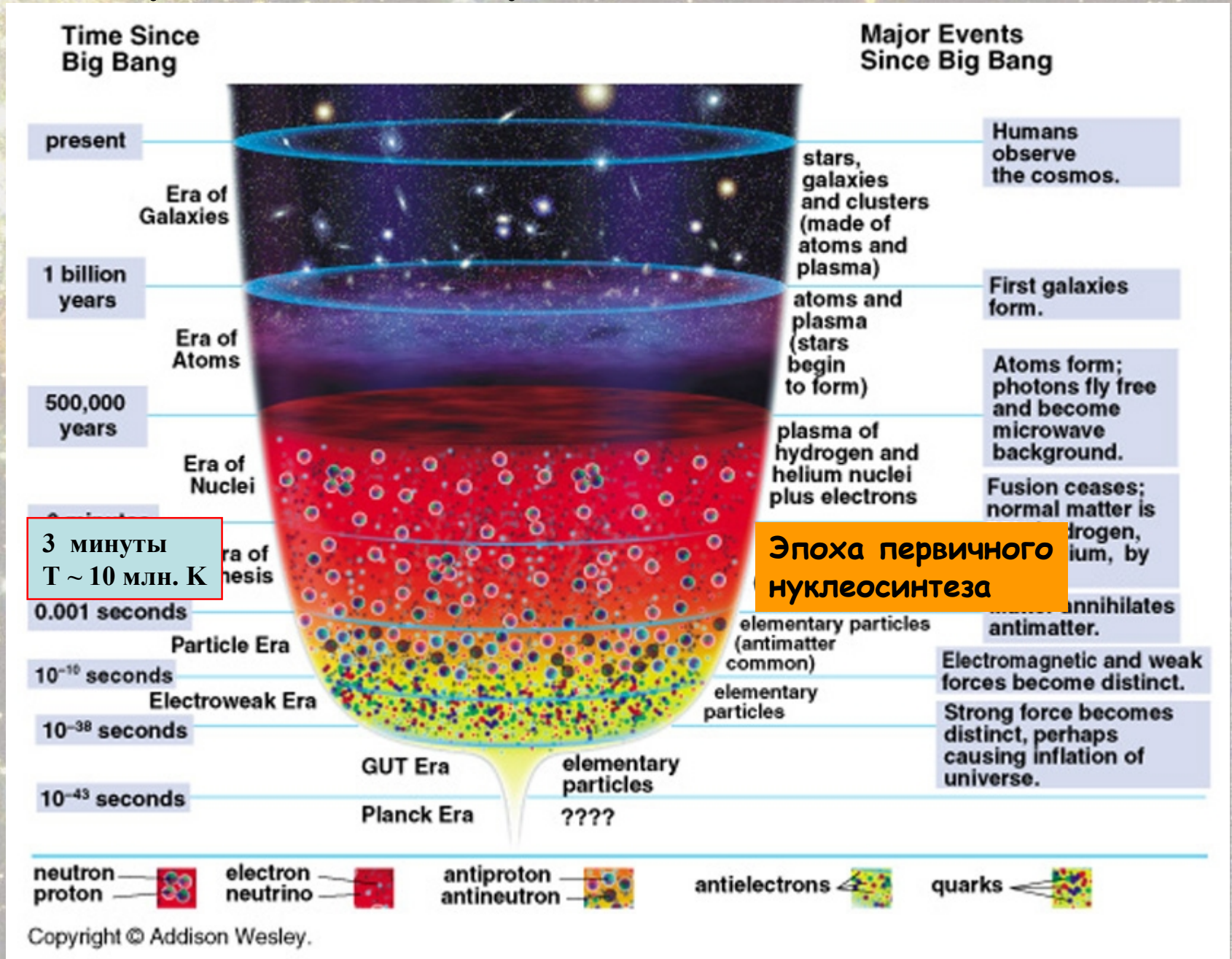
- **Реликтовое (космическое фоновое) излучение**

- Особая фаза истории Вселенной – так наз. **"эпоха рекомбинации"**: при охлаждении первичной плазмы до температуры ~3000 К протоны и электроны объединяются в атомы водорода; начинается эра господства атомов **(z~1100, возраст Вселенной в этот момент ~375000 лет)**.
- ***Реликтовое излучение (с длиной волны ~2 мм и температурой T≈2.72548 K)*** – нынешний слабый "след" этой эпохи "отрыва" излучения от вещества: при дальнейшем расширении Вселенной **излучение ещё сильнее "остыло"**

Барионы, “тёмная материя” и “тёмная энергия”

- **Барионы:** протон, нейтрон, электрон (высокостабильные частицы), Λ,Σ,Ξ,Ω - гипероны, мезоны: это частицы, из которых состоит ***обычное вещество***

Краткая история Вселенной



Copyright © Addison Wesley.

Предсказания теории первичного нуклеосинтеза (первые три минуты жизни Вселенной):

H (70% барионной массы) - водород,

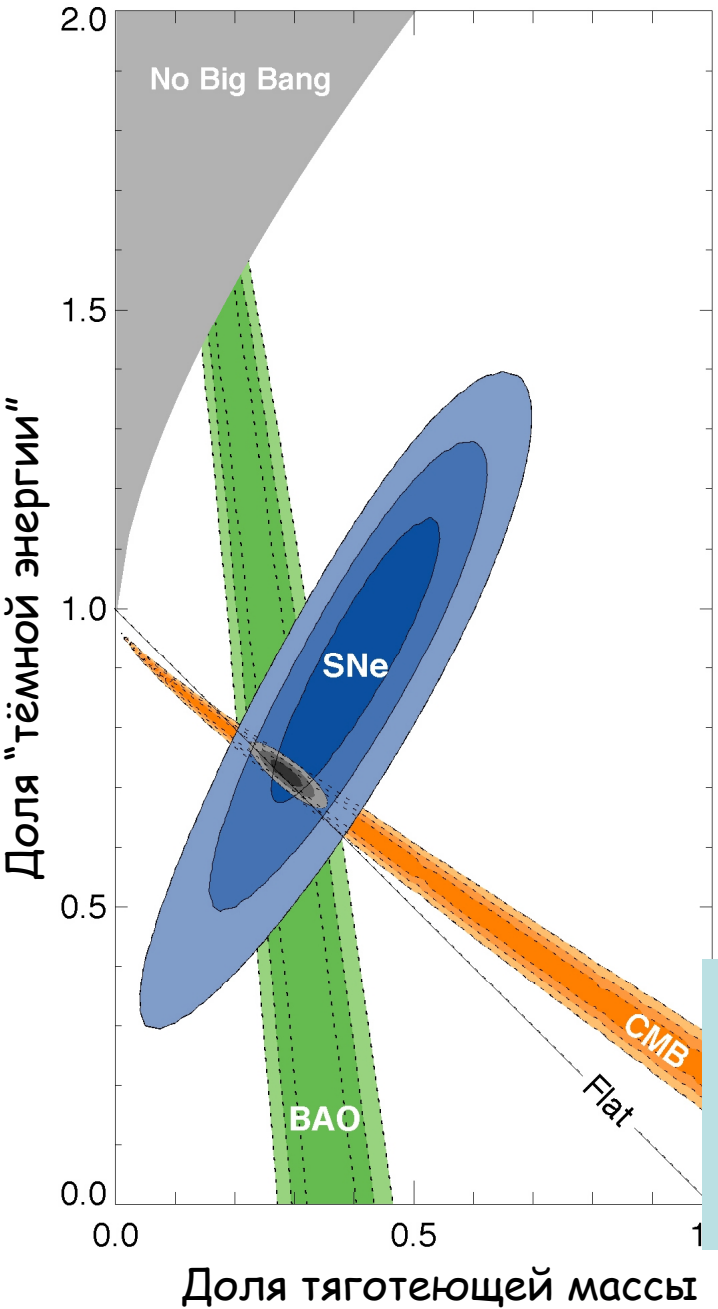
^{4}He (25% барионной массы) - гелий

+ совсем немного D, Li, ^{3}He

Полная доля барионного вещества (по вкладу в плотность энергии) составляет примерно 4.6%, в то время как доля "тёмной материи" – около 23%

1998-2001: обнаружение ускоренного расширения Вселенной по Сверхновым Ia – "тёмная энергия"; её вклад в плотность энергии составляет почти 73%

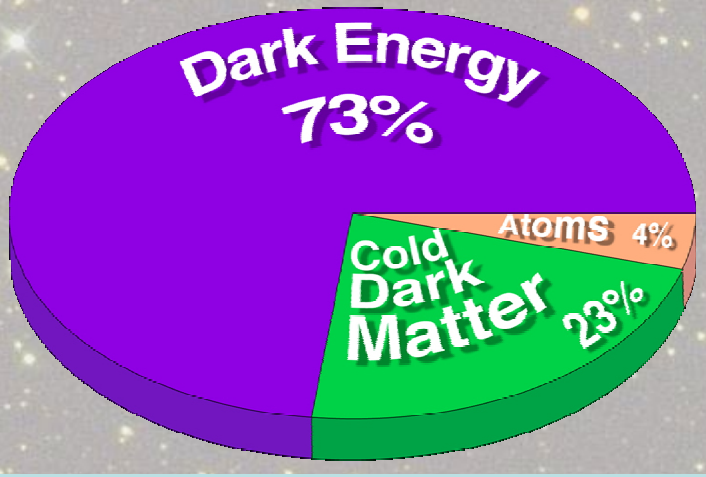
- M.Kowalsky (2008):



Надёжные ограничения на вклады массы и "тёмной энергии":

Использованы данные по

- Сверхновым типа Ia,
- Сахаровским осцилляциям (BAO, Eisenstein et. al., 2005)
- Анизотропии реликтового излучения (CMB, WMAP-5, 2008)



Вклад обычного вещества в полную плотность энергии составляет не более 4.6% - в 5 раз меньше вклада "тёмной материи" !!!

- “Тёмная материя” даёт основной вклад в тяготение на масштабах ~1 Мпк (~3 млн. св. лет – размер групп галактик)
- “Тёмная энергия” - антитяготение, она дополнительно ускоряет расширение Вселенной и начинает проявляться на масштабах более 2-3 Мпк

- Природа “тёмной материи” и “тёмной энергии” пока не ясна – это вызов всей современной космомикрофизике

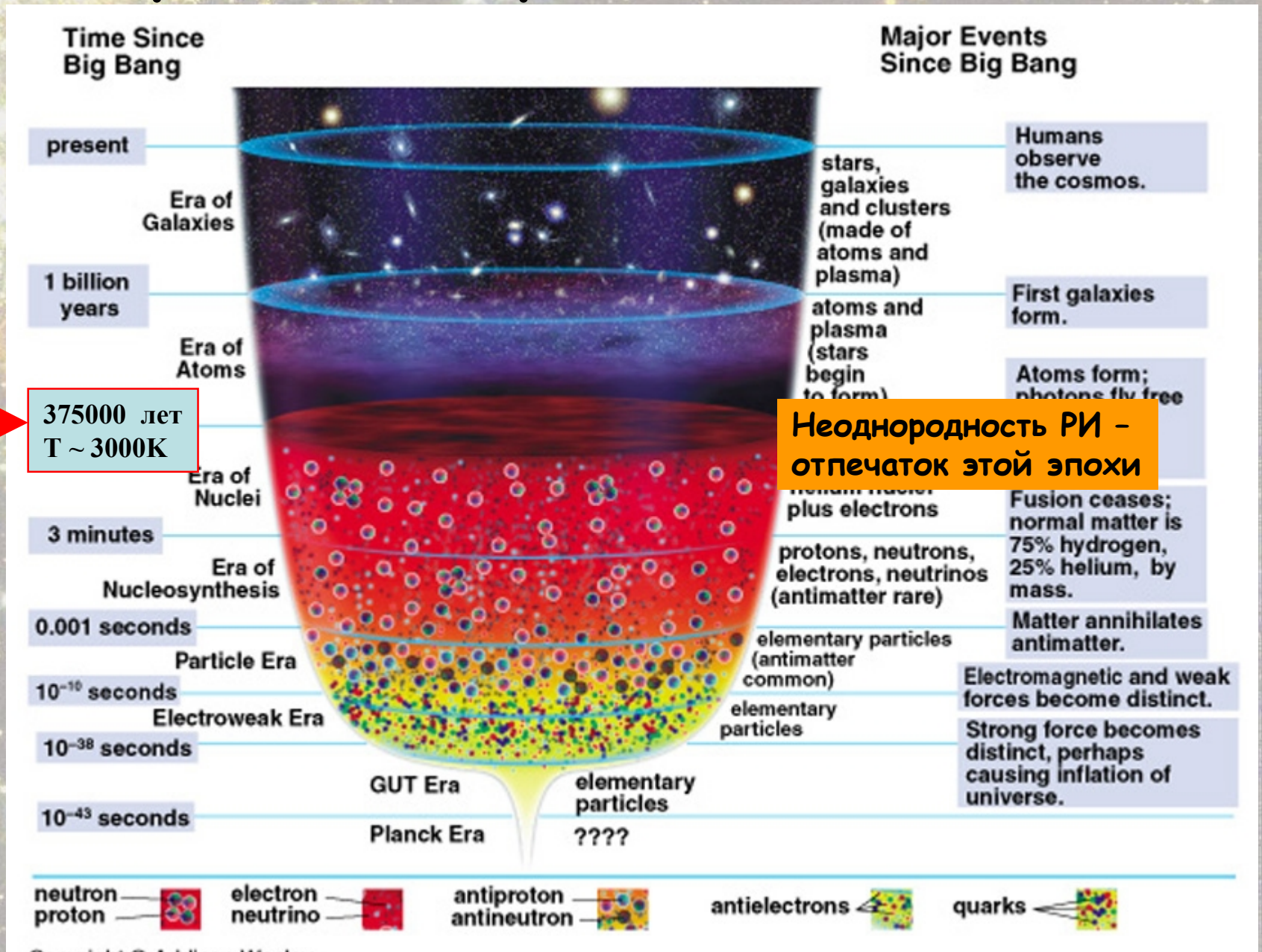
Как рождались галактики: роль первичных флуктуаций и гравитационный коллапс

Современная парадигма:

Всё многообразие наблюдаемых ныне структур возникло из **малых флуктуаций (сгустков) барионного вещества**, существовавших в эпоху рекомбинации (при $z \approx 1100$)
Однако масштаб первичных флуктуаций реликтового излучения ($\sim 10^{-5}$) **совершенно недостаточен** для формирования современных структур путём конденсации только лишь барионного вещества

Начальные флуктуации барионного вещества за счёт гравитационного коллапса могли вырасти **только в ~1000 раз (т.е. до уровня 1%)**, в то время как современные наблюдаемые флуктуации (т.е. галактики) на много порядков выше

Краткая история Вселенной



z~1100

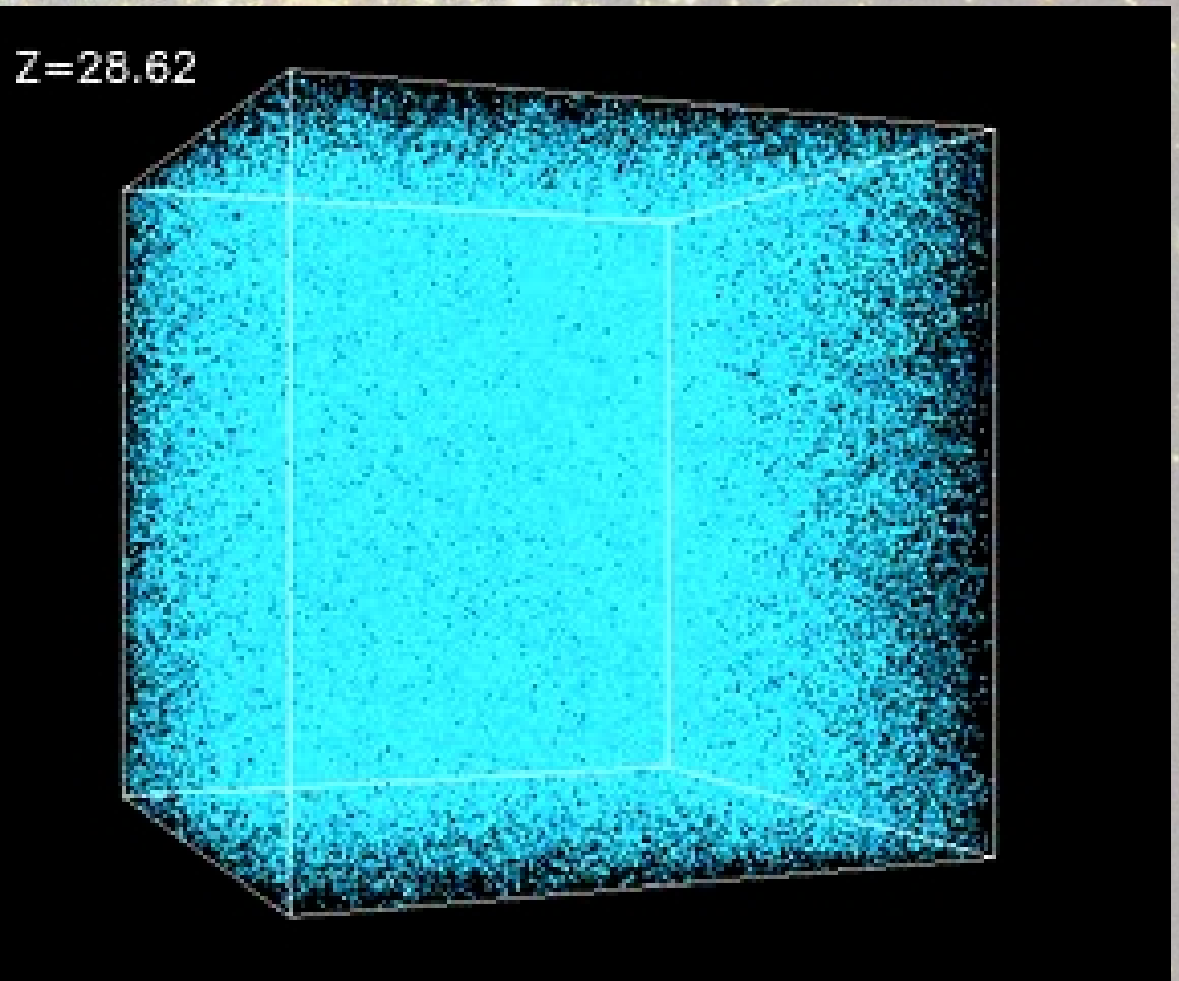
375000 лет
T ~ 3000K

Неоднородность РИ – отпечаток этой эпохи

- **Без учёта доминирующей роли холодной (легко скучивающейся под действием гравитации) тёмной материи образование галактик за время менее 2 млрд. лет было бы невозможным !**

- **Парадигма холодной тёмной материи:** благодаря подавляющему вкладу в тяготеющую массу первичные очень малые (~10^{-5}) флуктуации вначале приводят к образованию **массивных сгустков холодной тёмной материи,** в которые затем "натекает" обычное (барионное) вещество, впоследствии превращающееся в **скопления галактик, галактики и звёзды**

Моделирование крупномасштабных структур (иерархическое скучивание холодной тёмной материи вследствие гравитационной неустойчивости)

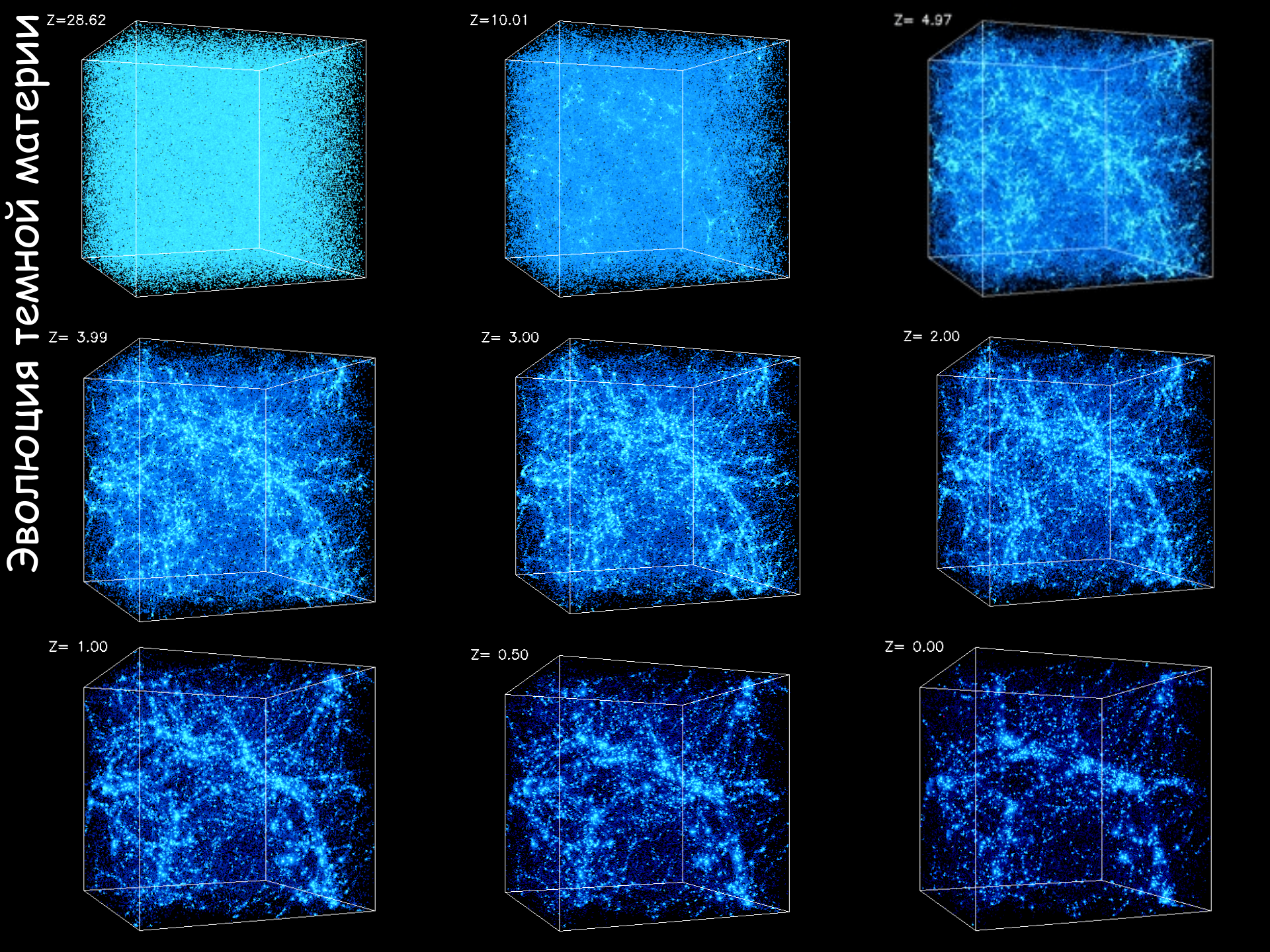


Начало расчётов: возраст Вселенной 120 млн. лет (z=28.62)

Конец расчётов: современная эпоха

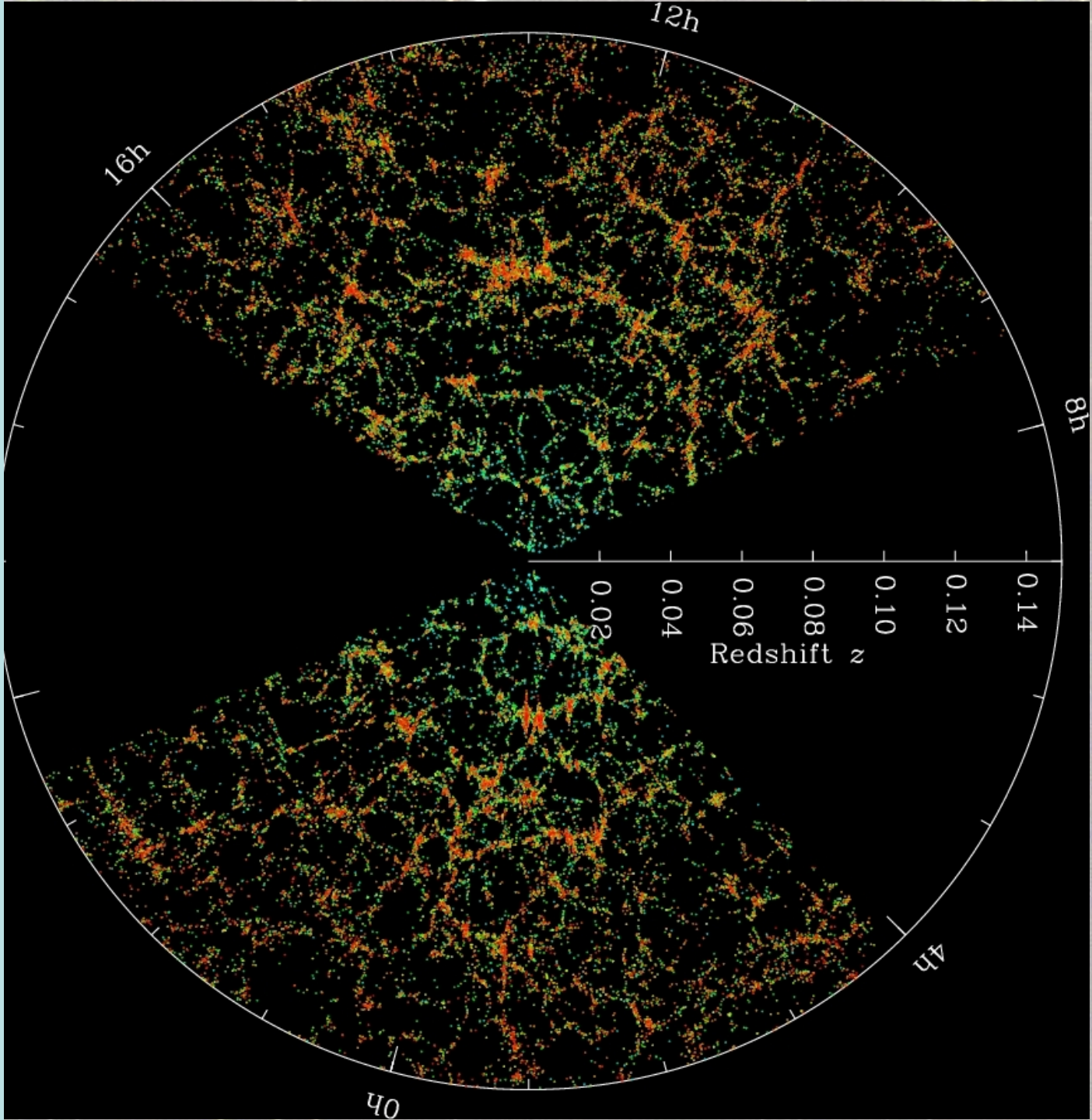
Формируется множество "субгало" – "зародышей" галактик, волокон и узлов – скоплений галактик

Эволюция темной материи



- **SDSS Legacy Survey**:

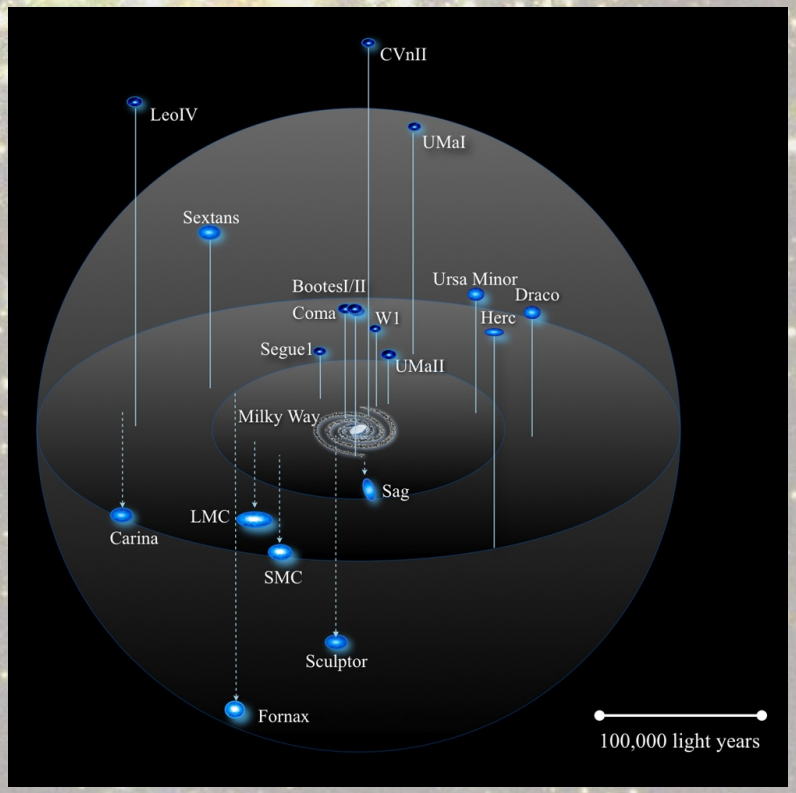
Модели очень напоминают результаты наблюдений "пены" видимого распределения галактик: узлы, волокна, пустоты ("войды")

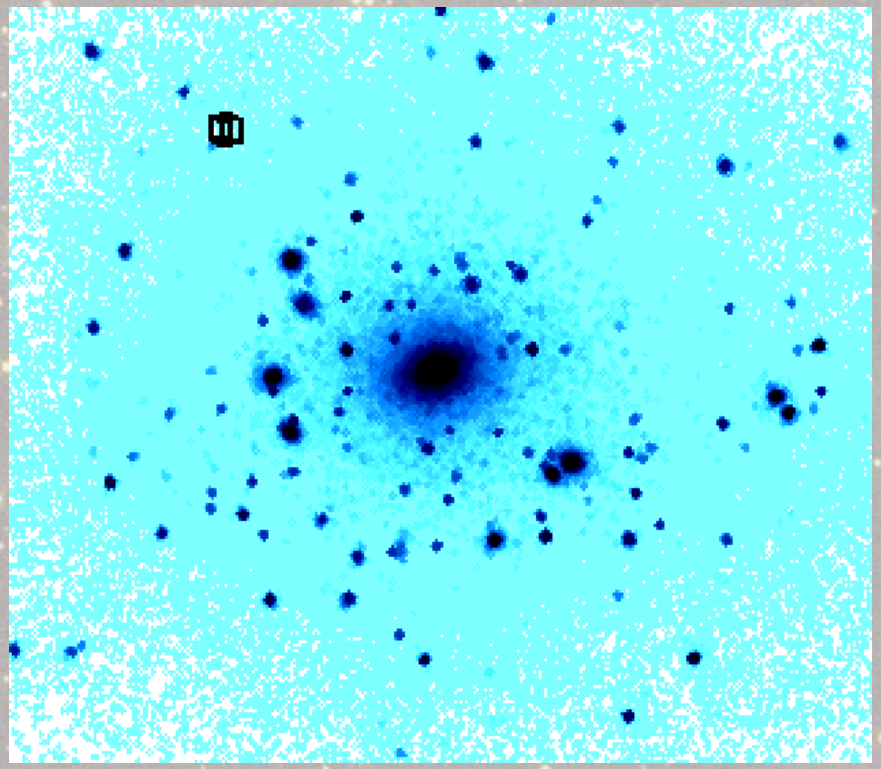


Основные трудности сценария "тёмных субгало":

(а) малое число известных галактик-карликов

(б) не найдены плотные центральные сгустки темной материи ("каспы" размером~1 кпк)





- Млечный Путь: ~20 спутников
- Модель: многие сотни спутников

Жизнь и смерть звёздных систем

"Столкновения" звёзд, космические приливы, динамическое трение и что остаётся в конце…

(На примере звёздных скоплений, рассеянных и шаровых, в которых звёзды связаны воедино гравитацией)

Некоторые рассеянные скопления

Плеяды = M45,
~100 млн. лет,
~120 пк

Гиады = NGC1647
~650 млн. лет,
46 пк

X+h Per =
NGC869/884,
~7 млн. лет,
~2.3 кпк

Фон этих слайдов – тоже звездное скопление

Одно из самых массивных и ярчайших шаровых скоплений нашей Галактики -

47 Tuc = NGC 104

(КТ "Хаббл")

В нём миллионы звезд

Шаровых скоплений много и в других галактиках, особенно в гигантских эллиптических

M87 = Дева А, центральная галактика сверхскопления в Деве. Более 30000 шаровых скоплений!

Выглядят как звездообразные объекты

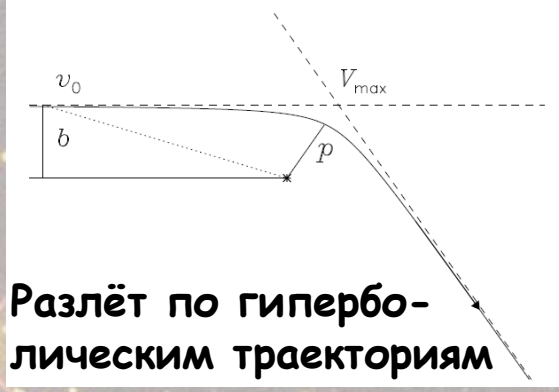
M87 © Anglo-Australian Observatory
Photo by David Malin

Факторы, обеспечивающие динамическую эволюцию звёздных скоплений

- Парные (но не лобовые !) сближения звёзд ➔ “испарение” звёзд из скопления, потеря массы и энергии, сжатие
- Приливные силы со стороны Галактики и приливные “удары” ➔ ускорение распада
- Динамическое трение в звёздном фоне ➔ изменение орбиты, приливные эффекты, ускорение распада
- Все дороги ведут к их гибели…

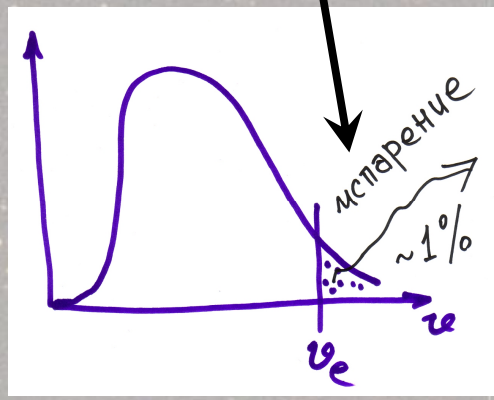
- **Следствия обмена энергией при парных сближениях:**
  - увеличение скорости некоторых звёзд выше критической (аналога второй космической для скопления)
  - **звёзды вылетают, уменьшая массу и унося часть энергии скопления**
  - изменение структуры скопления: **ядро скопления сжимается и скопление ускоренно распадается, за время релаксации теряя около 1% звёзд**

$$\tau_{relax} \approx \frac{V^3}{100 G^2 m^2 n}$$



Разлёт по гипербо-лическим траекториям

Эти звёзды покидают скопление

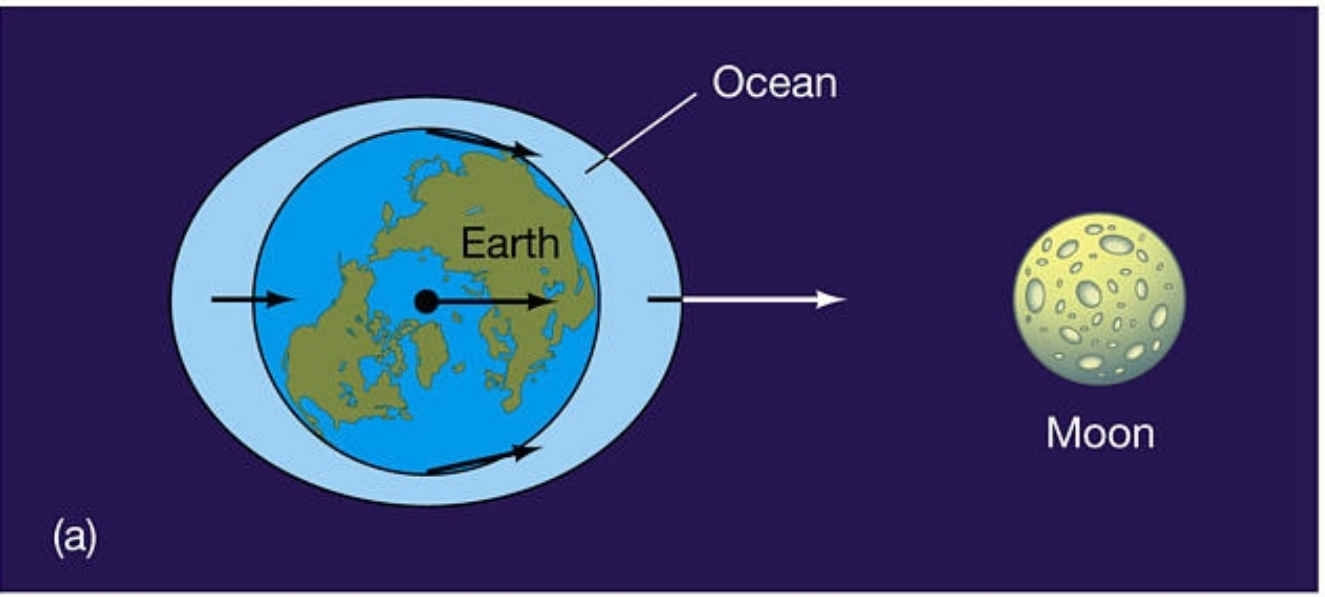


Приливные силы

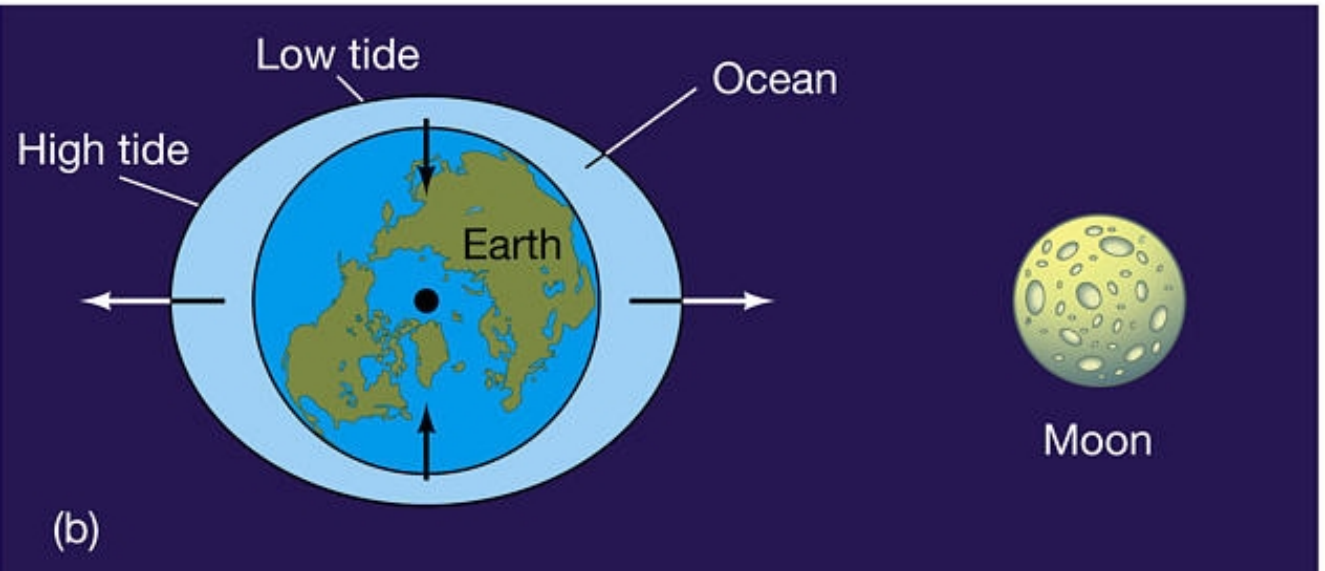
- **Вызываются внешними по отношению к скоплению массами (галактикой, массивными молекулярными облаками, другими скоплениями и т.п.)**

- Полная аналогия с лунно-солнечными приливами в земных океанах

Земные приливы – влияние Луны:



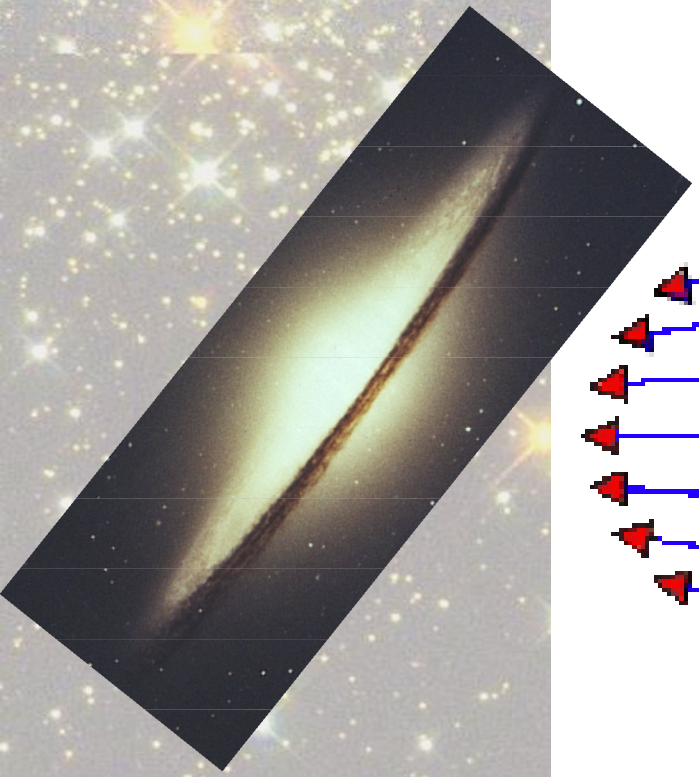
- Картина распределения внешних сил

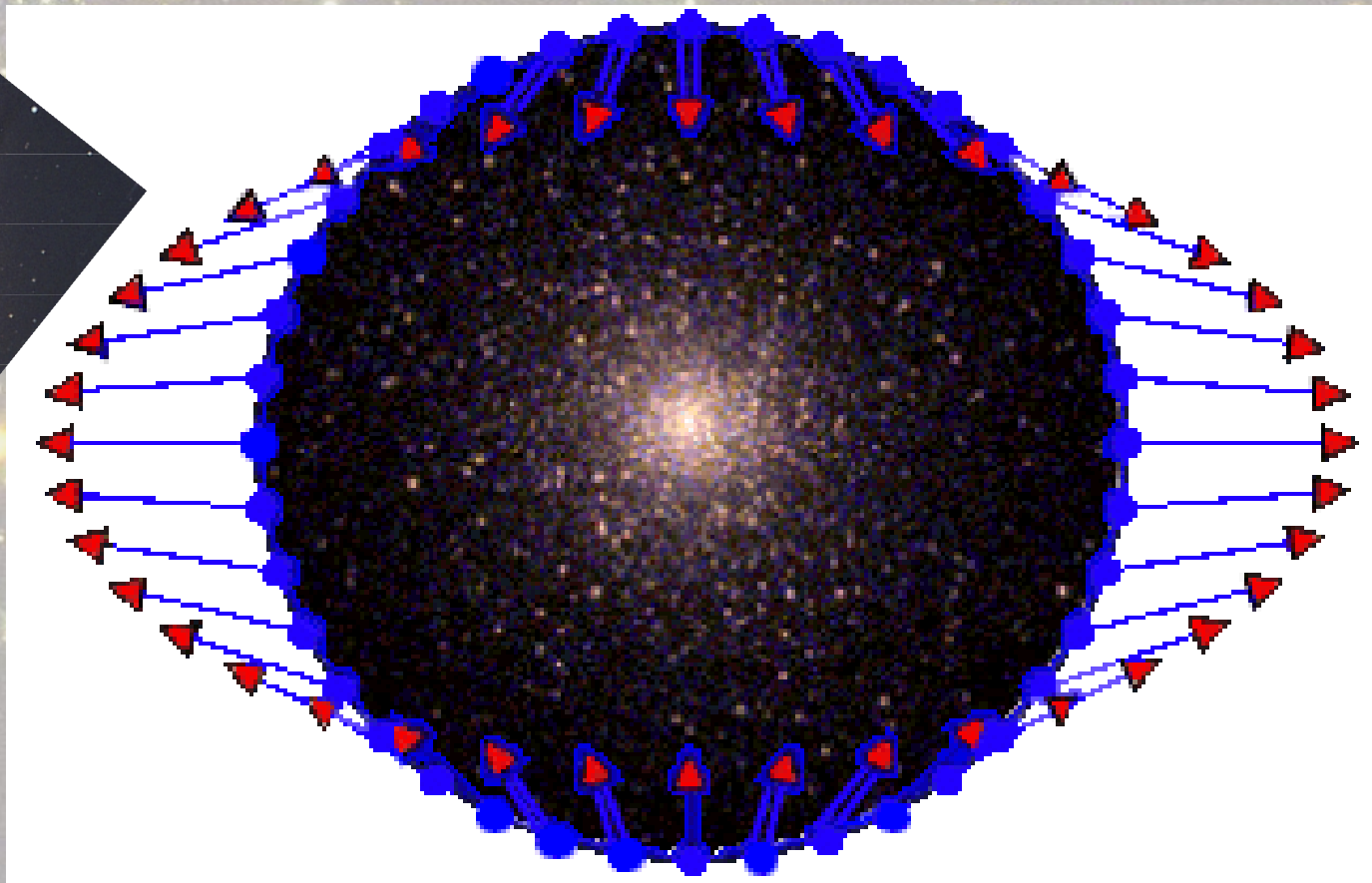


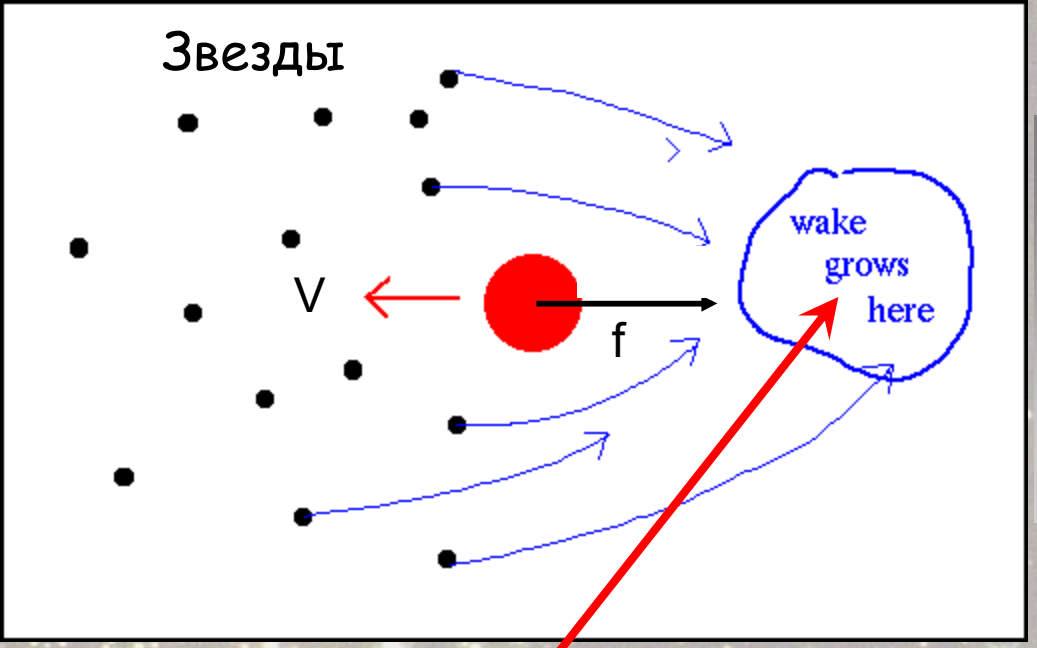
- То же, с точки зрения земного наблюдателя

Картина приливных сил, действующих на звёздное скопление в галактике

- Скопление вытягивается в плоскости орбиты и "поджимается" у полюсов ➔ искажение формы скопления, облегчение "ухода" звёзд и сокращение срока жизни скопления







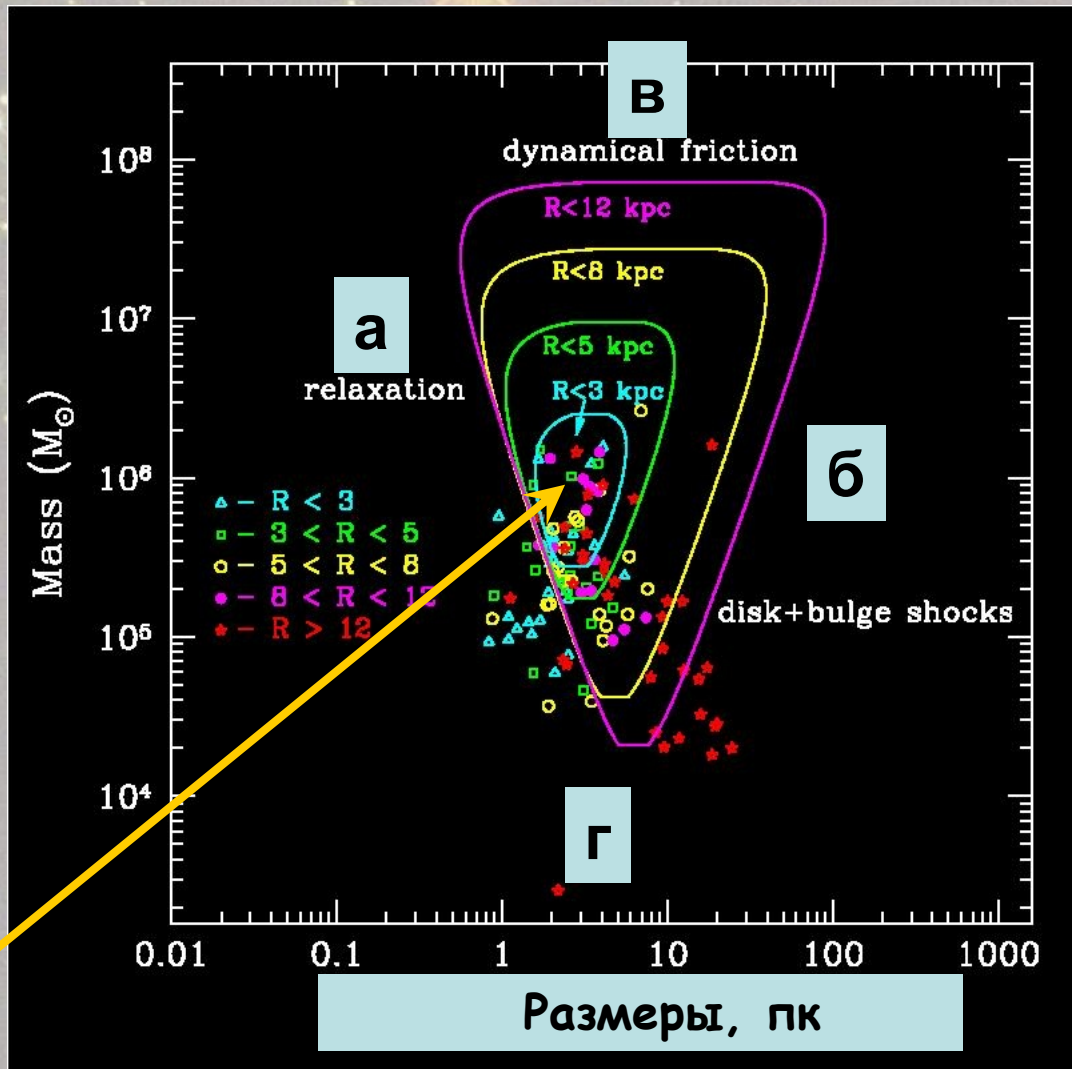
$$f_{dyn} \propto \frac{G^2 M^2 \rho}{V_M^{\ 2}}$$

- **Динамическое трение:** гравитационная "фокусировка" звёзд позади движущегося массивного объекта (скопления) ➔ **сгусток** тормозит скопление, меняет его орбиту, приводя в более плотные области галактики, где оно ещё легче разрушается приливными силами

Пример: зона "выживания" шаровых скоплений под действием различных факторов за 10 млрд. лет

- а,г) Релаксация
  - компактные или маломассивные
- б) Приливы и гравитационные "удары"
  - "рыхлые"
- в) Динамическое трение
  - массивные

"Выжившие" скопления

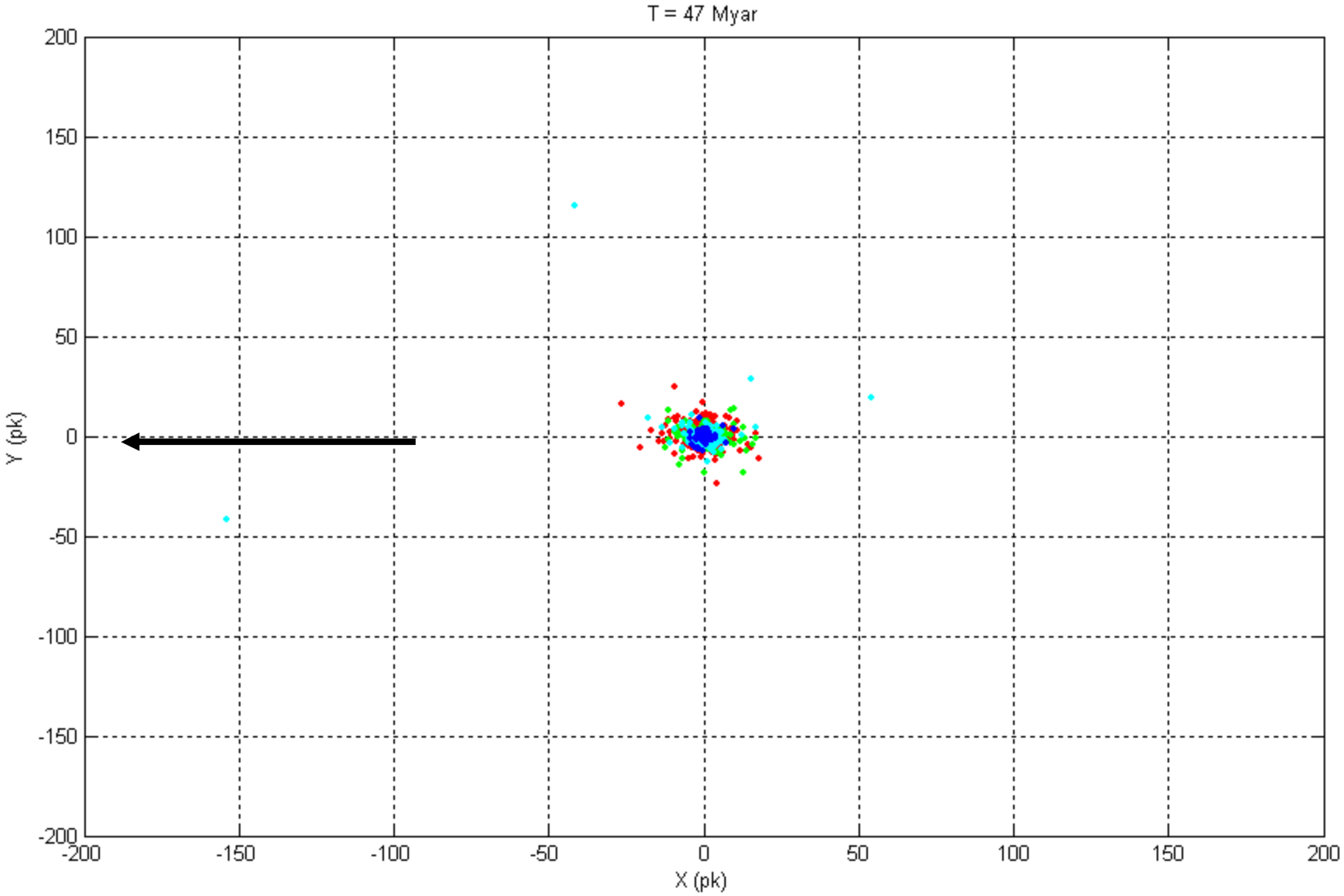


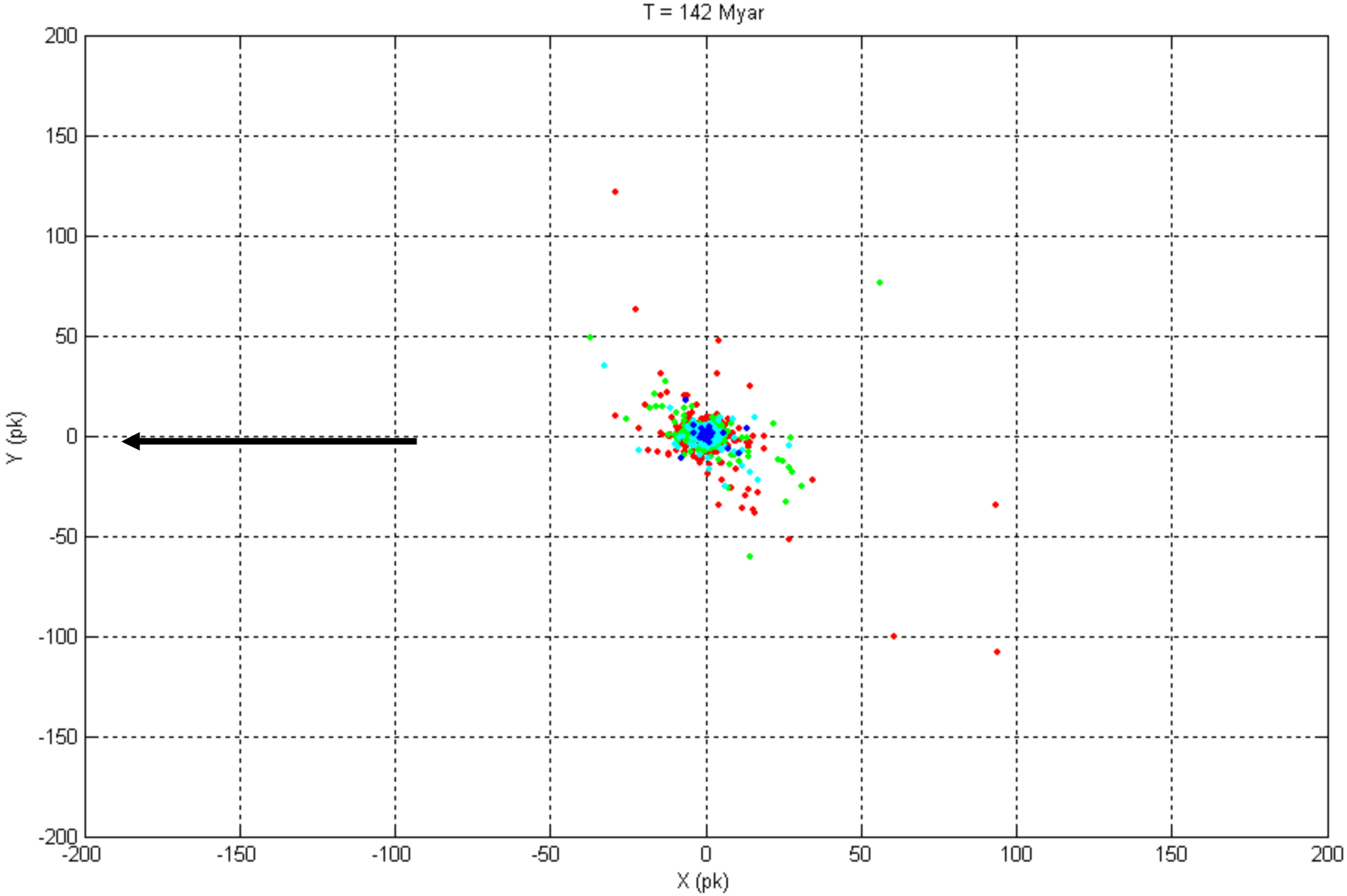
- **Сближения звёзд, приливные силы и приливные "удары", динамическое трение** – все эти механизмы динамической эволюции влияют не только на звёздные скопления, но и на гораздо более массивные и крупные **спутники гигантских галактик (карликовые эллиптические - dSph, неправильные – Irr и др.)**

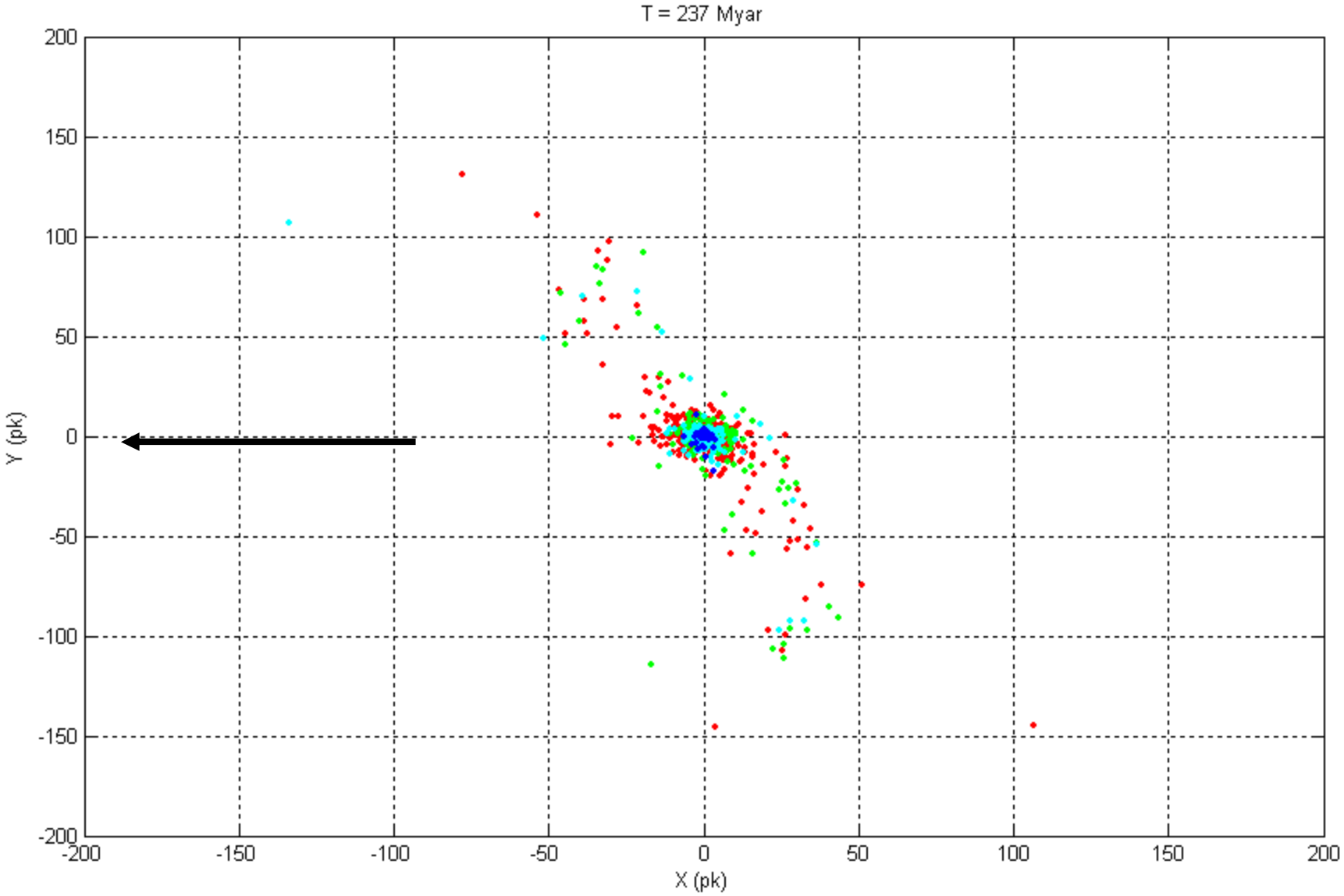
Эволюция массивного (1500 звёзд) рассеянного скопления ***в приливном поле Галактики*** на протяжении 700 млн. лет (наблюдатель – в скоплении)

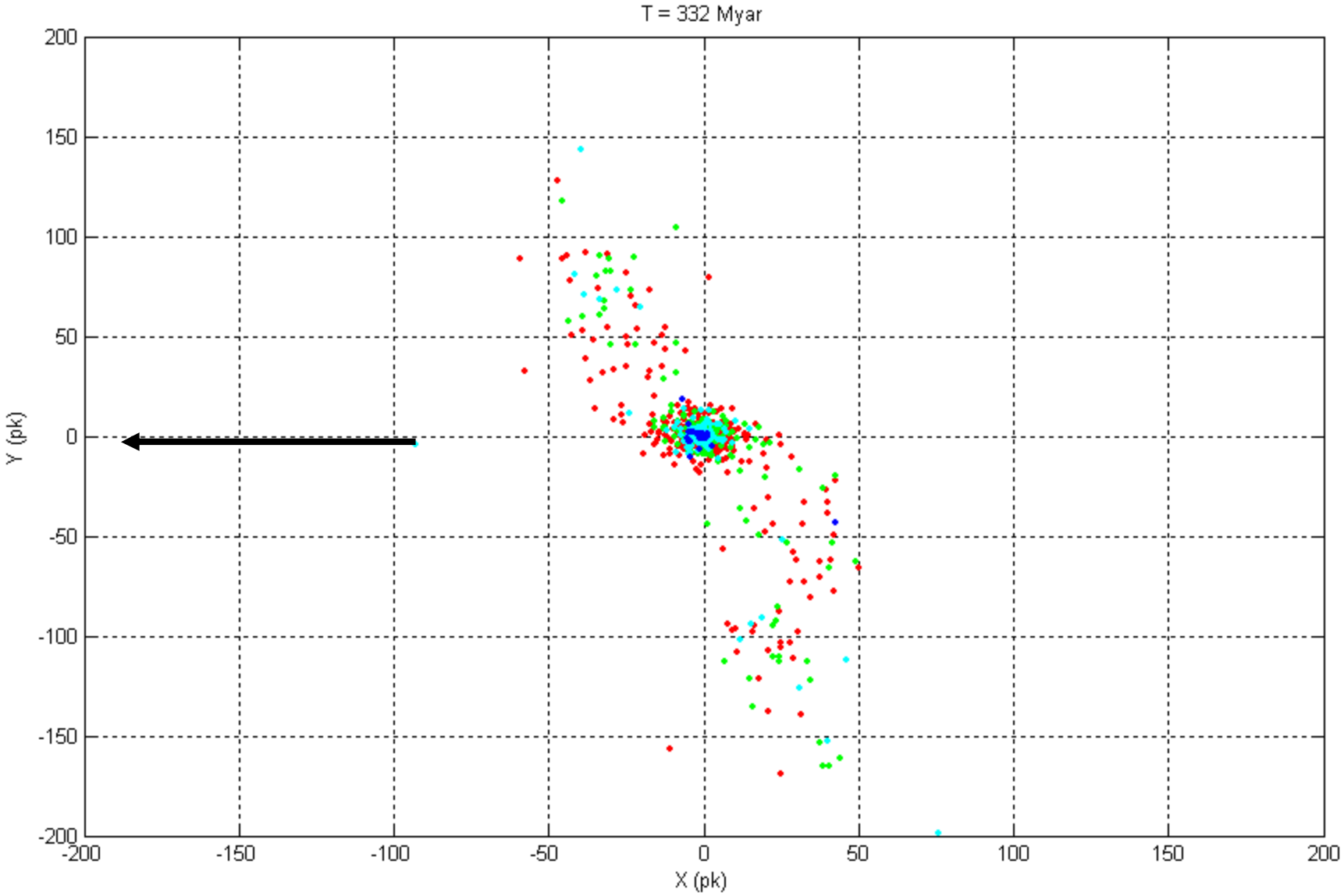
- Центр Галактики – слева
- Скопление движется по орбите вверх

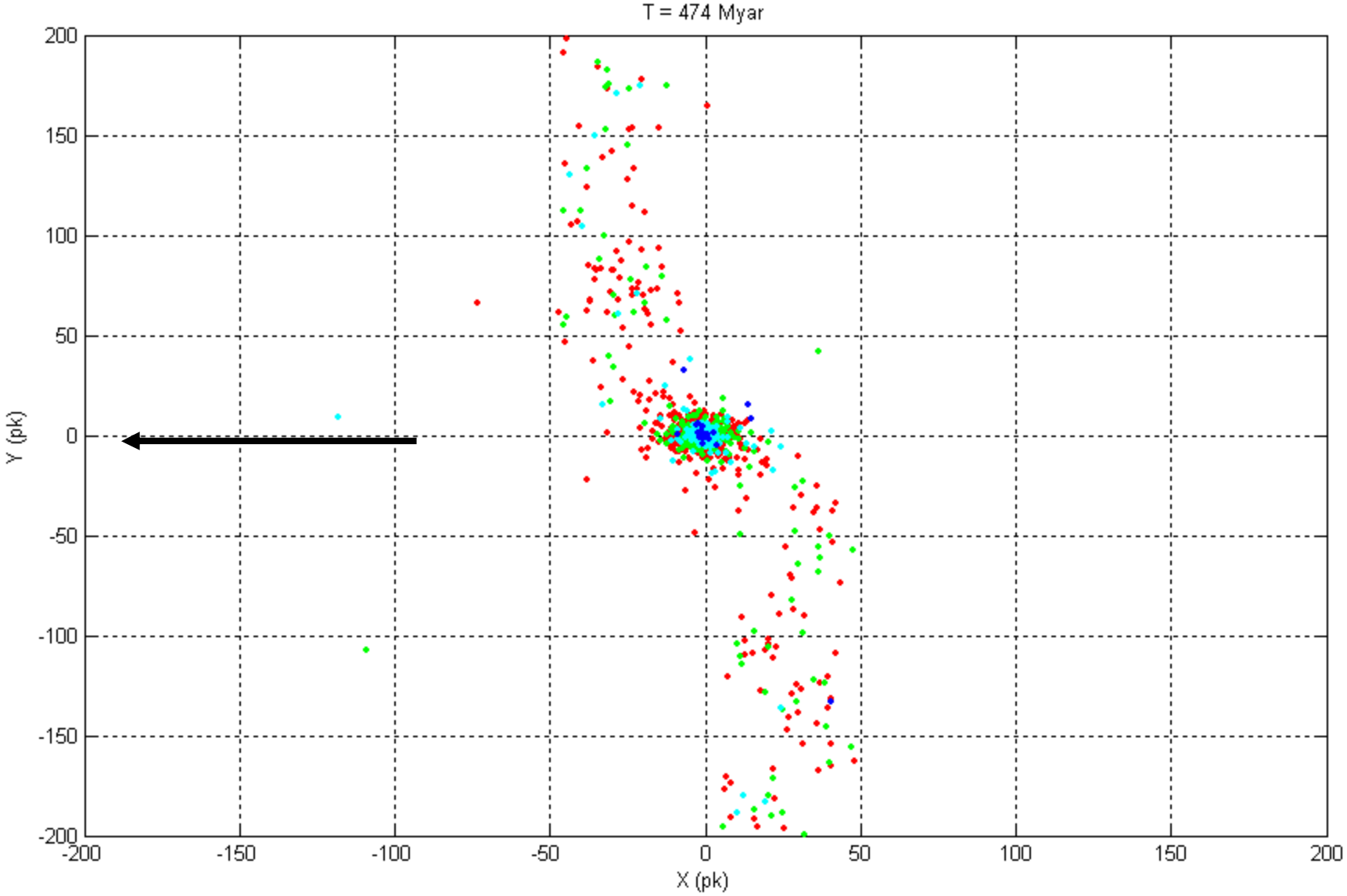
- **Синие точки – звёзды большой массы**
- **Красные точки – звёзды малой массы**

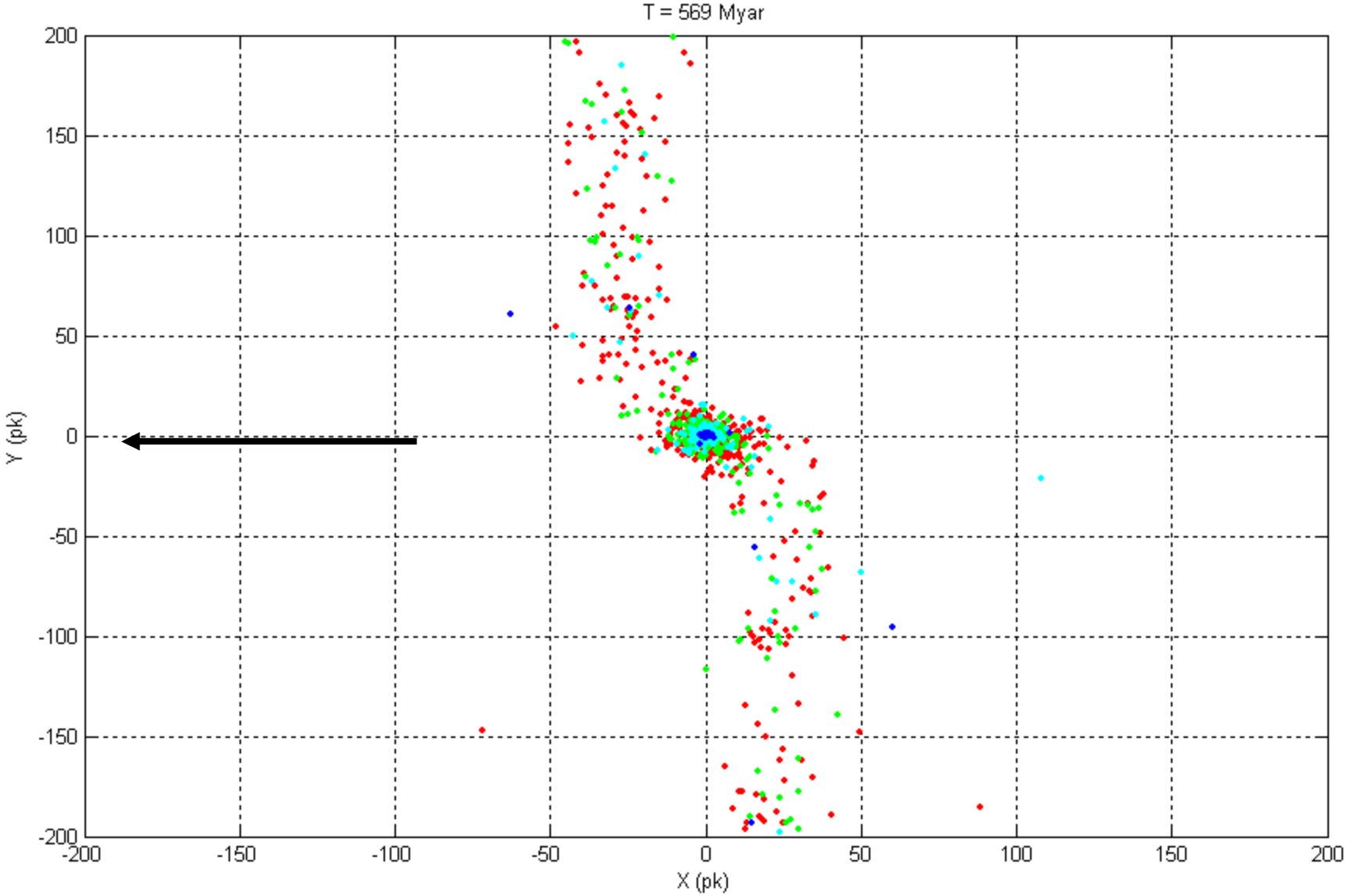

T = 47 Myar
200
150
100
50
0
-50
-100
-150
-200
Y (pk)
-200
-150
-100
-50
0
50
100
150
200
X (pk)

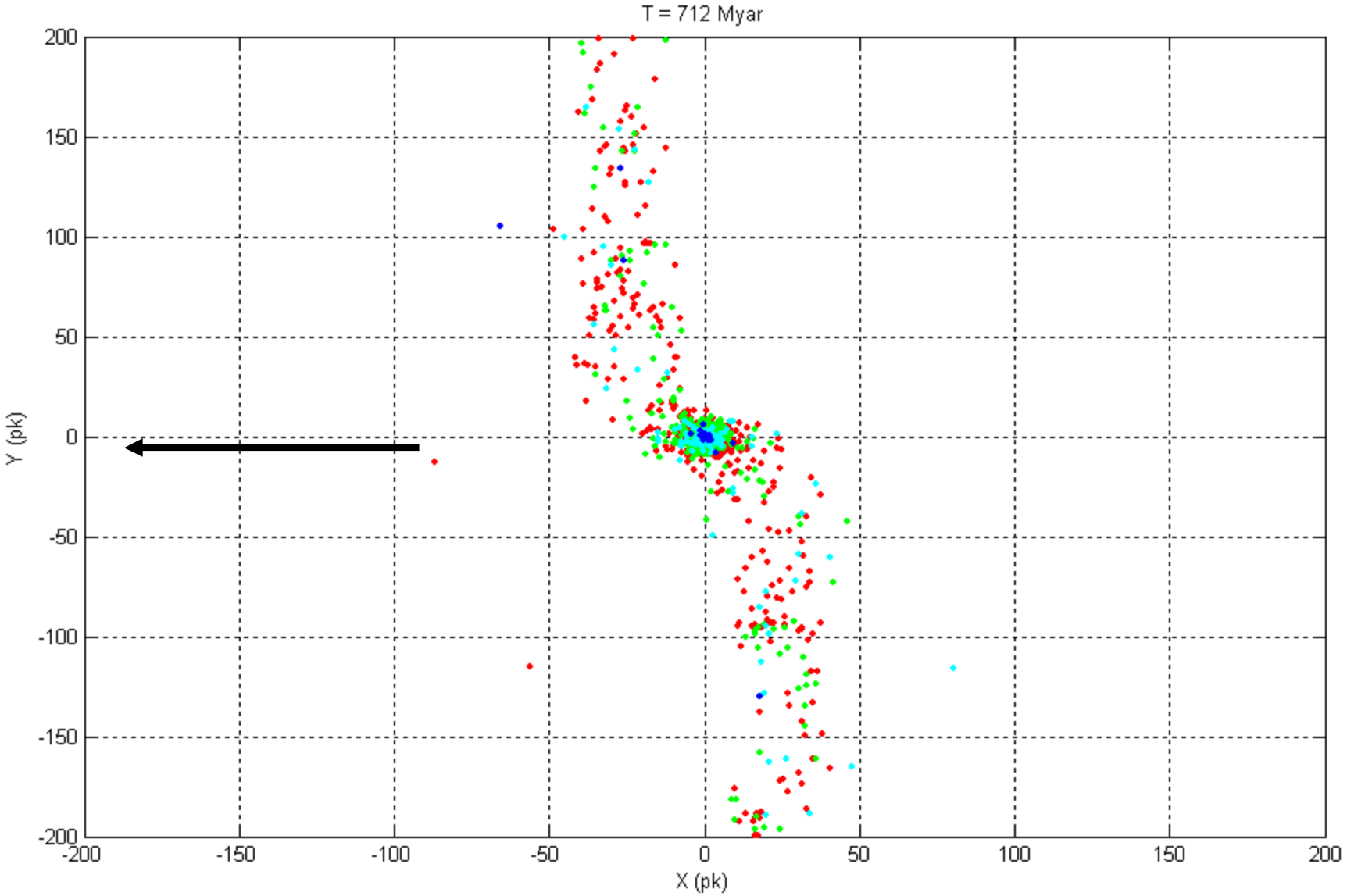

T = 142 Myar
200
150
100
50
0
-50
-100
-150
-200
Y (pk)
-200
-150
-100
-50
0
50
100
150
200
X (pk)


T = 237 Myar
200
150
100
50
0
-50
-100
-150
-200
Y (pk)
-200
-150
-100
-50
0
50
100
150
200
X (pk)


T = 332 Myar
Y (pk)
X (pk)
200
150
100
50
0
-50
-100
-150
-200
-200
-150
-100
-50
0
50
100
150
200


T = 474 Myar
Y (pk)
X (pk)
200
150
100
50
0
-50
-100
-150
-200
-200
-150
-100
-50
0
50
100
150
200


T = 569 Myar
200
150
100
50
0
-50
-100
-150
-200
Y (pk)
-200
-150
-100
-50
0
50
100
150
200
X (pk)


T = 712 Myar
200
150
100
50
0
-50
-100
-150
-200
Y (pk)
-200
-150
-100
-50
0
50
100
150
200
X (pk)

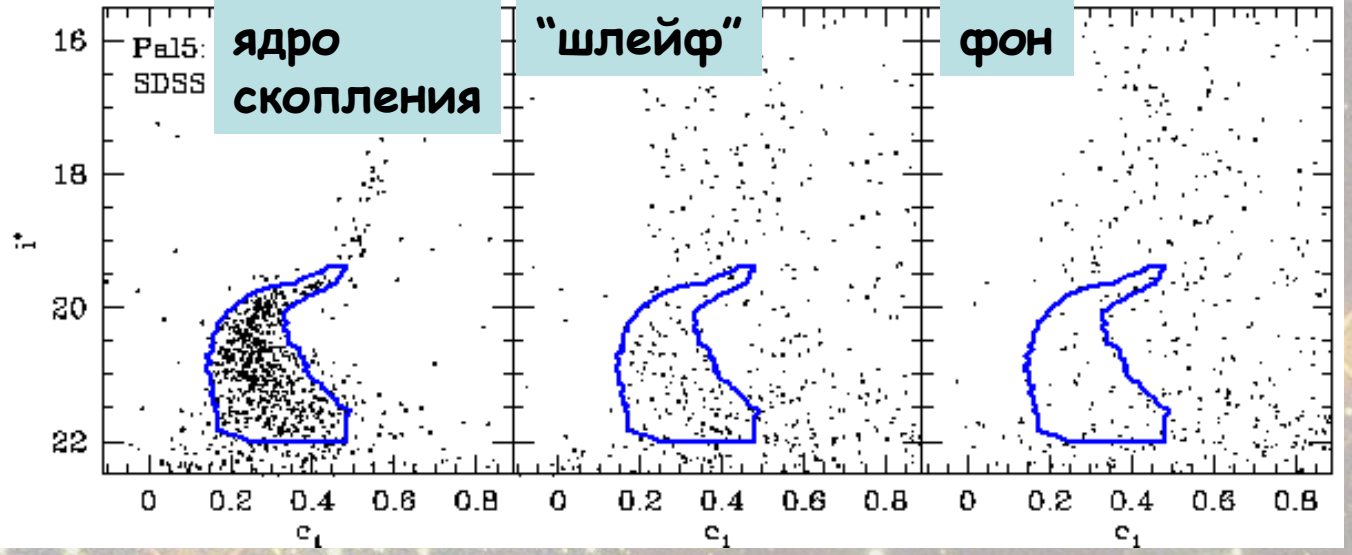
- Растёт длинный (~1 кпк/млрд.лет) ***звёздный "шлейф"***, вытянутый в обе стороны вдоль орбиты и состоящий из звёзд, в разное время покинувших скопление

- Звёзды "шлейфа" долго сопровождают скопление в его движении по орбите, они образуют длинное и обширное ***"движущееся скопление",*** выделяемое по повышенной звёздной плотности и близости пространственных скоростей звёзд, а также по такому же, как и у скопления, звёздному составу
- **Подобные "шлейфы" сейчас обнаружены и у распадающихся карликовых спутников Галактики**

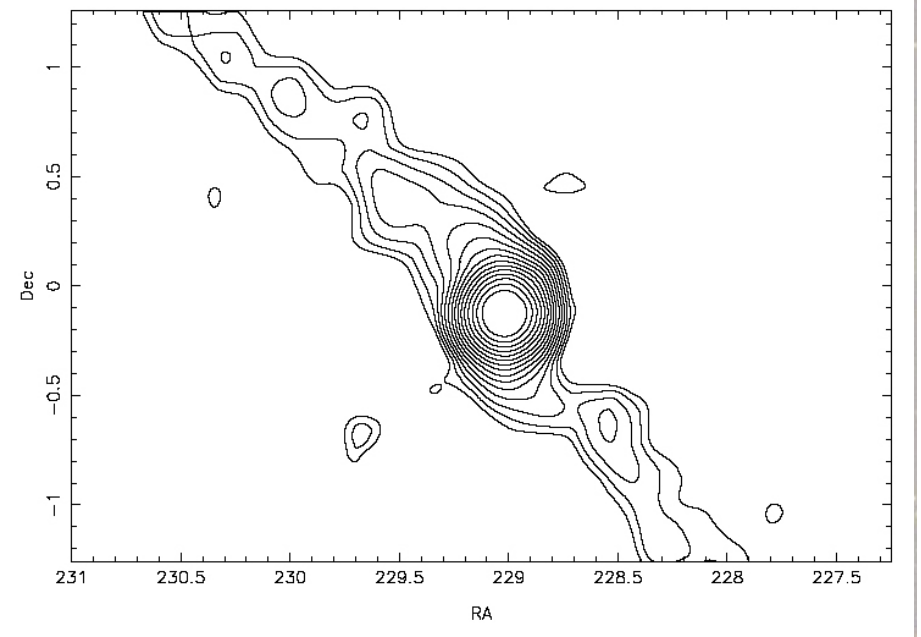
Поиск следов взаимодействия Галактики со спутниками и их распада: "малый" каннибализм

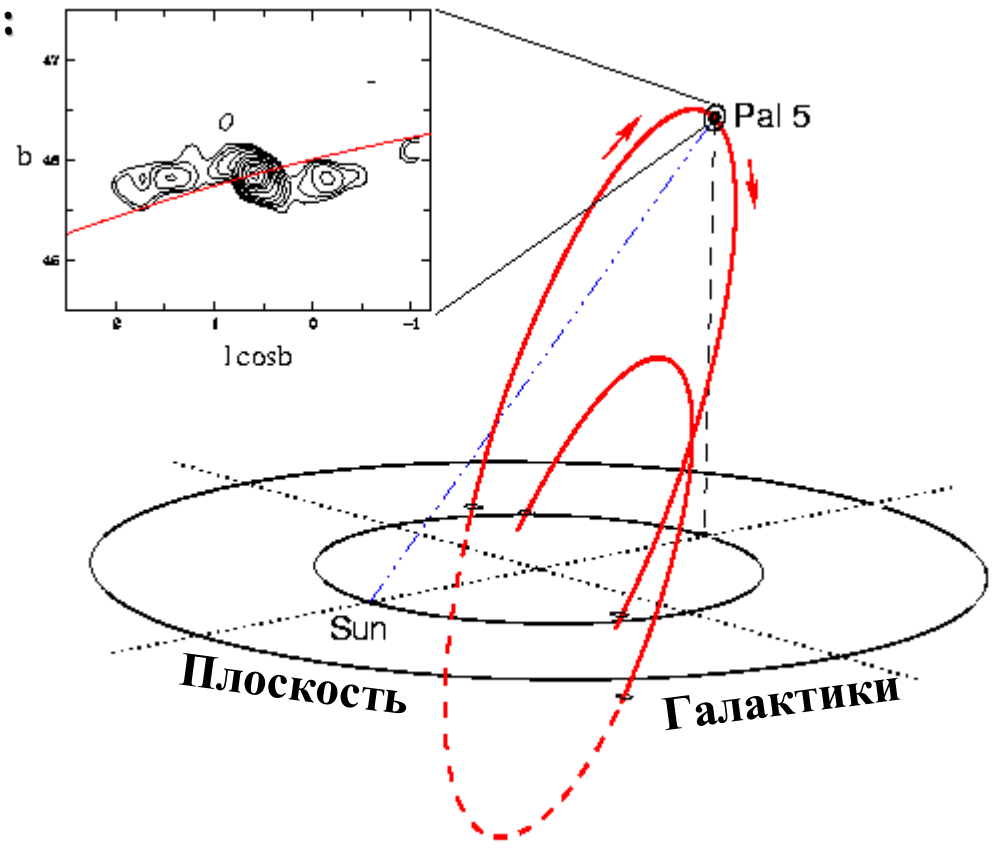
- Поиск и изучение "шлейфов" шаровых скоплений и карликовых галактик-спутников Млечного Пути, открытие его новых спутников и скоплений с помощью КТ "Хаббл" и по данным "всенебесных" обзоров SDSS, 2MASS дали в последние 10-15 лет важную информацию о процессах формирования структур в наблюдаемых ныне галактиках

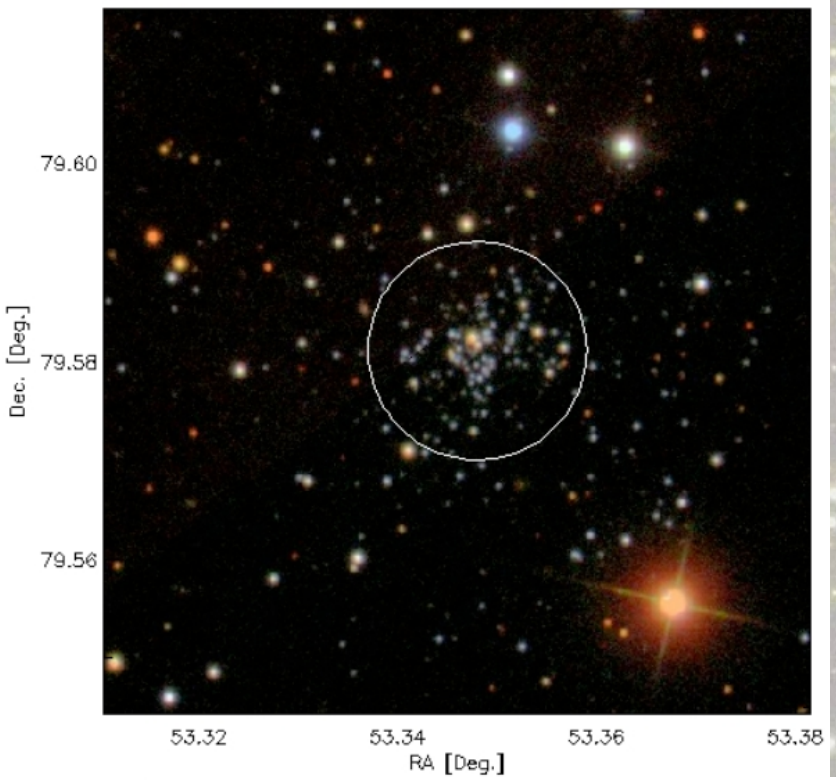
Орбита и приливные "шлейфы" далекого шарового скопления Palomar 5



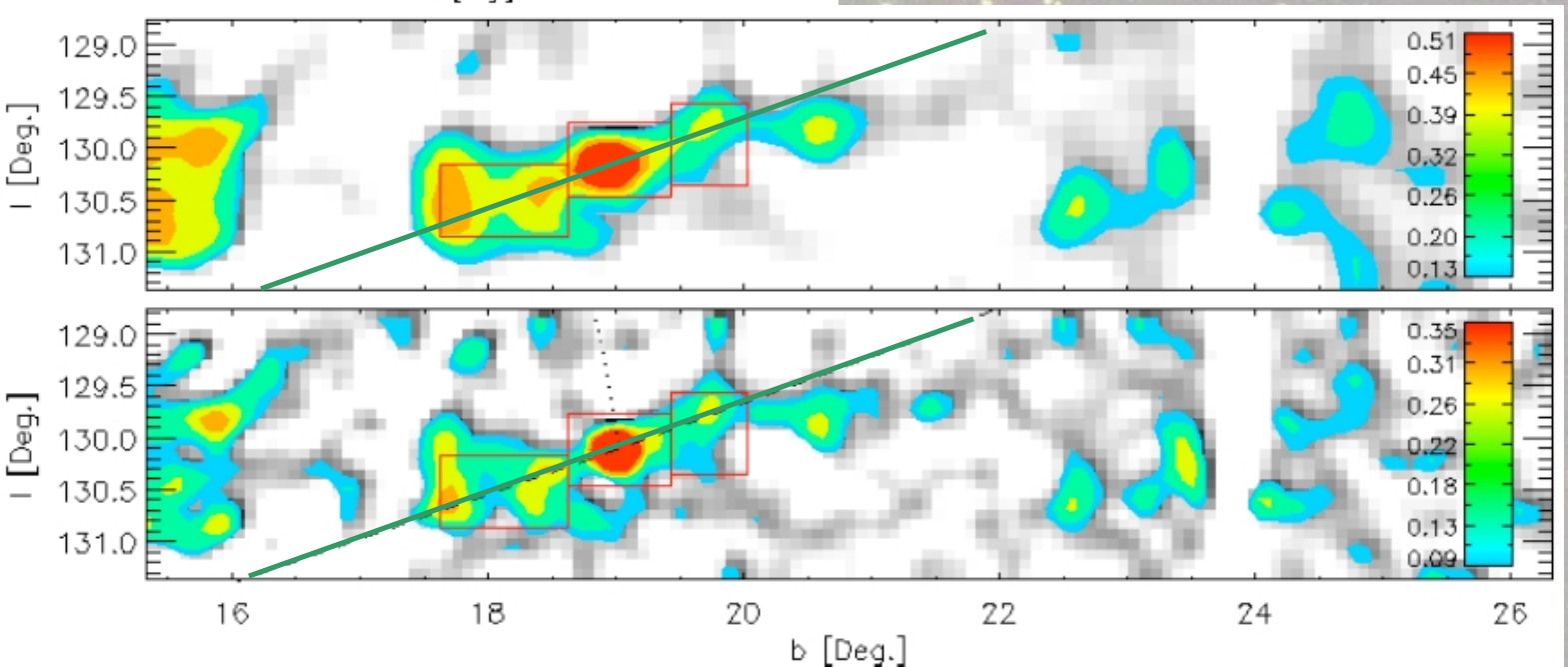
Диаграммы "цвет-звёздная величина": разделение звезд "шлейфа" и фона



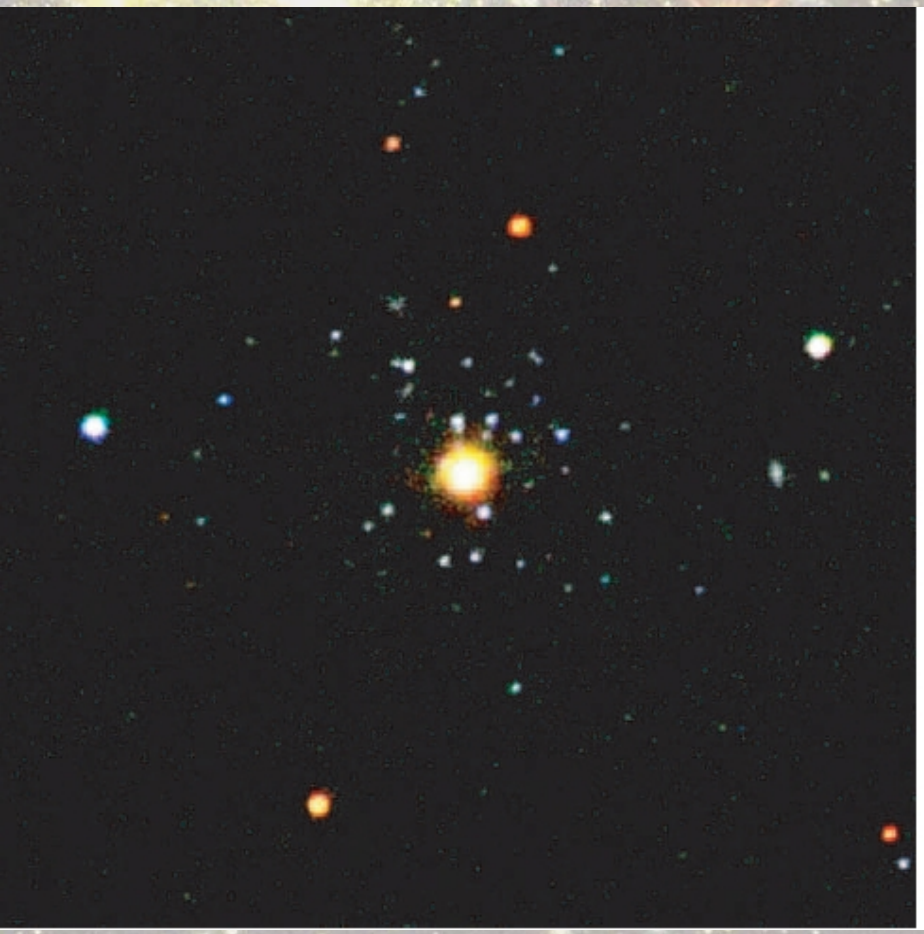


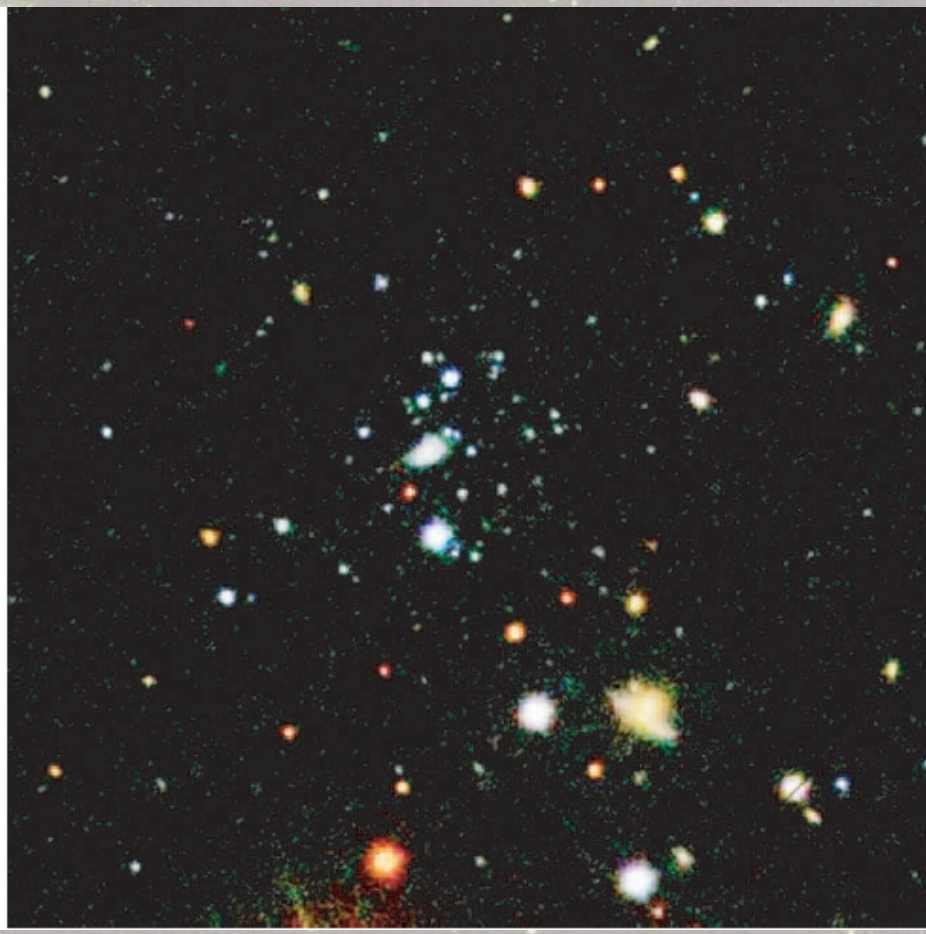


- Одно из слабейших шаровых скоплений Галактики – Palomar 1 и изофоты его “шлейфа” (SDSS)
- Niederste-Ostholt et al. (2010)

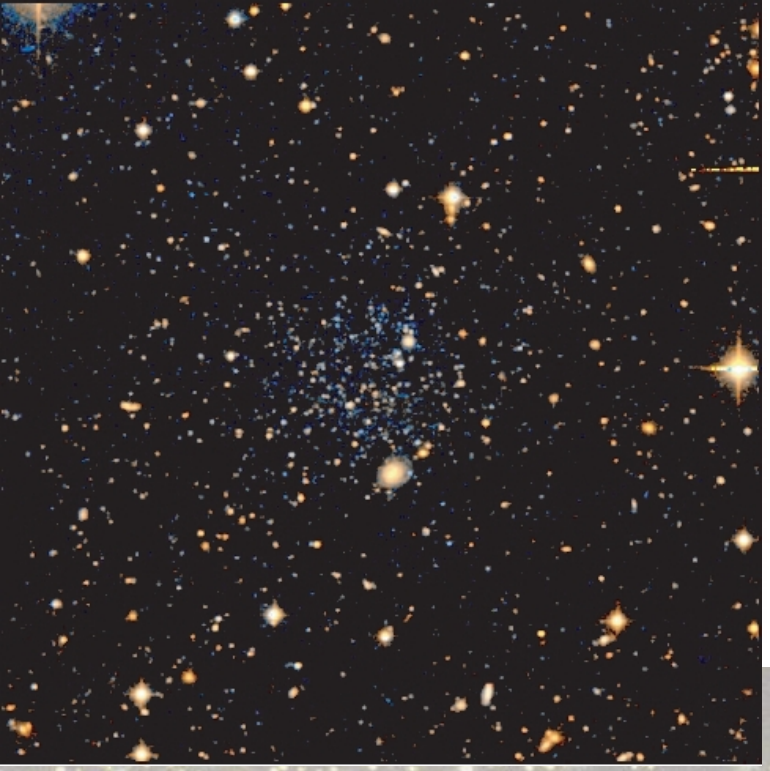


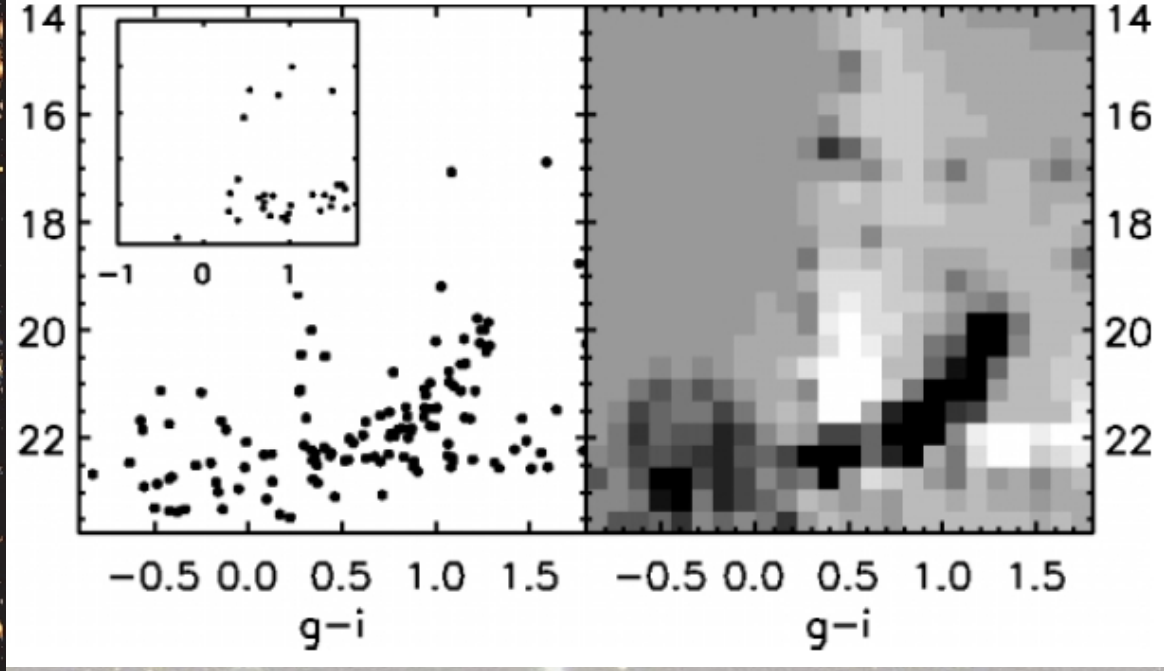
Koposov 1, Koposov 2 – новые шаровые скопления Галактики (Koposov et al., 2007)





- Расстояние – более 40 кпк от центра Галактики





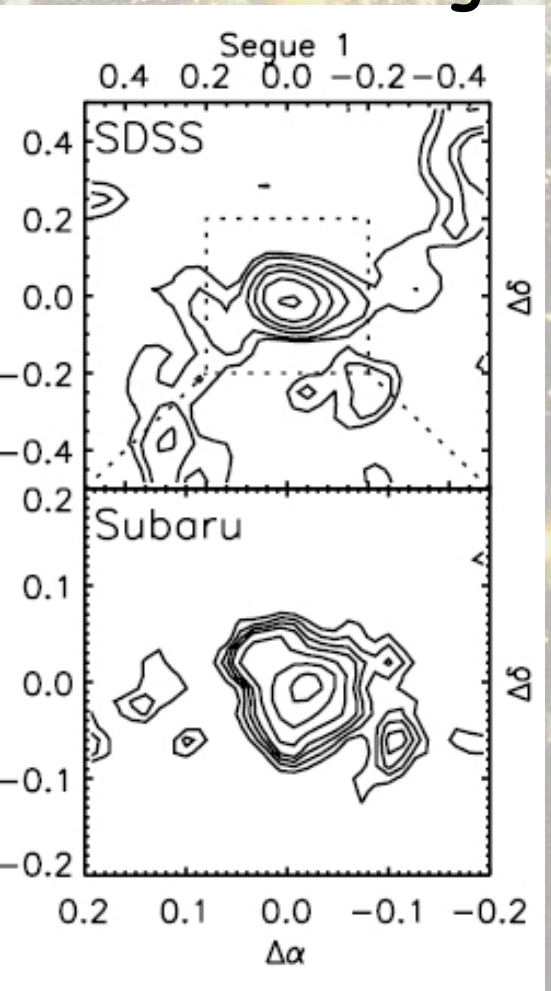
- Leo T: вид на небе
- (SDSS)

Диаграмма ГР: много красных гигантов и голубых звёзд ГВ

- Irwin et al. (2007) – Leo T (dSph, карликовая сфероидальная галактика)

Поиск новых скоплений и карликовых галактик

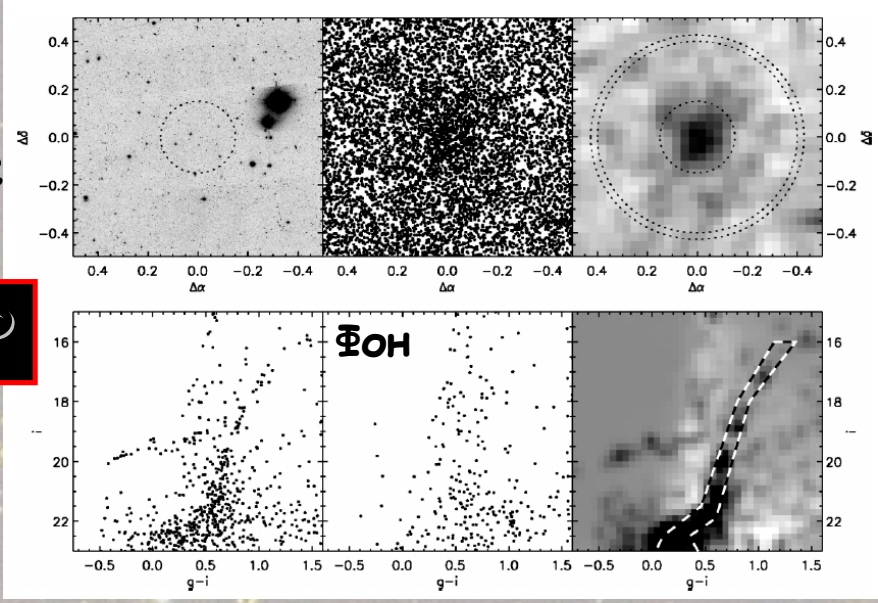
Новое шаровое скопление Segue1



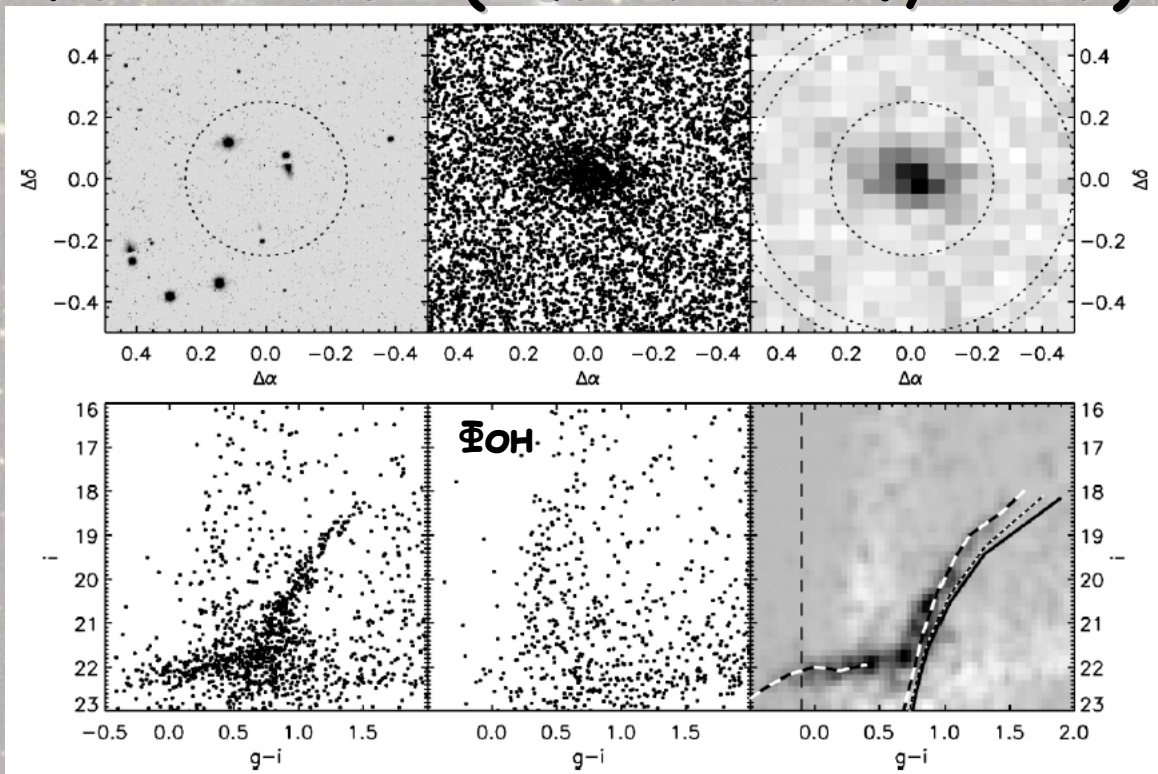
Boo-Волопас

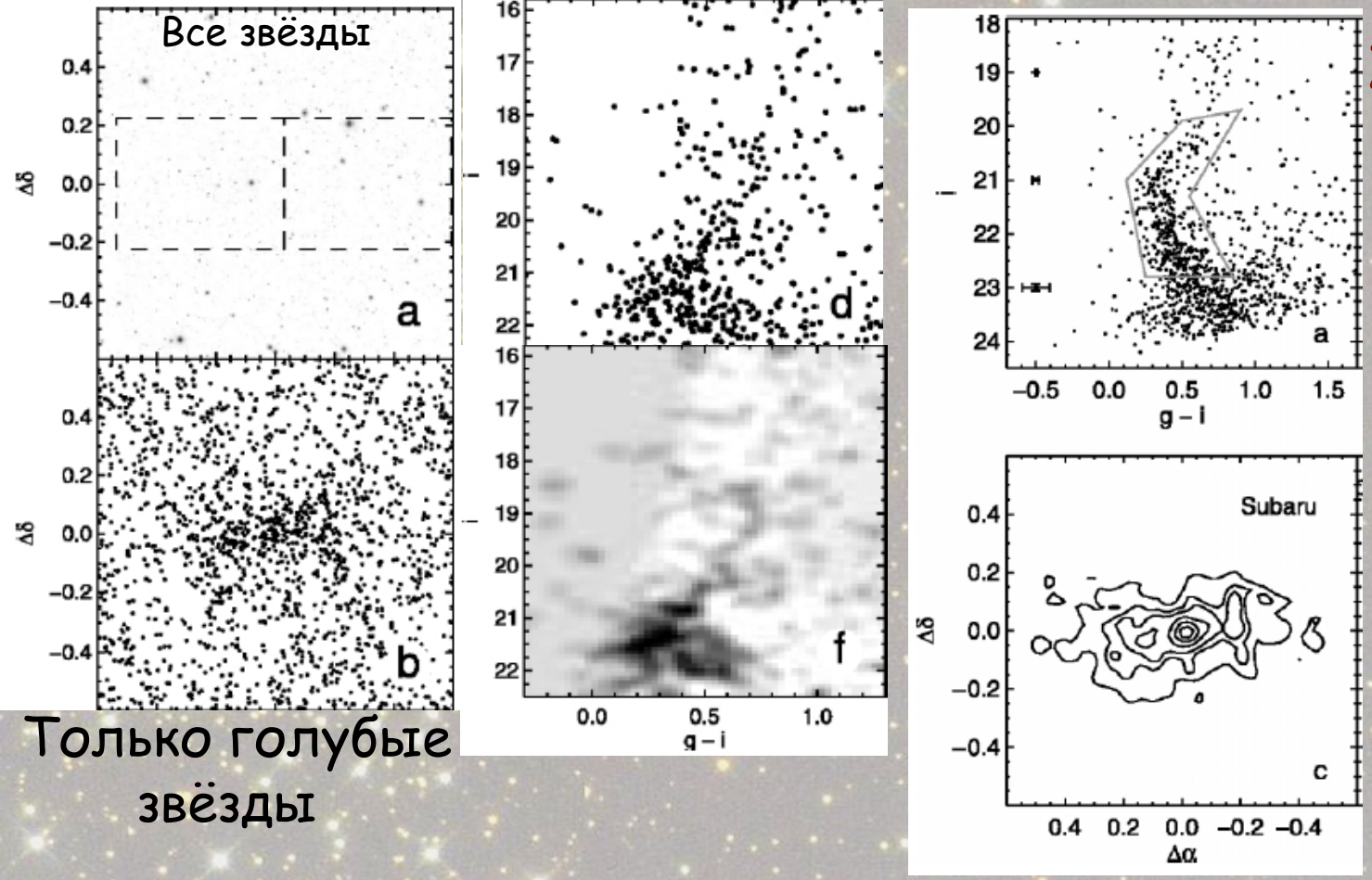
Вид на небе

Диаграмма ГР



CVn - Гончие Псы (Zucker et al., 2007)

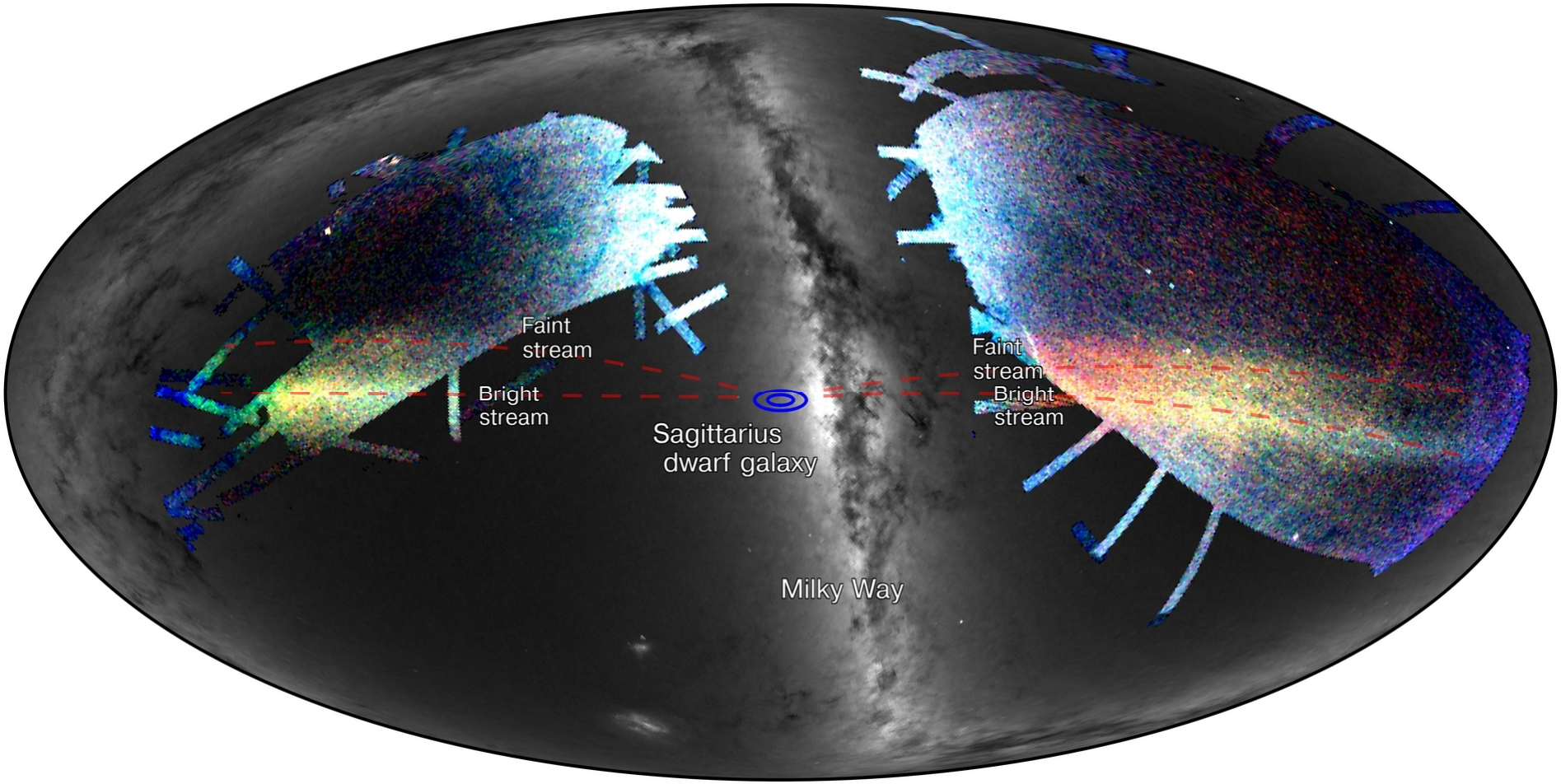




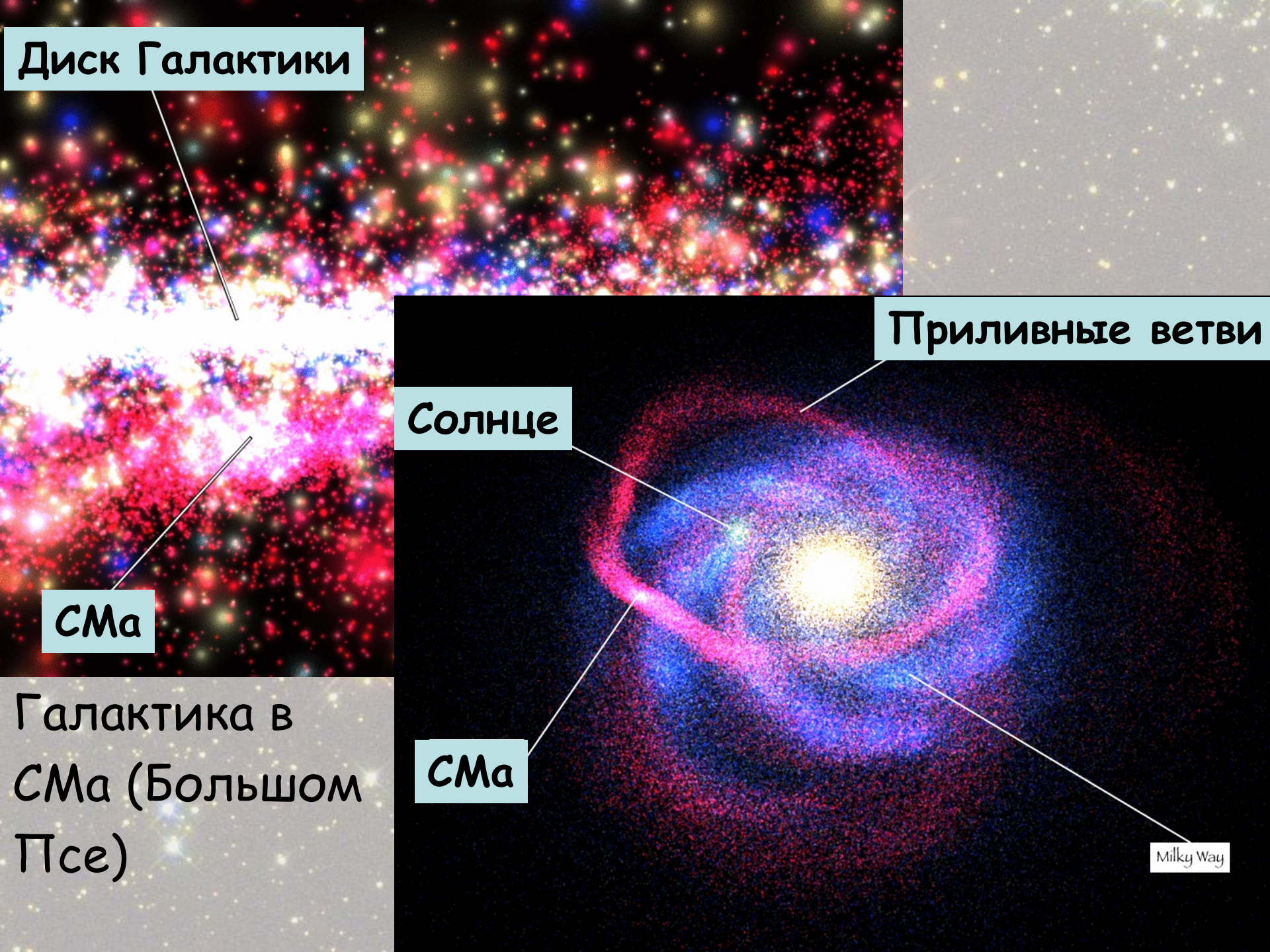
Zucker et al. (2006):

Только голубые звёзды

- Новая карликовая сфероидальная галактика **UMa II** (Большая Медведица)
- Данные SDSS и 8.2-м телескопа SUBARU (Гавайи)

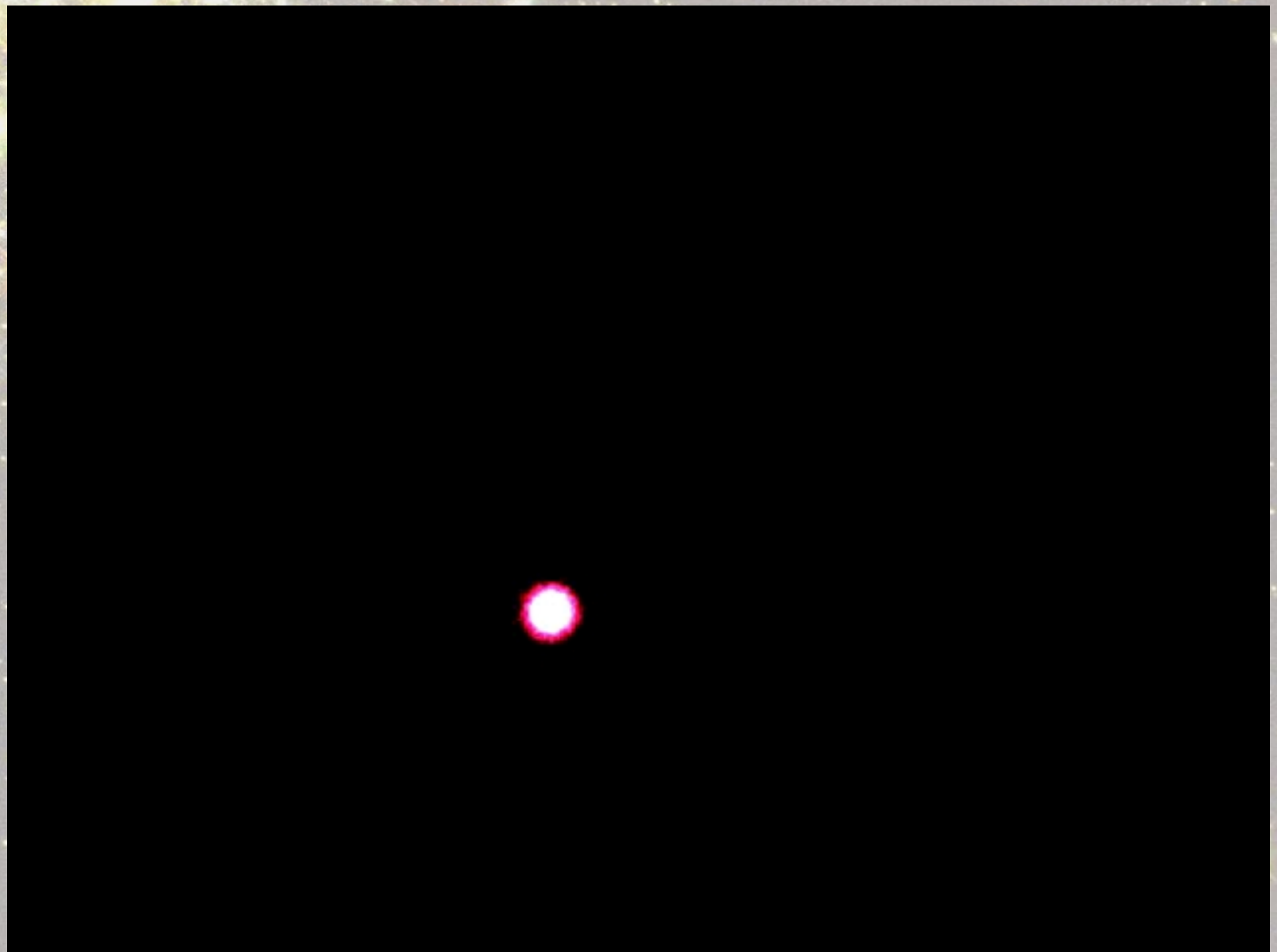


- Приливные "шлейфы" галактики Sgr dSph (Стрелец) на северном (справа) и южном (слева) небе **(Koposov et al., 2011)**:
- 4 ветви – последовательные витки орбиты

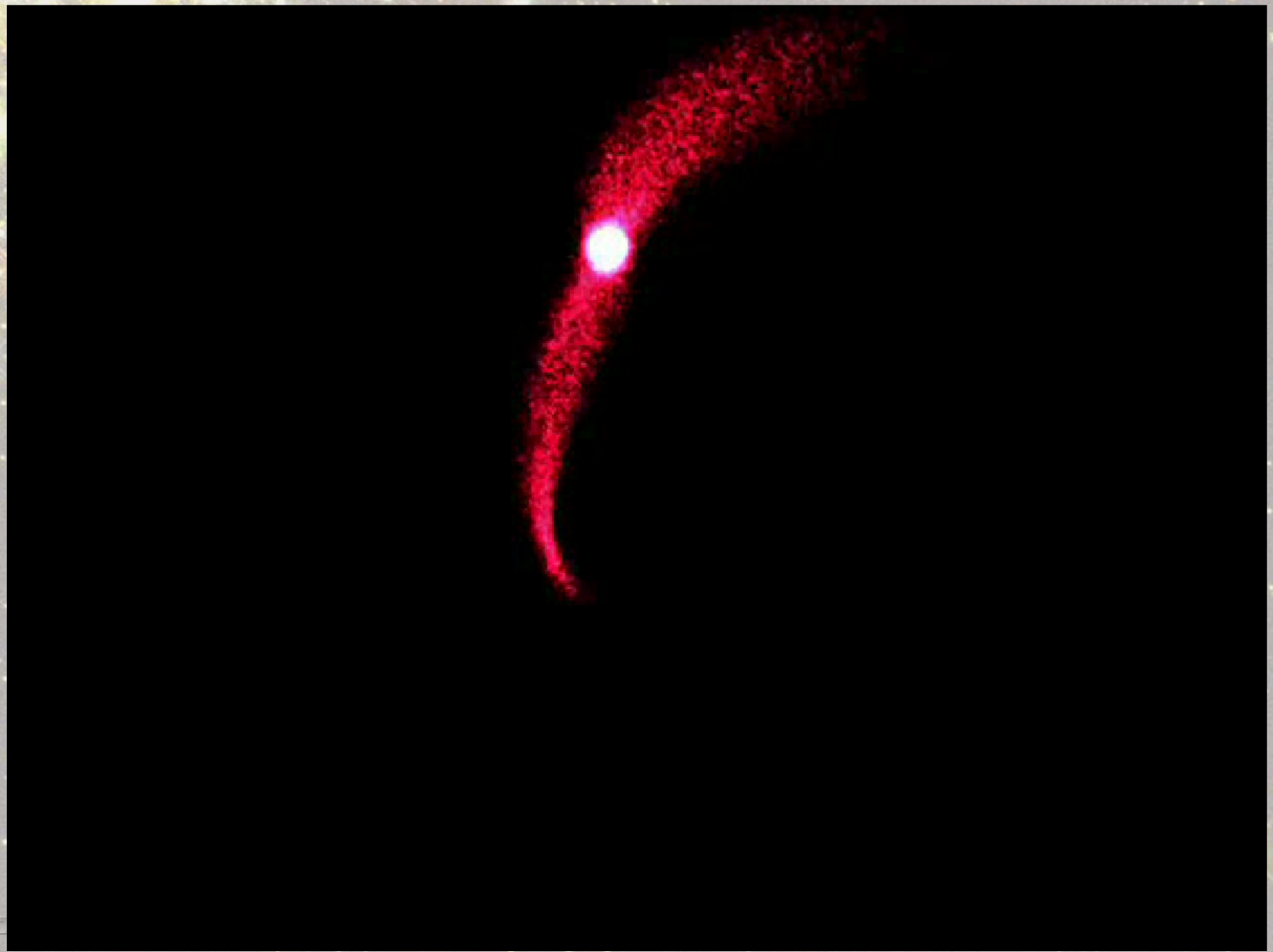


Галактика в CMa (Большом Псе)

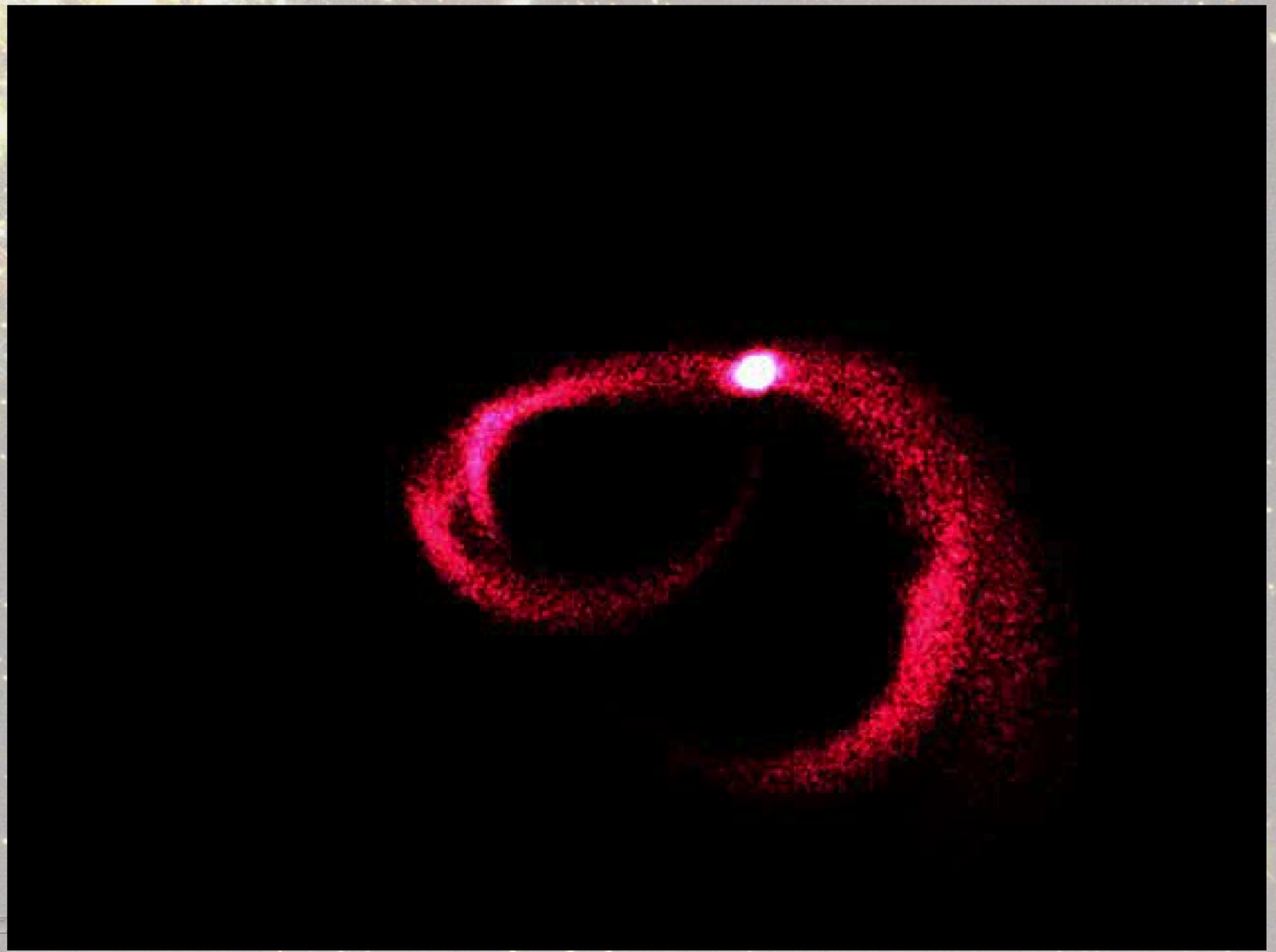
Моделирование "ветвистой" структуры распадающейся карликовой галактики



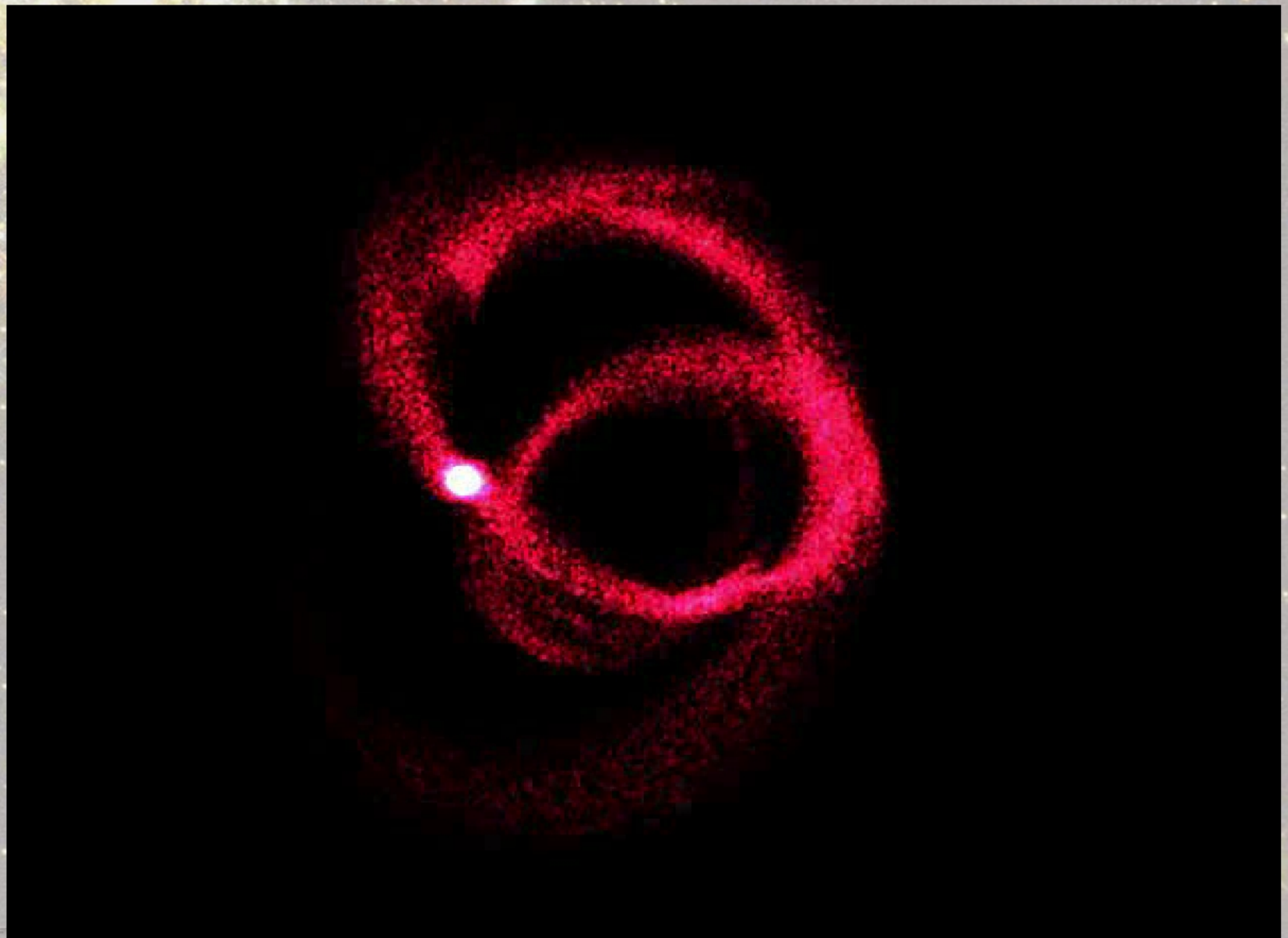
Моделирование "ветвистой" структуры распадающейся карликовой галактики



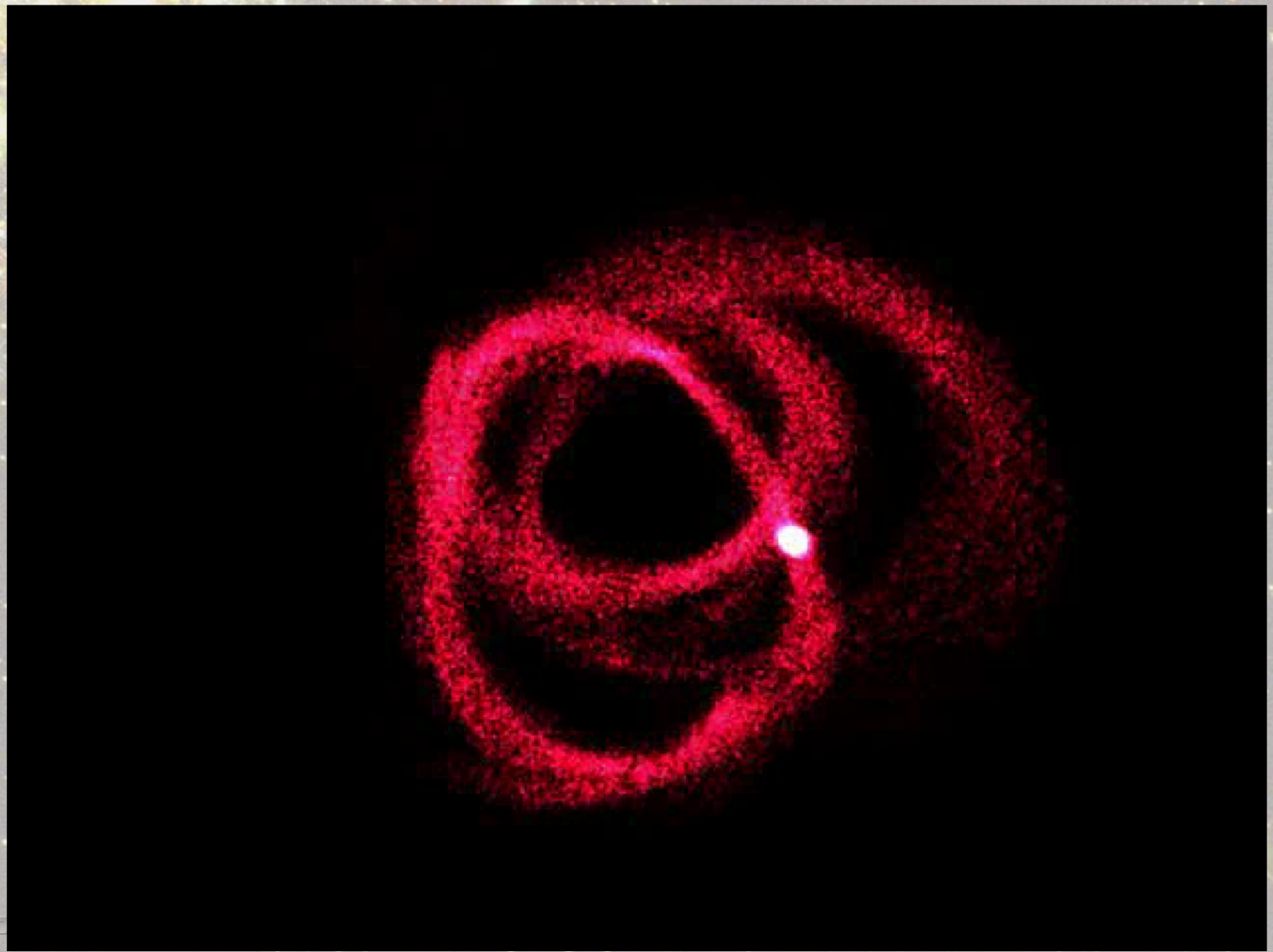
Моделирование "ветвистой" структуры распадающейся карликовой галактики



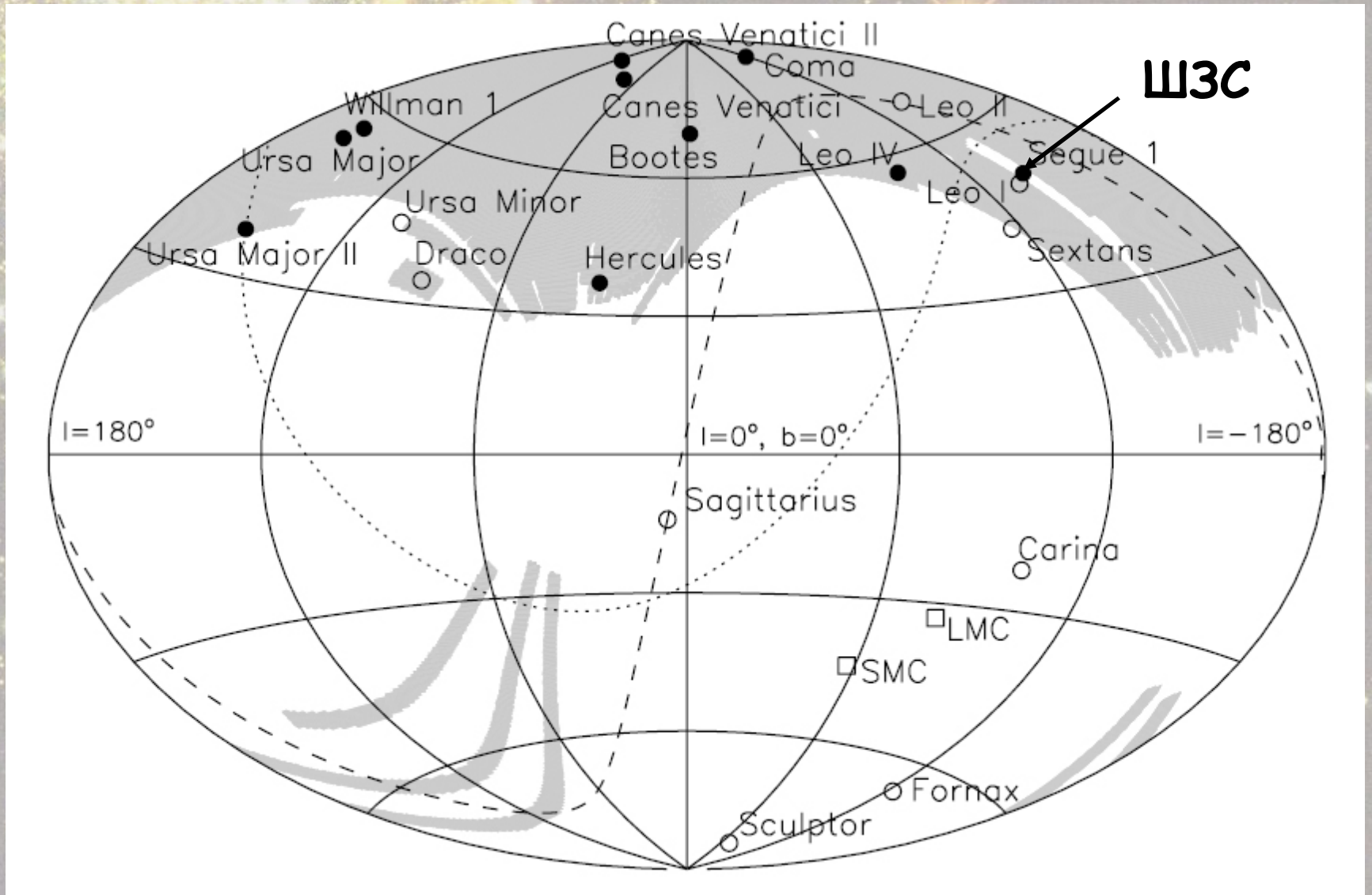
Моделирование "ветвистой" структуры распадающейся карликовой галактики



Моделирование "ветвистой" структуры распадающейся карликовой галактики



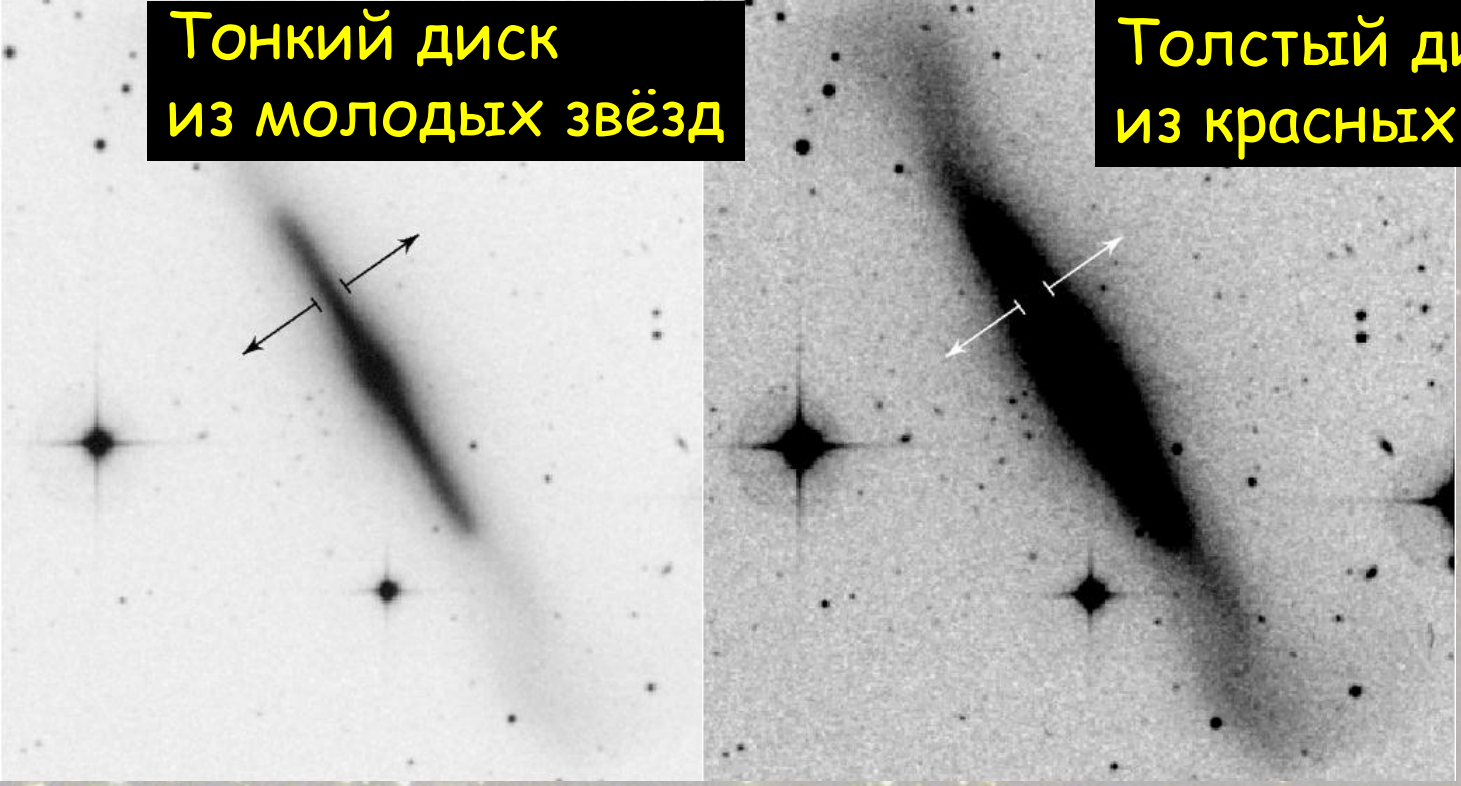
С помощью "всенебесных" обзоров открыто более десятка новых спутников Галактики



- Поиск и исследование процессов “малого” каннибализма - распада скоплений и карликовых спутников – сложнейшая наблюдательная задача

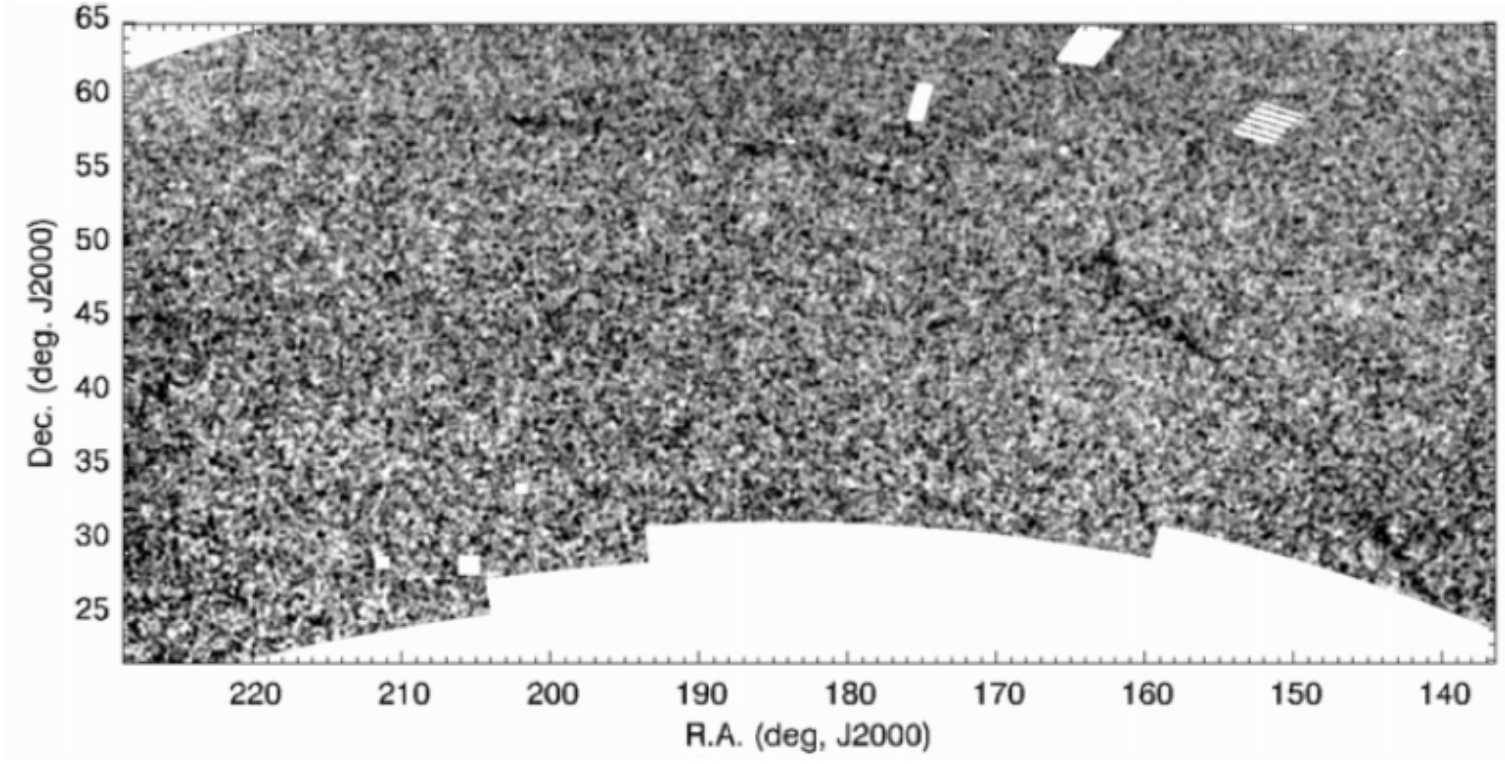
- Предполагается, что Млечный Путь в течение всей своей жизни мог “съесть” десятки (сотни ?) своих карликовых компаньонов

- Современные теории происхождения и эволюции галактик это учитывают



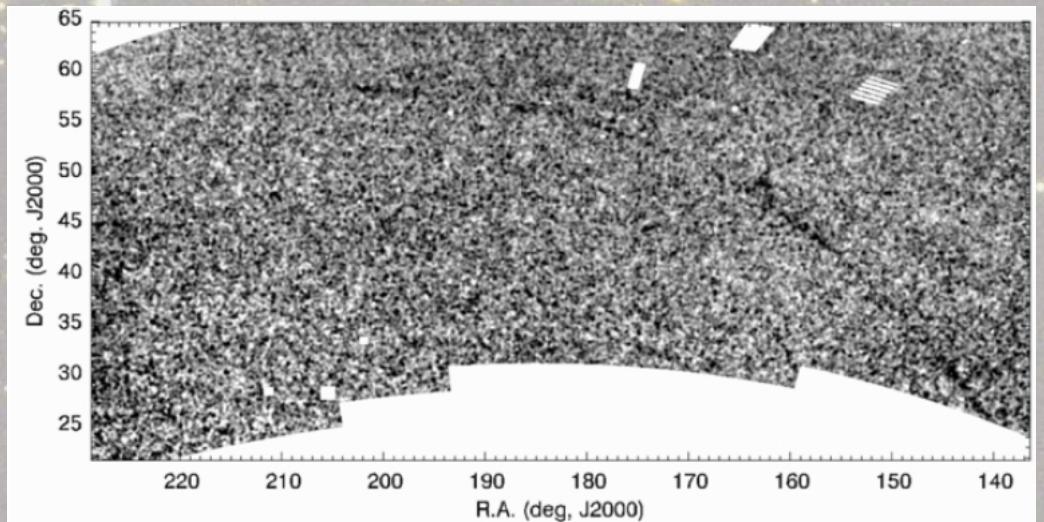
- Тонкие диски галактик: ~200-300 пк
- Толстые диски: ~ 1000-2000 пк
- **Происхождение "толстого диска" галактик также связывают с разрушением спутников галактик (динамическое трение + приливные силы)**

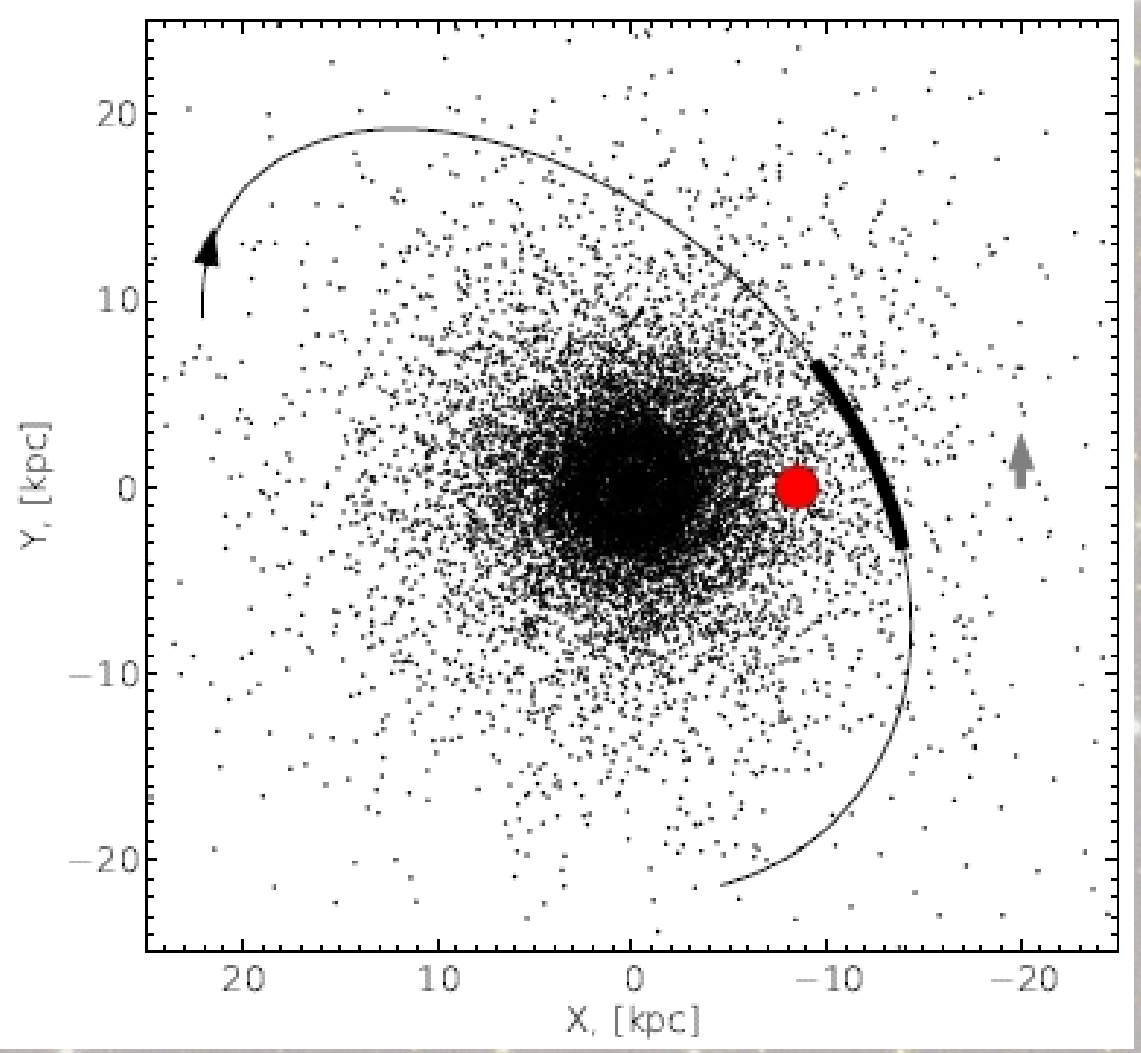
- **Grillmair, Donatos, 2006:** открытие потока GD-1 протяжённостью ~63° на небесной сфере:



- Очевидно, это "шлейф" шарового скопления (пока не обнаруженного)

- Обнаружение исключительно длинных "шлейфов" скоплений и карликовых спутников – уникальная находка, позволяющая восстановить форму их орбит и, следовательно, изучить распределение масс в Галактике (т.е. вид её гравитационного потенциала)





Koposov et al. (2009):
Скорость вращения на периферии Галактики:
V_0 ~ 220 км/с
Полная масса Галактики:
~1000 млрд. солн.
(барионная масса в 10 раз меньше)
Сжатие тёмного гало ~0.8

- Реконструкция орбиты GD-1 и наблюдения
- Кружком отмечено положение Солнца

Происхождение галактик – “большой” каннибализм

Слияния фрагментов и галактик почти равных масс – необходимый этап в процессе формирования спиральных и эллиптических галактик

История как на ладони

Слияние сгустков темной материи – основной сценарий образования "зародышей" будущих галактик в течение первых 1-2 млрд. лет

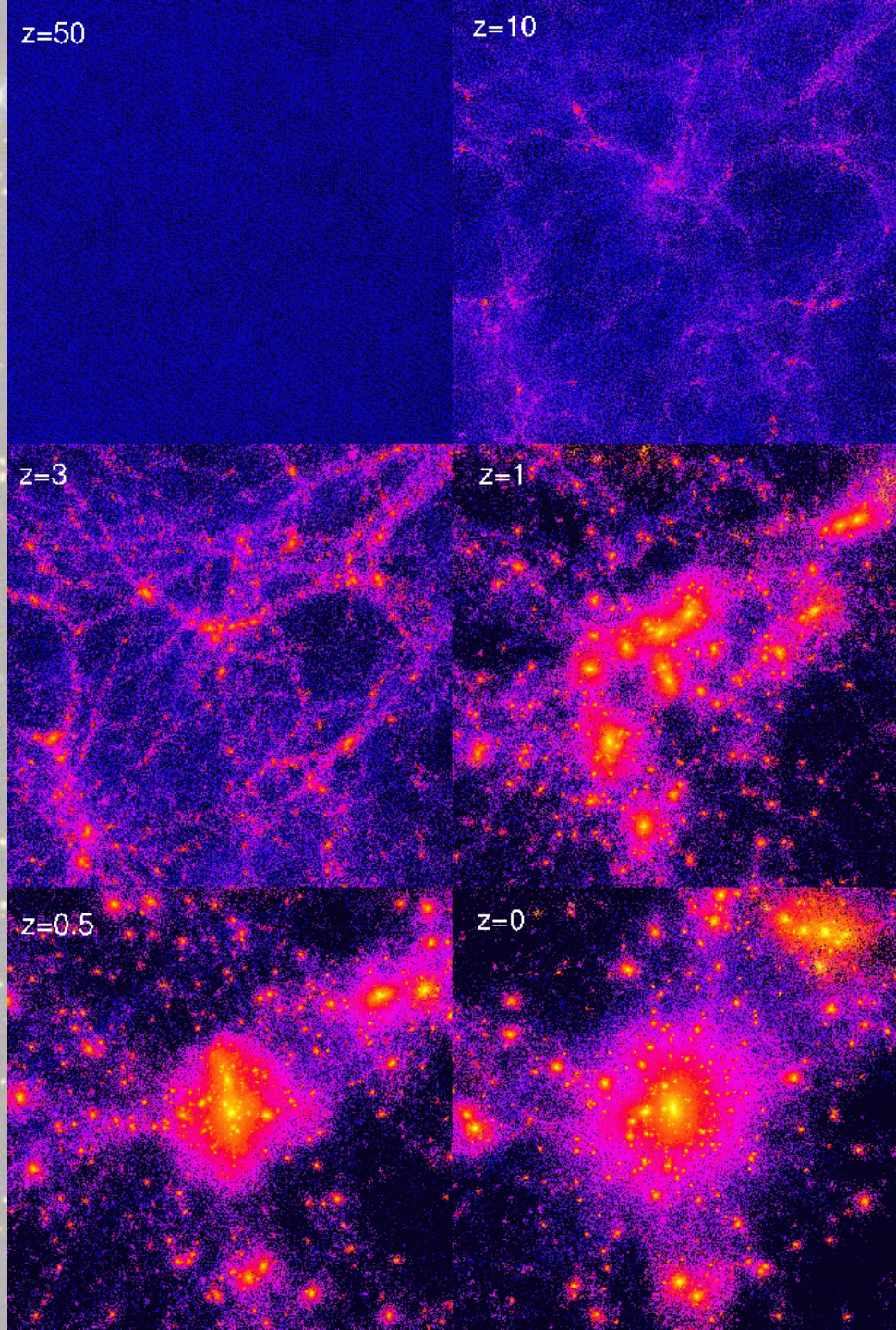
Спиральные галактики: захват небольших фрагментов, богатых газом ?

Эллиптические галактики: слияние фрагментов почти равных масс ?

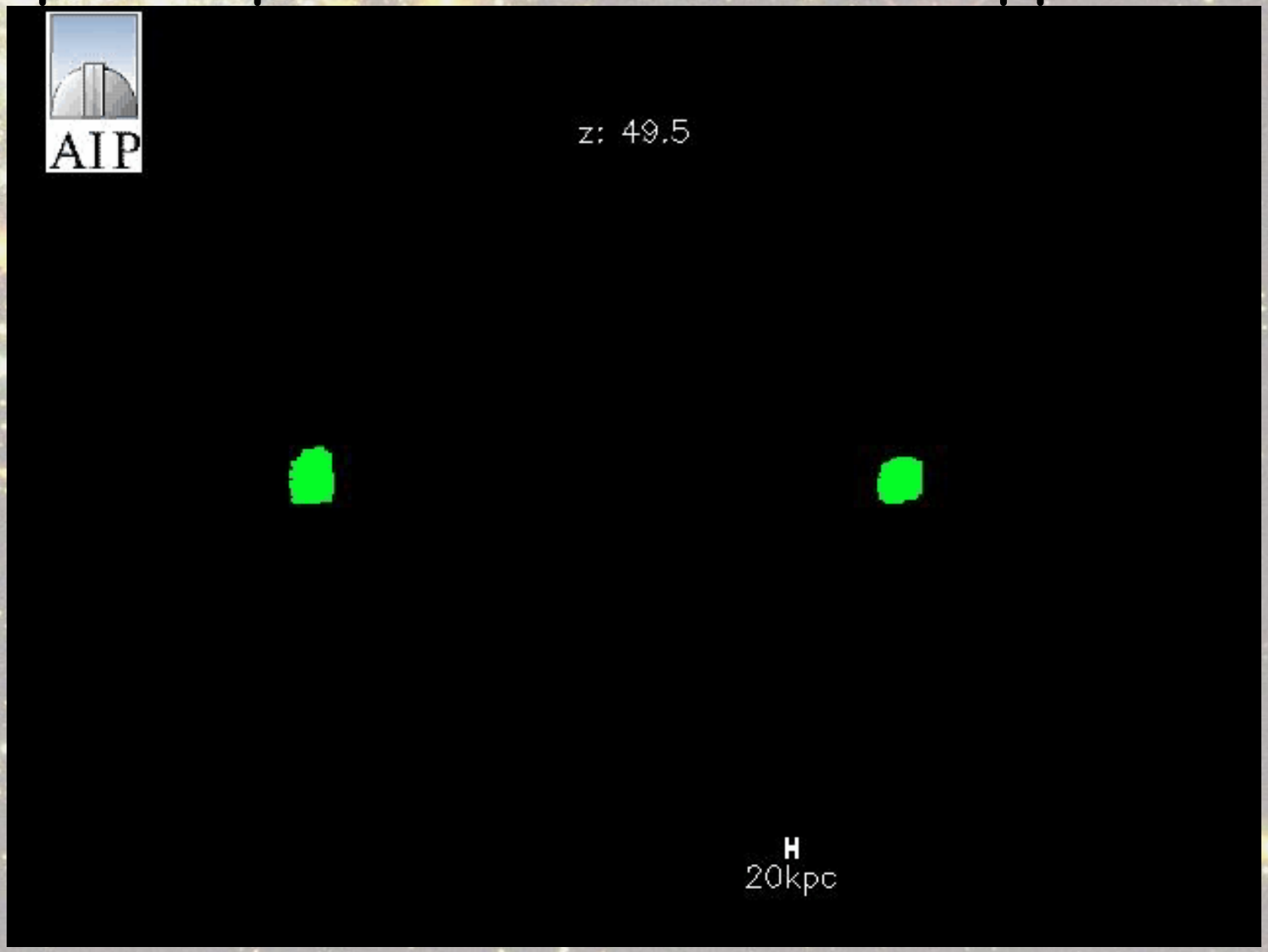
Спиральные галактики

⇓ ?

Эллиптические галактики

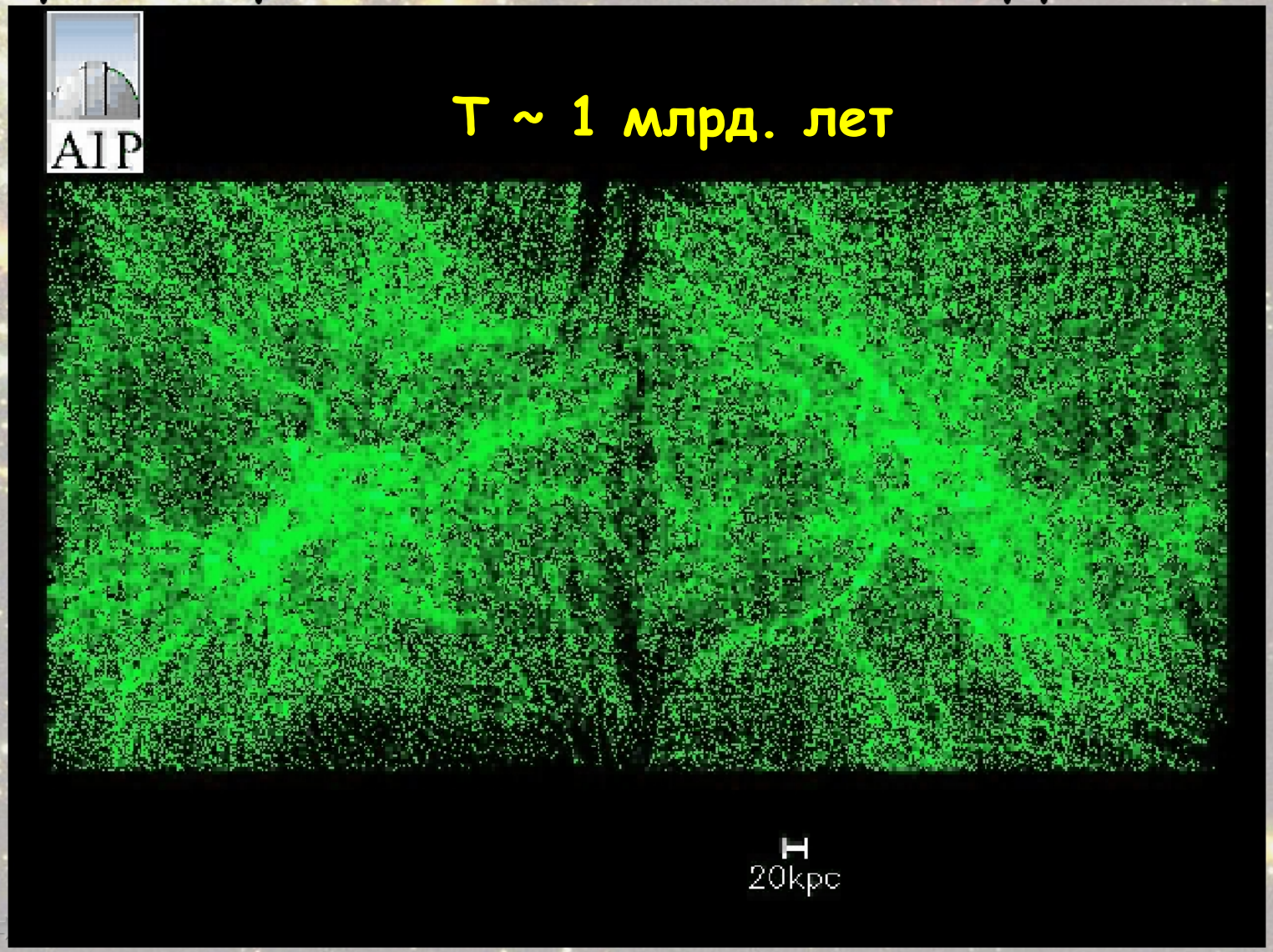


Сценарий рождения дисковой галактики (фас и профиль)
Природа вращения: сближения фрагментов

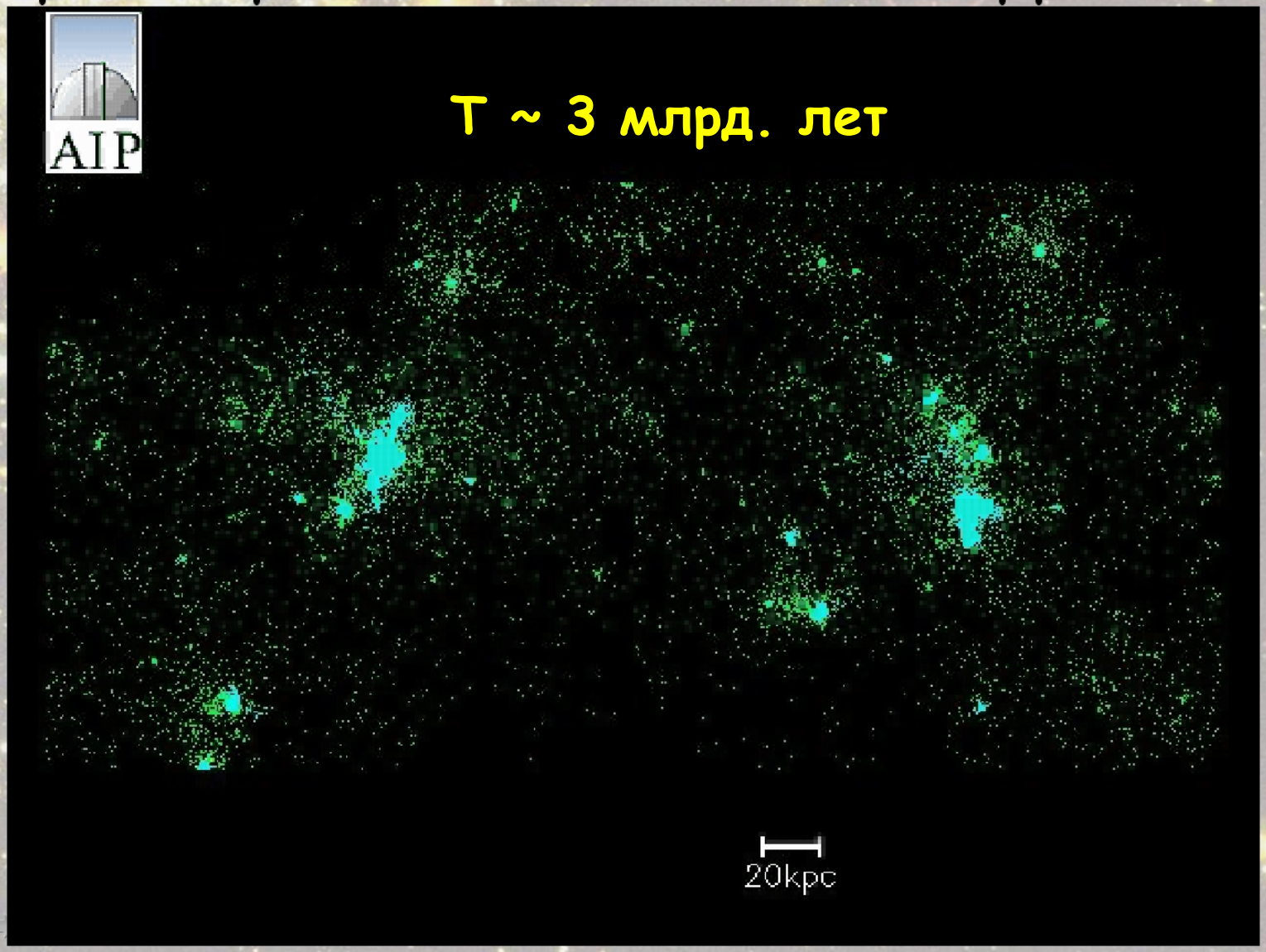


Сценарий рождения дисковой галактики (фас и профиль)

Природа вращения: сближения фрагментов

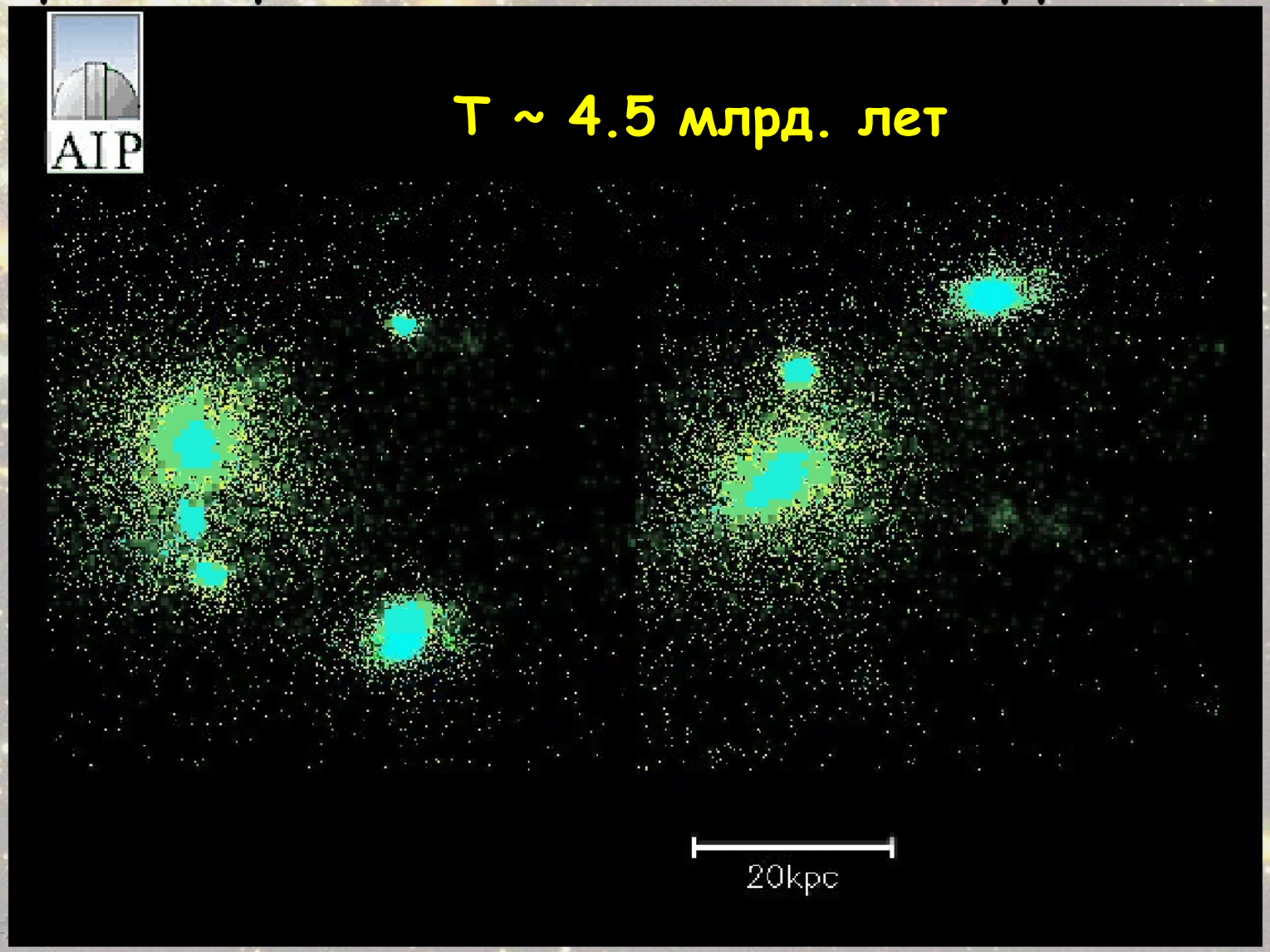


Сценарий рождения дисковой галактики (фас и профиль)
Природа вращения: сближения фрагментов



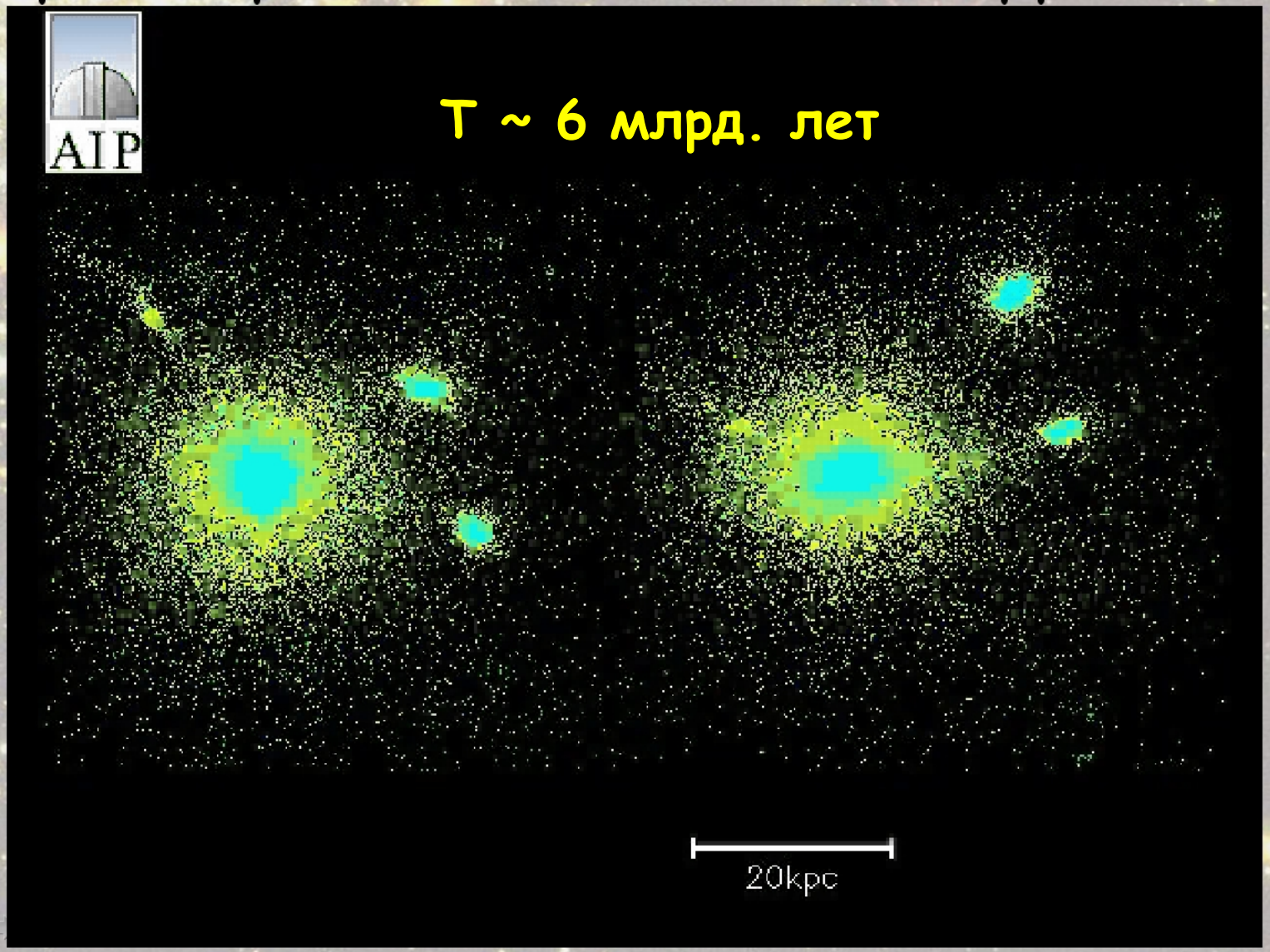
Сценарий рождения дисковой галактики (фас и профиль)

Природа вращения: сближения фрагментов



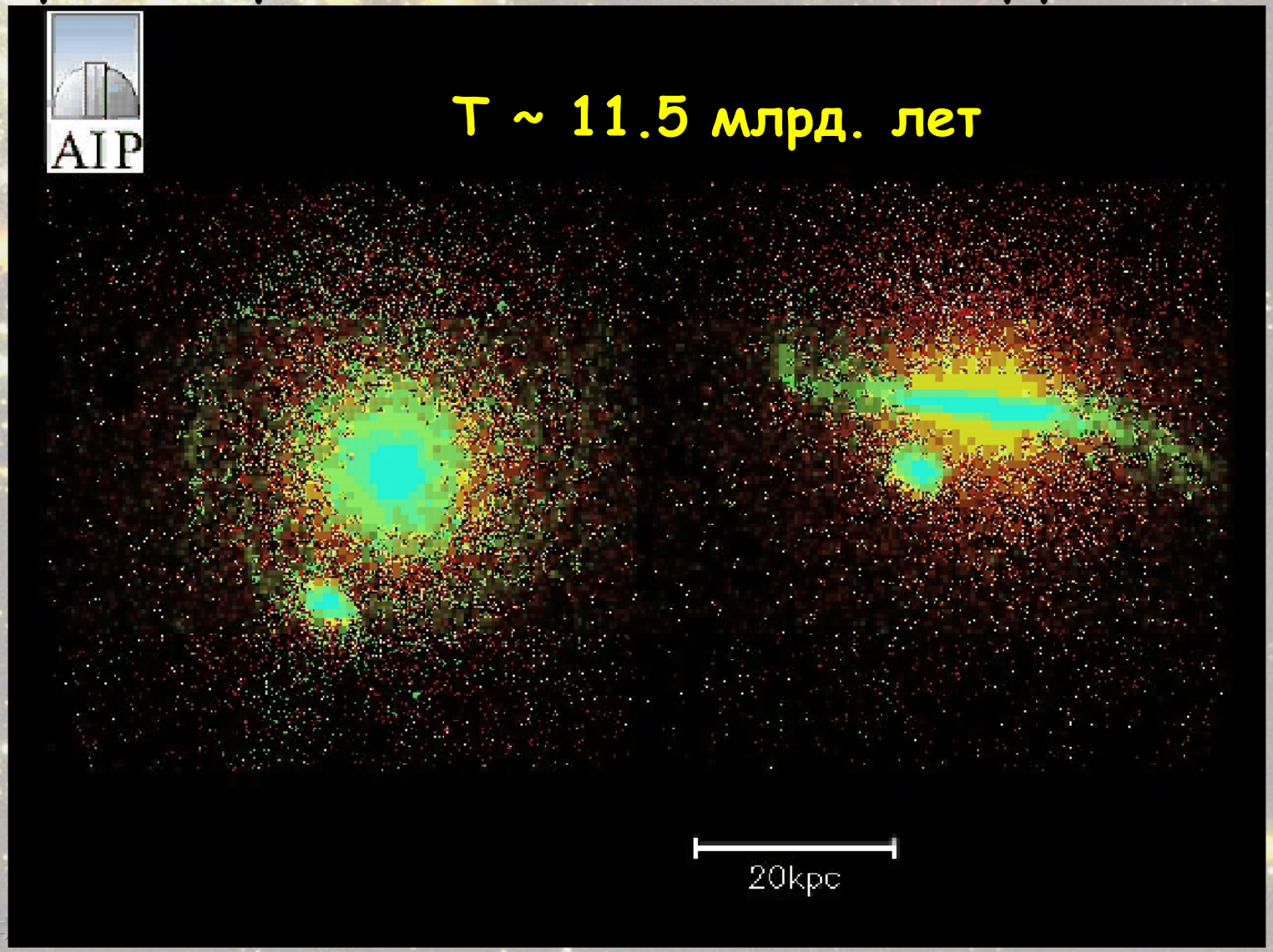
Сценарий рождения дисковой галактики (фас и профиль)

Природа вращения: сближения фрагментов



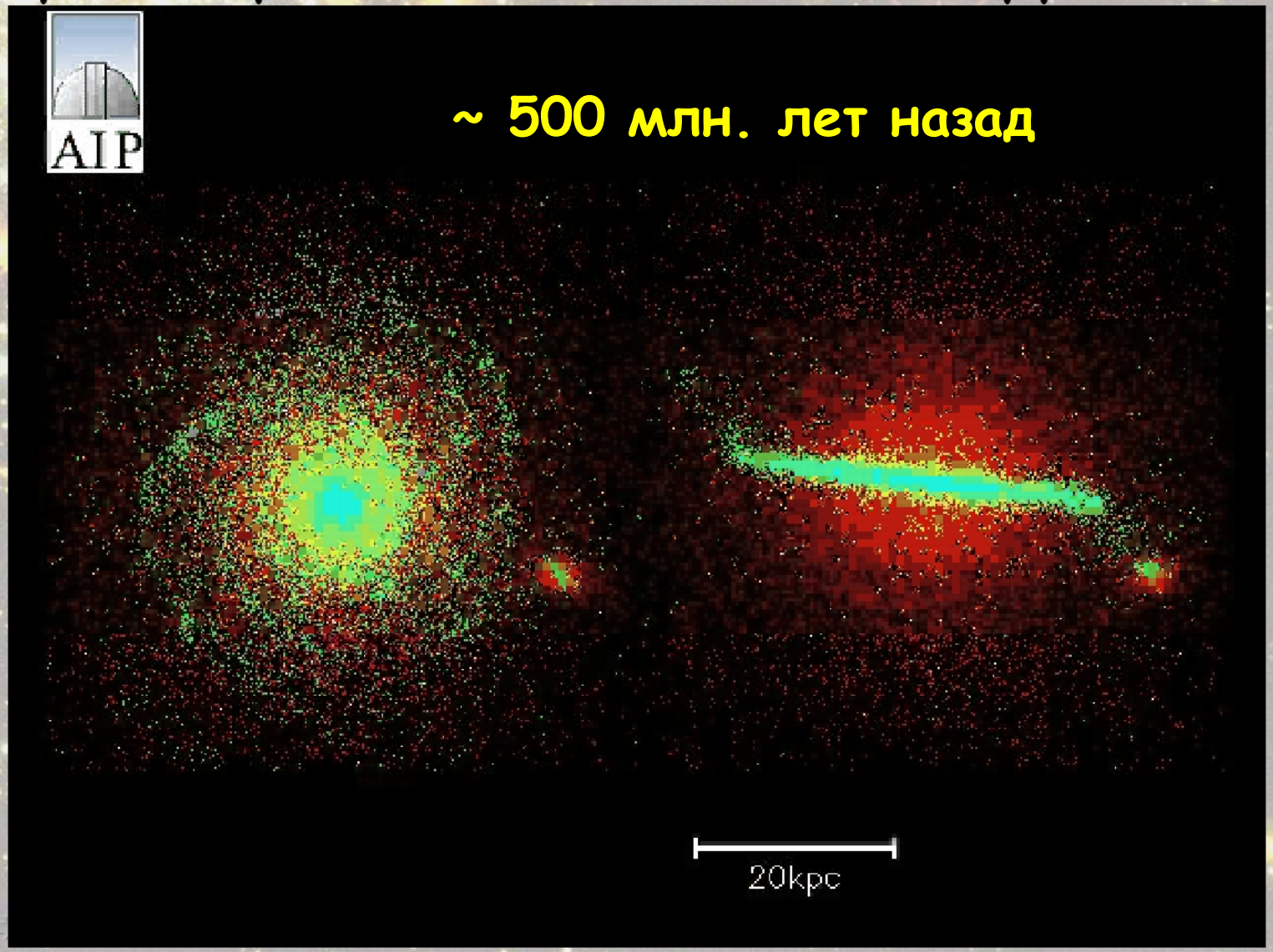
Сценарий рождения дисковой галактики (фас и профиль)

Природа вращения: сближения фрагментов

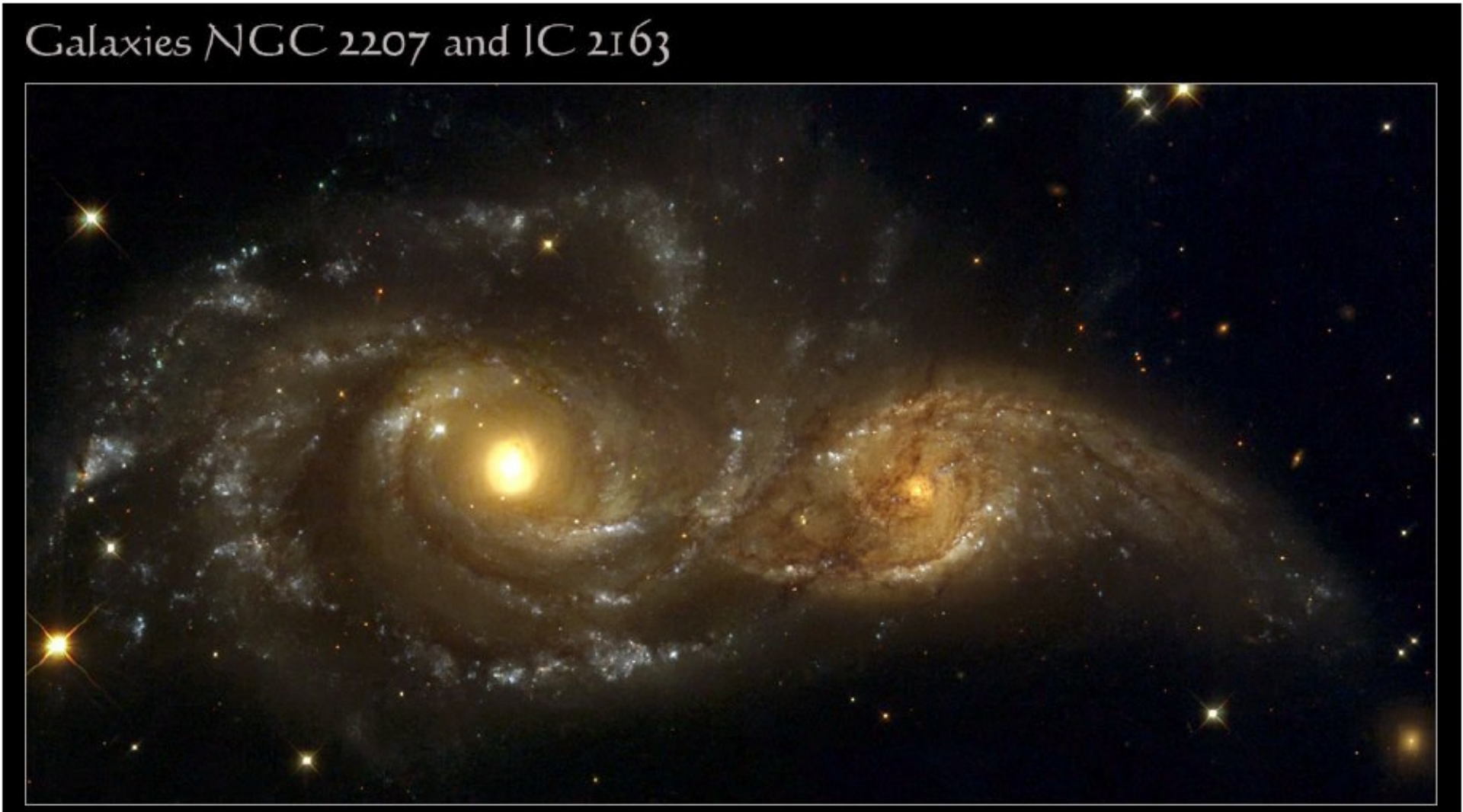


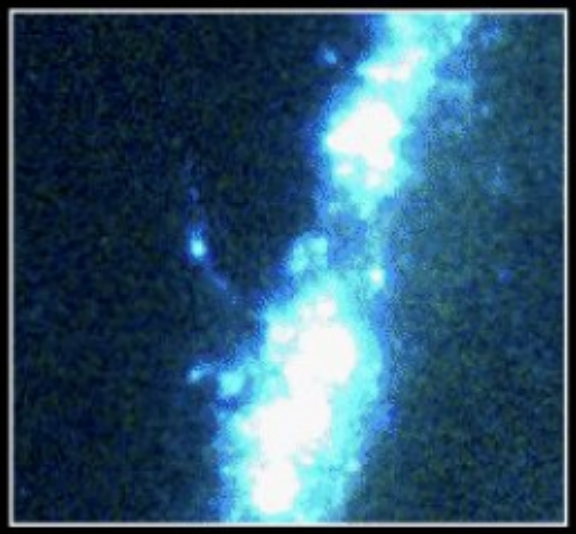
Сценарий рождения дисковой галактики (фас и профиль)

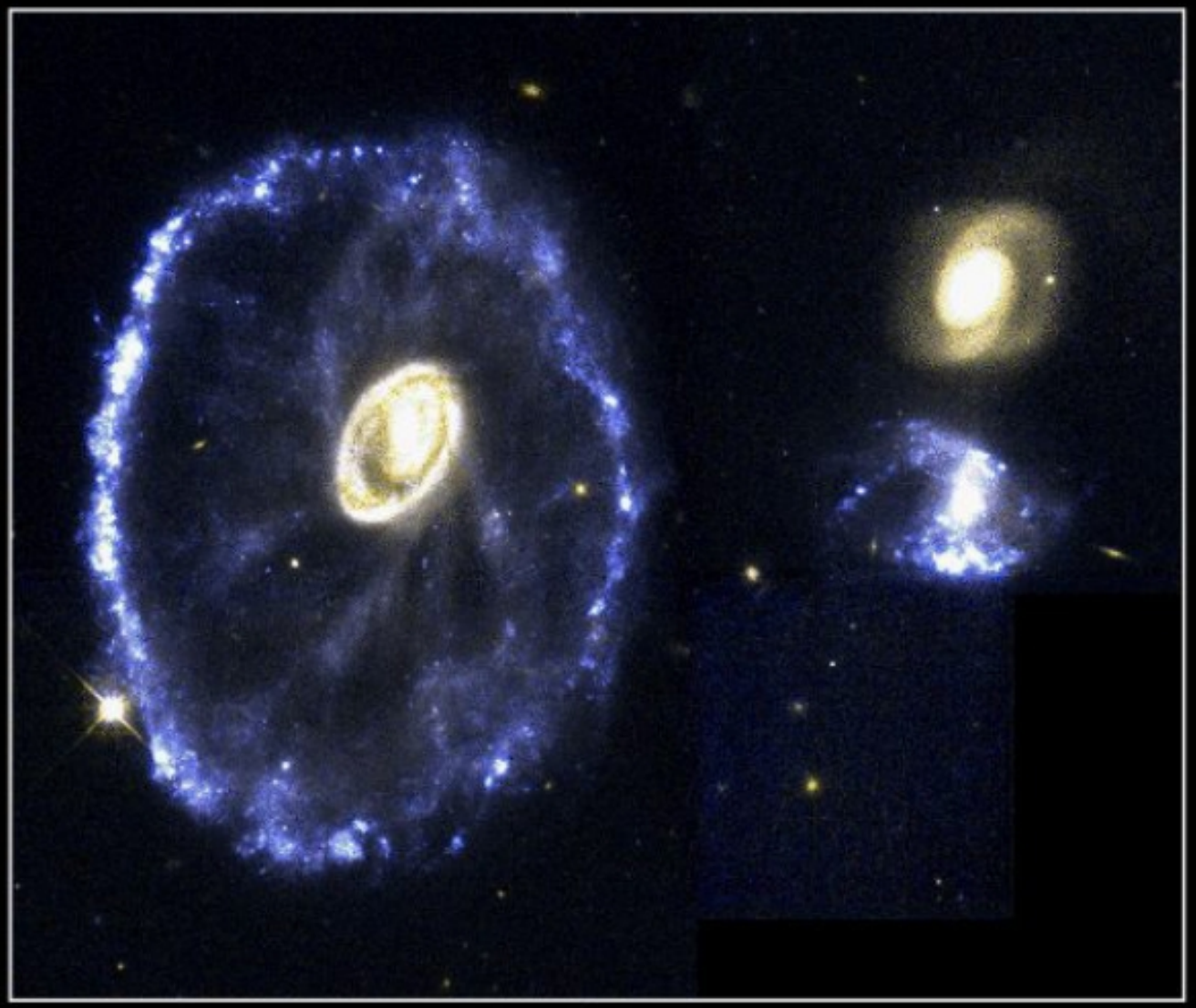
Природа вращения: сближения фрагментов



Взаимодействие галактик – общее явление во Вселенной, и одновременно – стимулятор образования звёзд из сильно сжатого газа

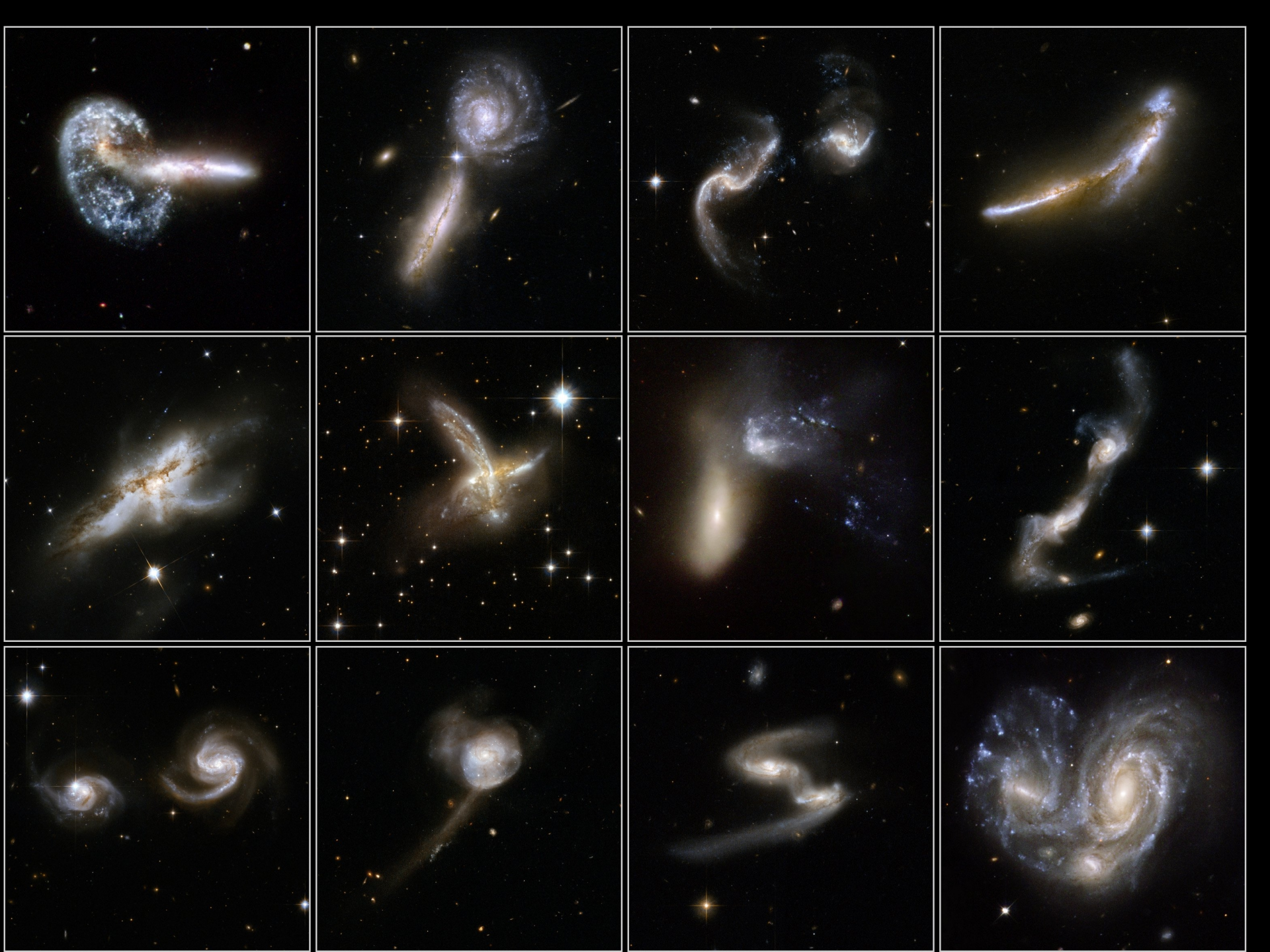






“Тележное колесо” – кольцеобразная галактика, результат сквозного пролёта спутника; две зоны (“вспышки”) звездообразования, возбуждённого ударной волной

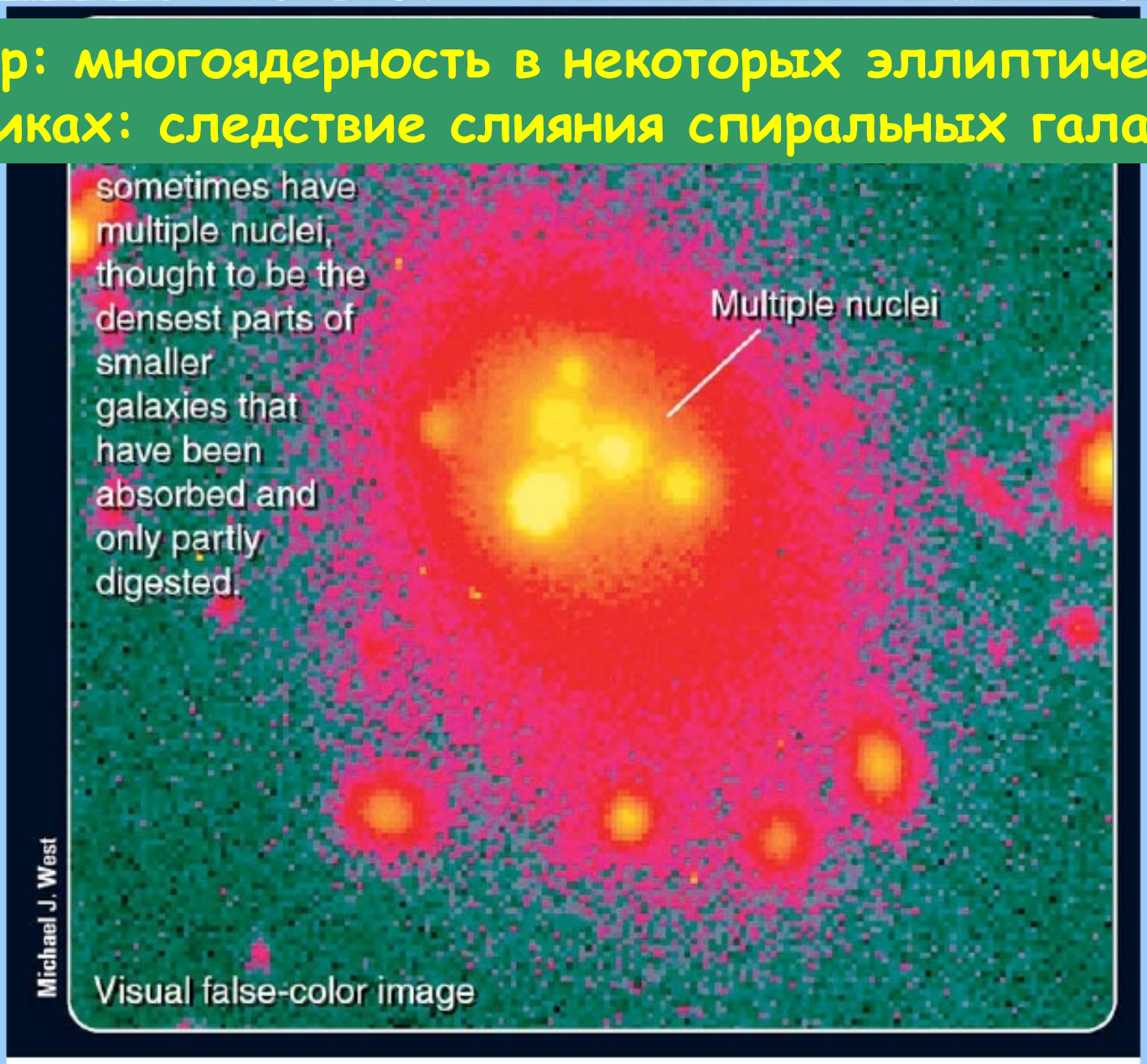
"Антенна": мощная
вспышка звездообразования
Colliding Galaxies NGC 4038 and NGC 4039
HST • WFPC2
PRC97-34a • ST ScI OPO • October 21, 1997 • B, Whitmore (ST ScI) and NASA



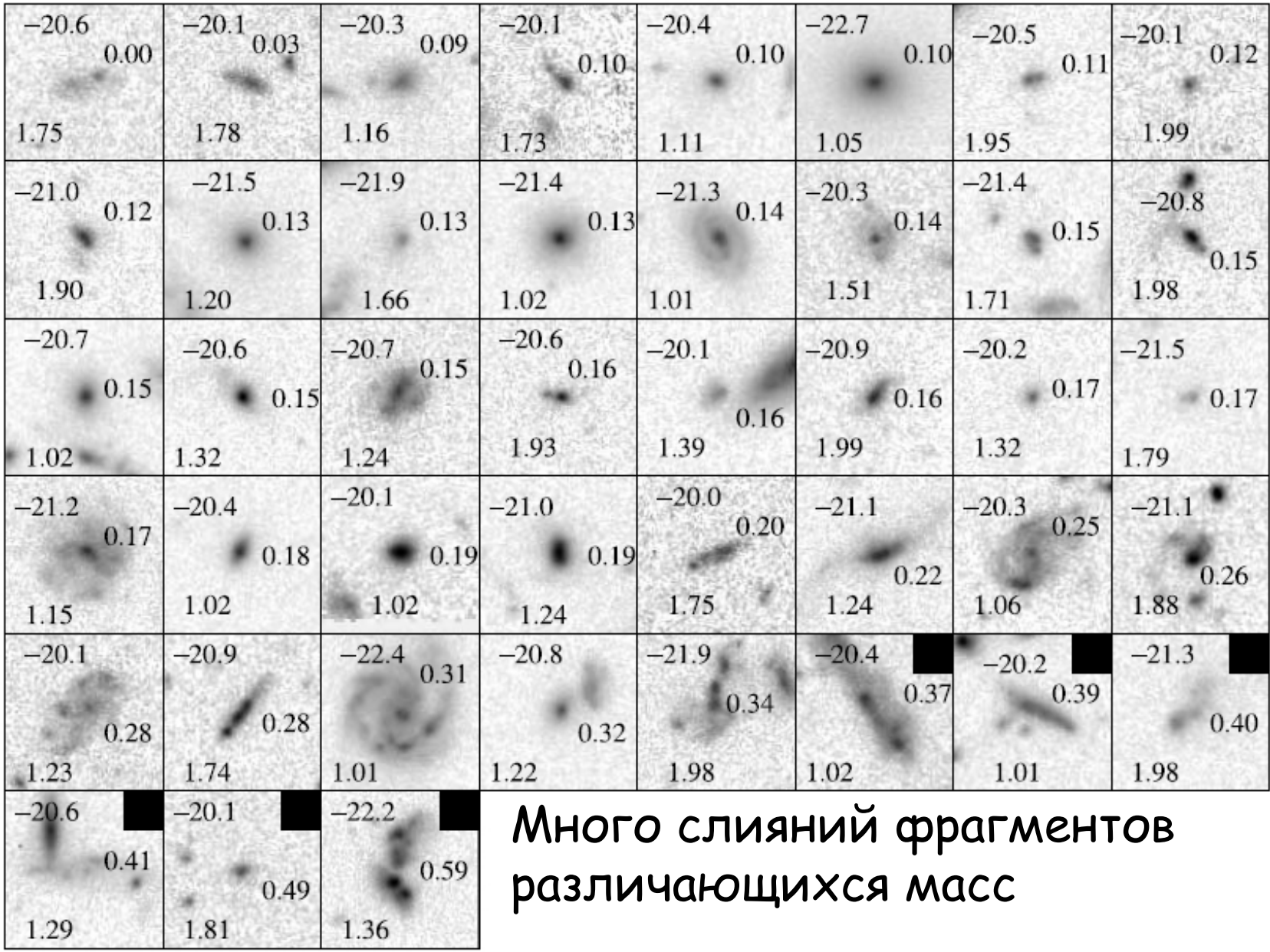
- Искажение форм, вспышки звездообразования в сблизившихся галактиках – следствие приливного разрушения и взаимодействия
- Галактики “поедают” друг друга: каннибализм в больших масштабах
- “Глубокие” обзоры показывают, что это типичное явление и для ранних этапов жизни галактик

Следы галактического "каннибализма"

Пример: многоядерность в некоторых эллиптических галактиках: следствие слияния спиральных галактик?



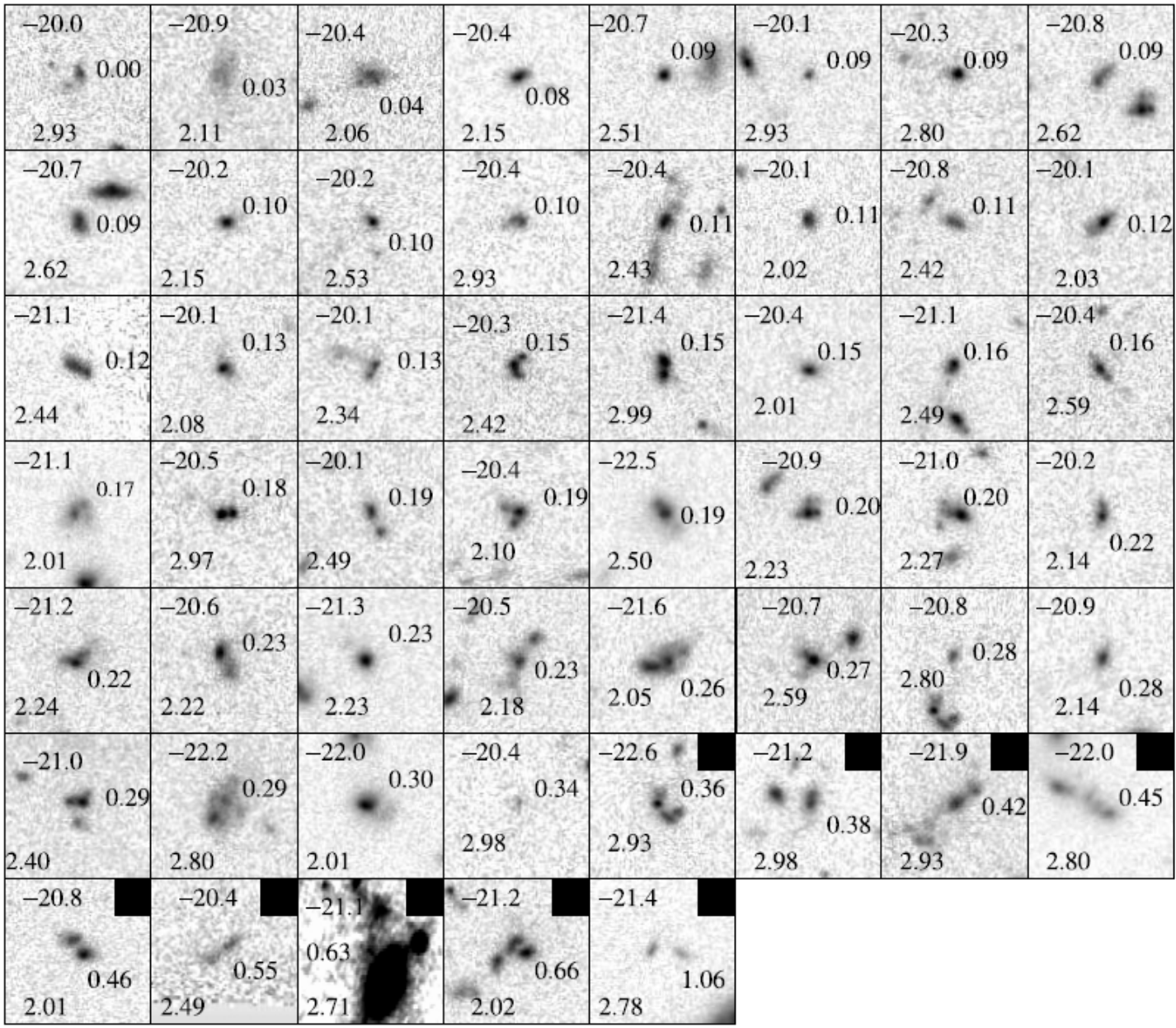
1 < z < 2 (возраст Вселенной 3.3 – 6 млрд. лет)
HST North Deep Field (Conselice et al., 2003)



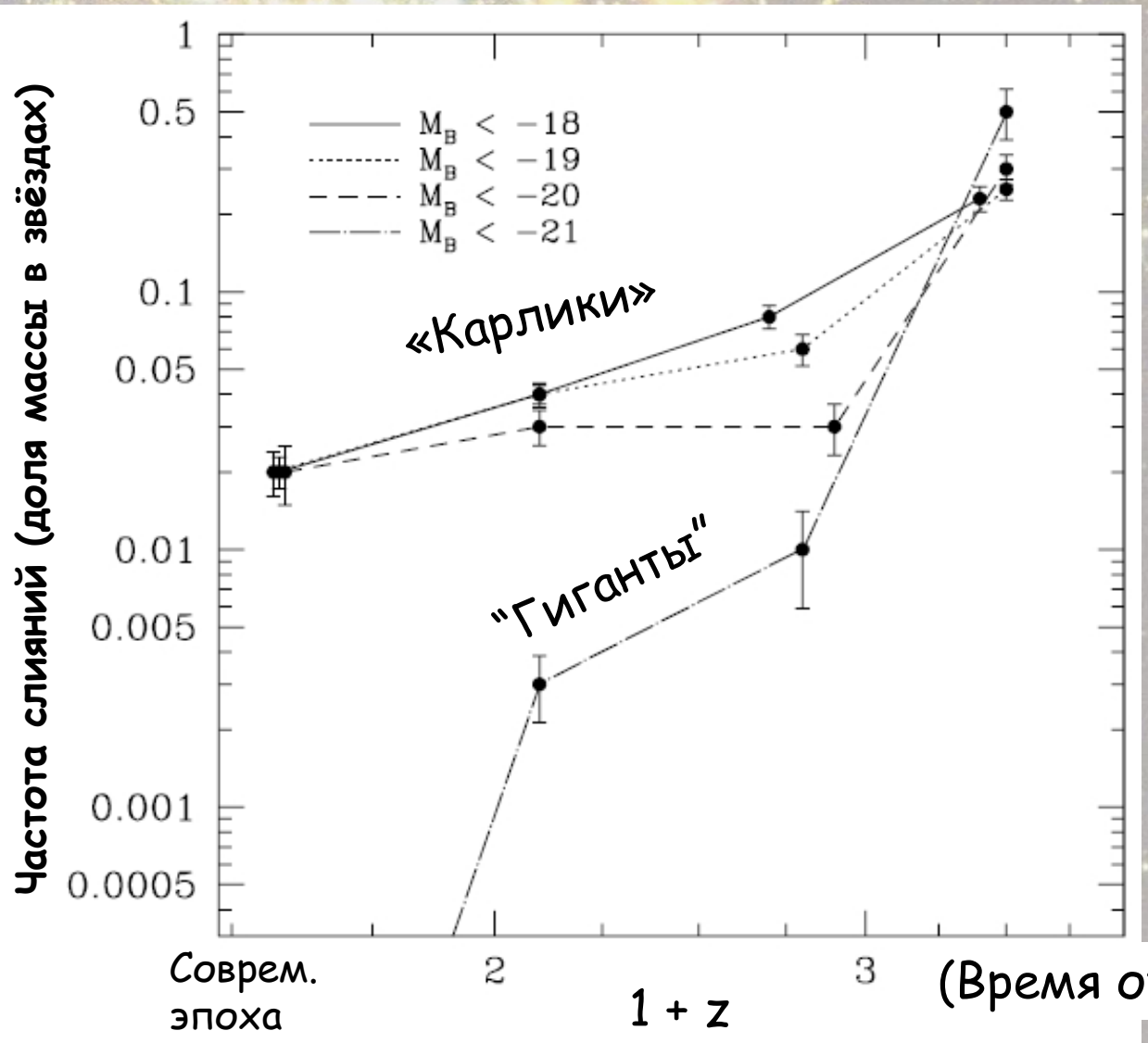
Много слияний фрагментов различающихся масс

2 < z < 3 (возраст Вселенной 2.2 - 3.3 млрд. лет)
HST North Deep Field (Conselice et al., 2003)

Много слияний фрагментов близкой массы



- Общий вывод: частота слияний галактик со временем падает



Слияний гигантских галактик в прошлом (до 2.2 – 2.5 млрд. лет) было много, а сейчас их почти нет (ещё будут ?)

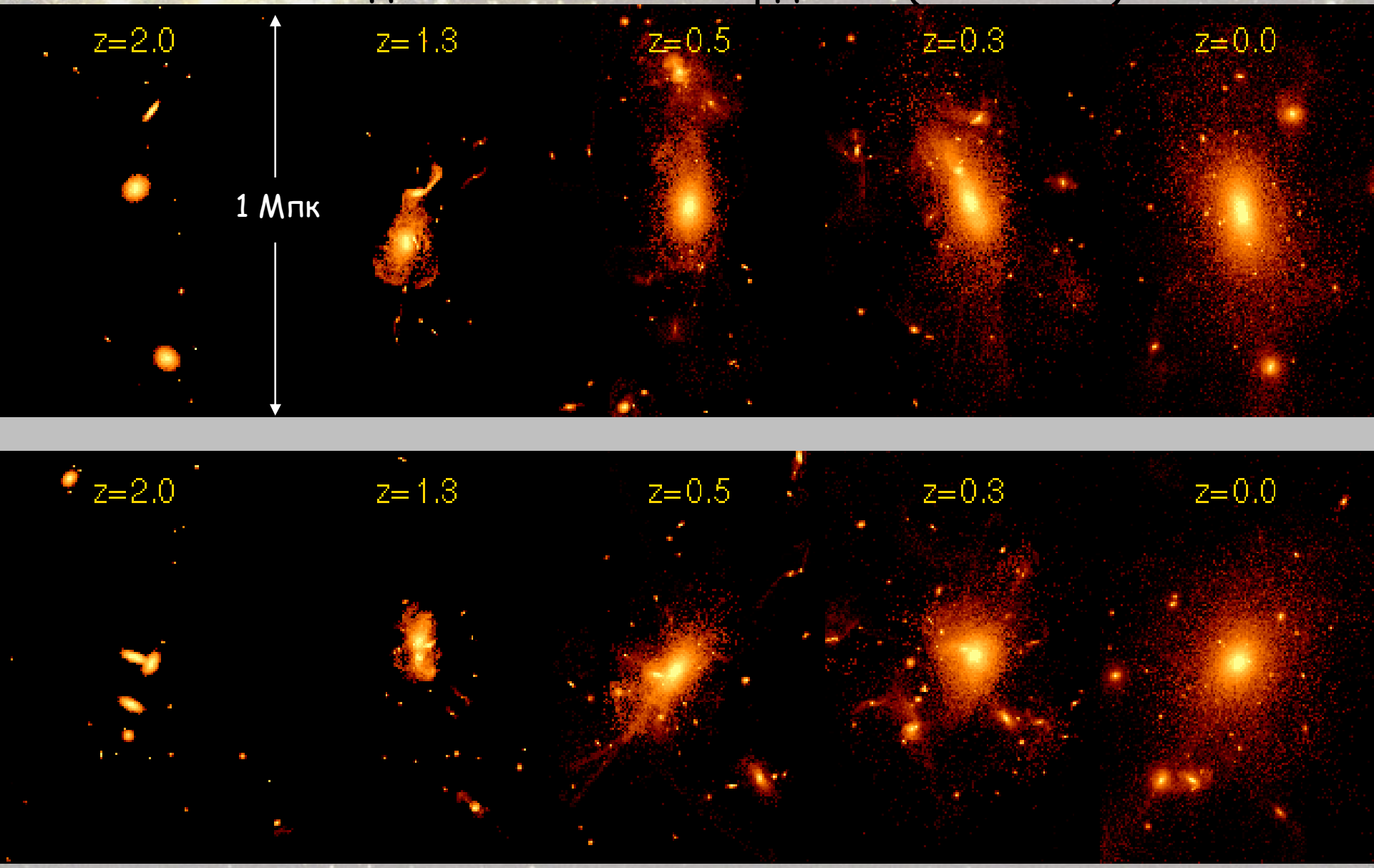
Слияний "малых" галактик много и сейчас

(Время отсчитывается в прошлое)

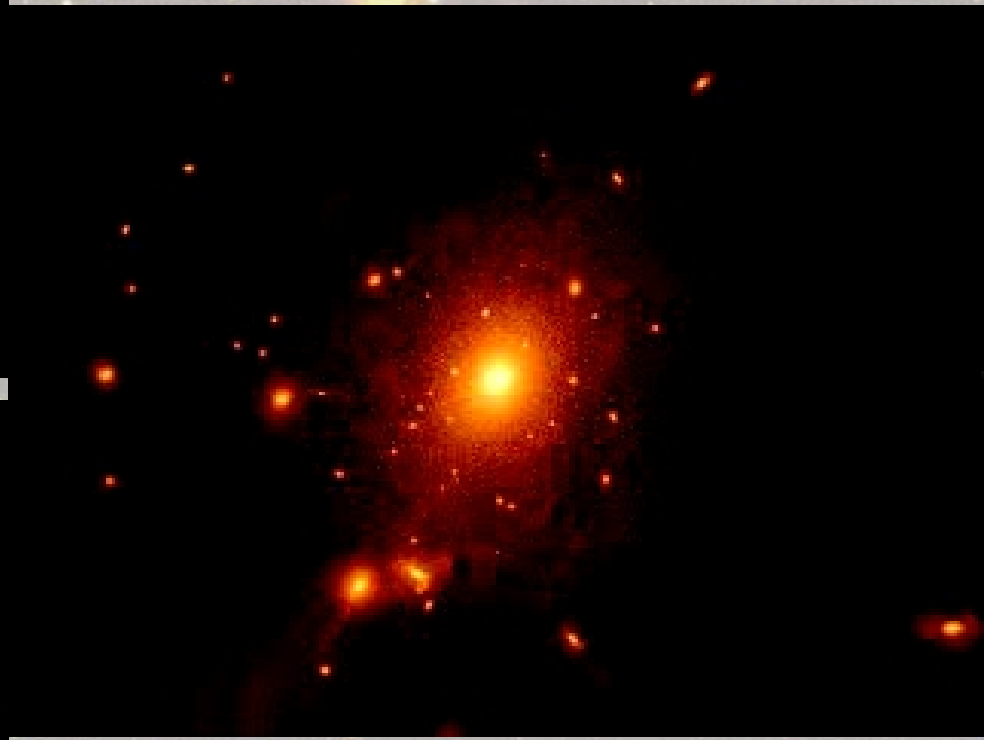
- В эллиптических галактиках газа практически нет
- **Одна из основных идей:** они могли образовываться при слиянии спиральных галактик
- Звёзды практически не ощущают столкновения галактик (кроме искажения их распределения за счёт приливных сил)
- Газ почти целиком "выметается" из системы
- Аналогия: столкновение подушек и шарикоподшипников

Образование гигантской эллиптической галактики при слиянии 4-х крупных галактик (Major Merger; Dubinski, 1998)

Объединяются за ~3 млрд. лет (z: 2.0-0.8)



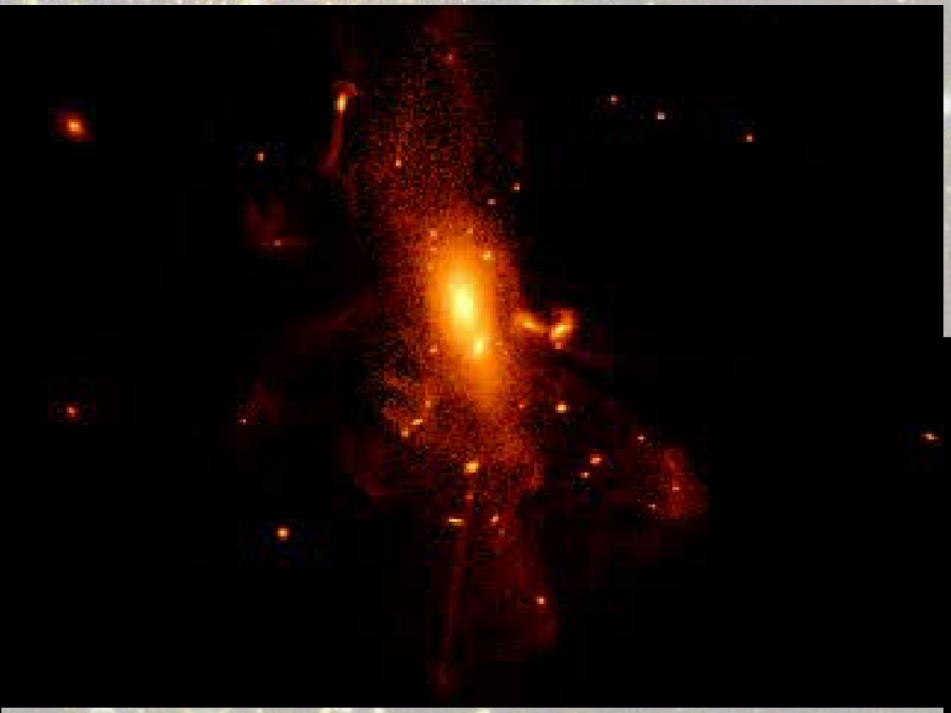
Проекция x-y

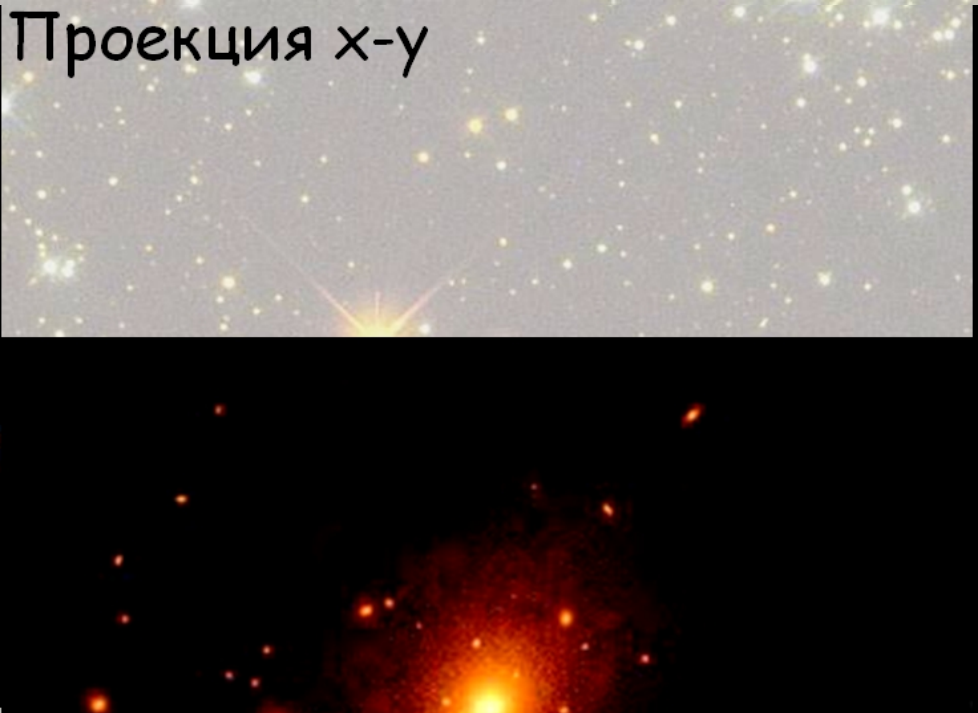


Конечная конфигурация
(облёт)

Проекция x-z

Проекция x-y

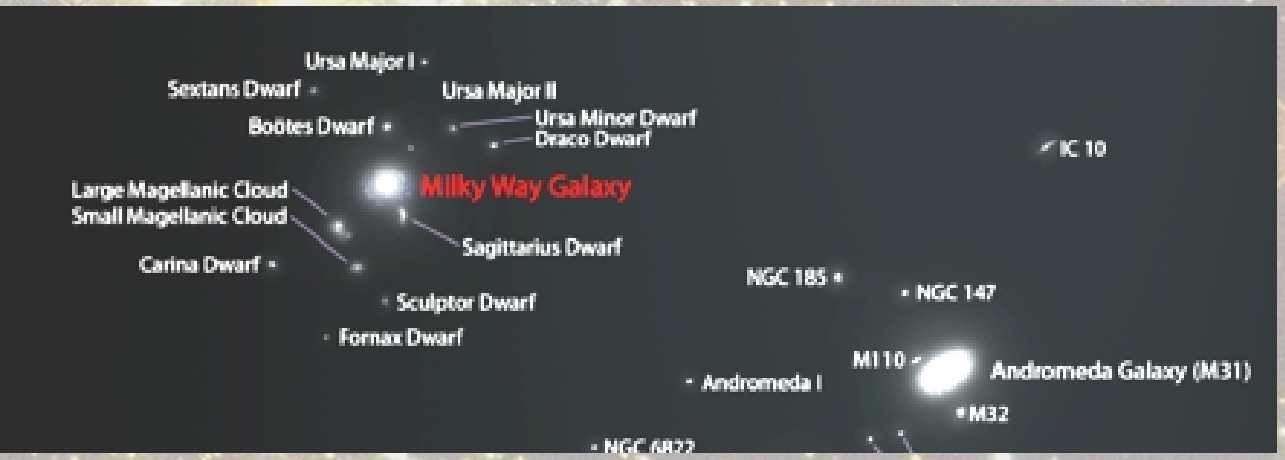




Конечная конфигурация
(облёт)

Проекция x-z

Млечный Путь и Туманность Андромеды: что нас ждёт ?



- Близкая пара (~ 750 кпк = 2.2 млн. св. лет)
- Обе массивные: ~500-1000 млрд. солн. масс
- Гигантские: поперечник ~150 кпк (500 тыс. св. лет)
- Сближаются со скоростью ~170 км/с
- Столкновение в ближайшие 2-3 млрд. лет неизбежно…

Информация к размышлению:

- Эре телескопов – 400 лет (Галилей, 1609)

- Все наши наблюдения – это всего лишь мгновенный "снимок" современного состояния Вселенной
- **Законы Физики + Логика = Объяснение происхождения и эволюции оъъектов дальнего космоса – это ли не доказательство могущества современной науки ?**

- **Нобелевские лауреаты последнего десятилетия по физике за работы в области астрономии:**

- **2002:** R.Davies Jr., M.Koshiba, R.Giacconi – обнаружение космических нейтрино, открытие космических рентгеновских источников
- **2006:** J.Mather, G.Smoot – открытие анизотропии космического фонового (реликтового) излучения
- **2011:** S.Perlmutter, B.Schmidt, A.Rees – открытие ускорения расширения Вселенной (“тёмной энергии”)

Как стать астрономом ?

- **Астрономическое отделение физического факультета МГУ – только здесь обучение астрономии начинается с 1 курса (ещё на матмехе СПбГУ, и больше нигде в мире)**
- **Научная база АО – ГАИШ МГУ (www.sai.msu.ru)**
- **Форма и срок обучения: Специалитет, 6 лет**
- **Магистратура – для выпускников других университетов**
- **Приём – 20 бюджетных и до 5 платных мест**
- **Экзамены: ЕГЭ (русский язык, математика, физика) + дополнительный экзамен по физике**
- Льготы для призёров крупных астрономических олимпиад (Всероссийской – без экзаменов)
- **Контакты:**
- В.Е. Жаров zharov@sai.msu.ru
- А.С.Расторгуев rastor@sai.msu.ru

Благодарю за внимание !

- WEB:
- http://lnfm1.sai.msu.ru/~rastor/

- Москва, ГАИШ МГУ, 2013