

КОМПЬЮТЕРЫ В АСТРОНОМИИ

СЕРГЕЙ ПОПОВ
(ГАИШ МГУ)

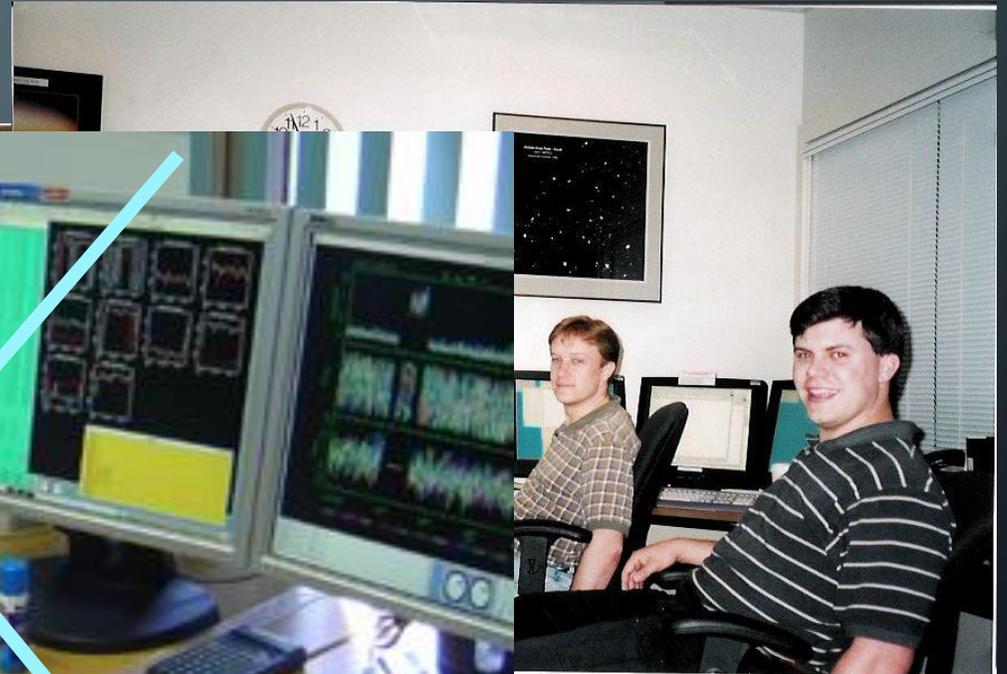
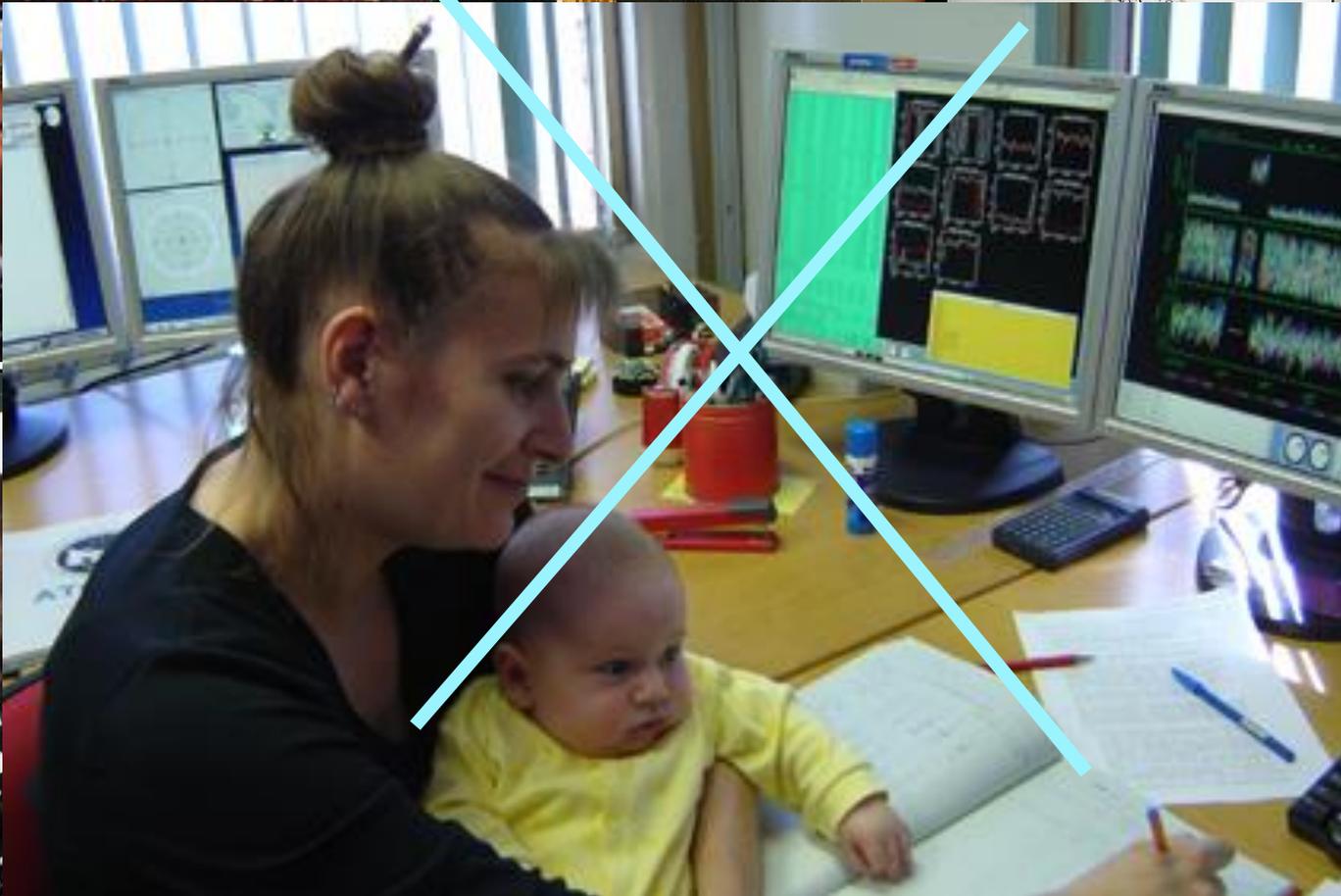
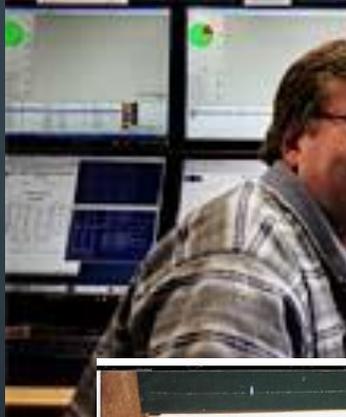
<http://sergepolar.livejournal.com>

Gargantua



1502.03809

ДРЕВНИЕ И СОВРЕМЕННЫЕ АСТРОНОМЫ

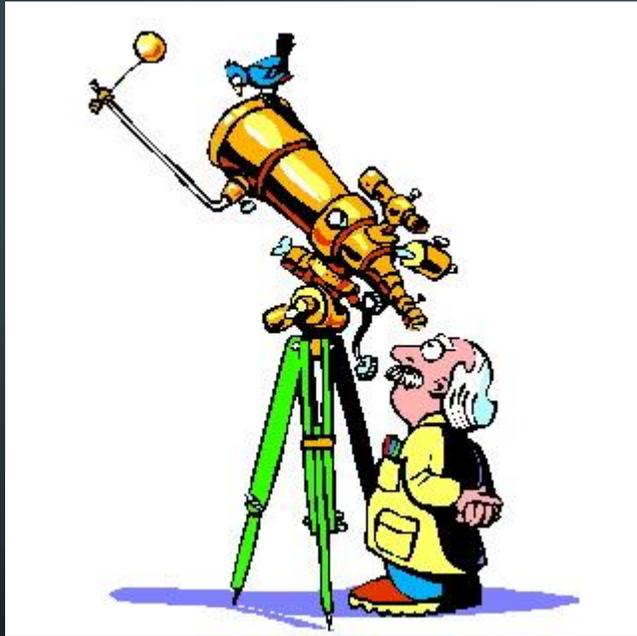


КОМПЬЮТЕРЫ В АСТРОФИЗИКЕ



ТЕКУЧКА

Основной результат труда ученого – СТАТЬЯ!



- Работа с текстом
- Работа с рисунками
- Поиск литературы в Сети
- Публикация
- Он-лайновая публикация

НАБЛЮДЕНИЯ

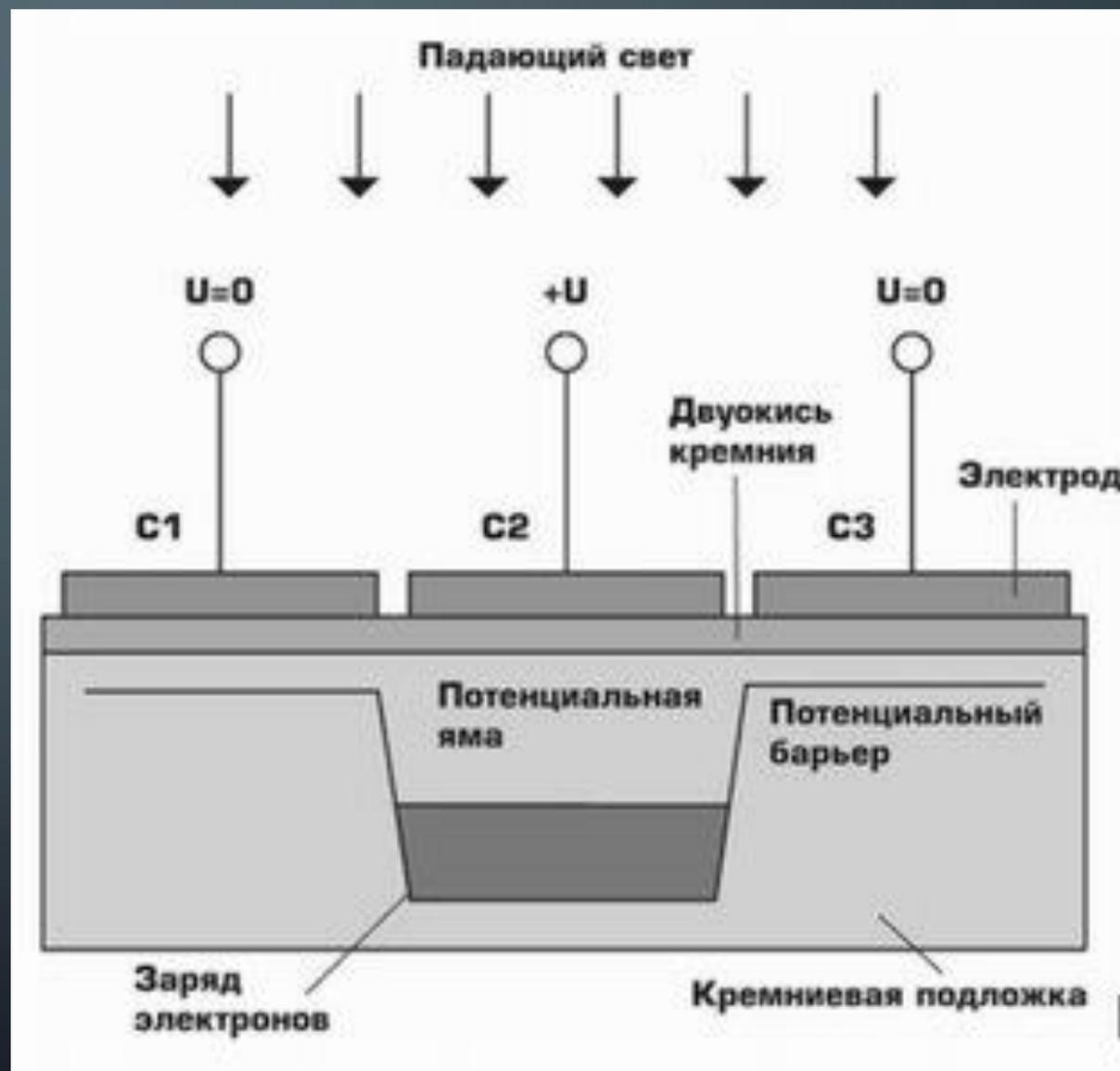


ПРИЕМНИКИ ИЗЛУЧЕНИЯ

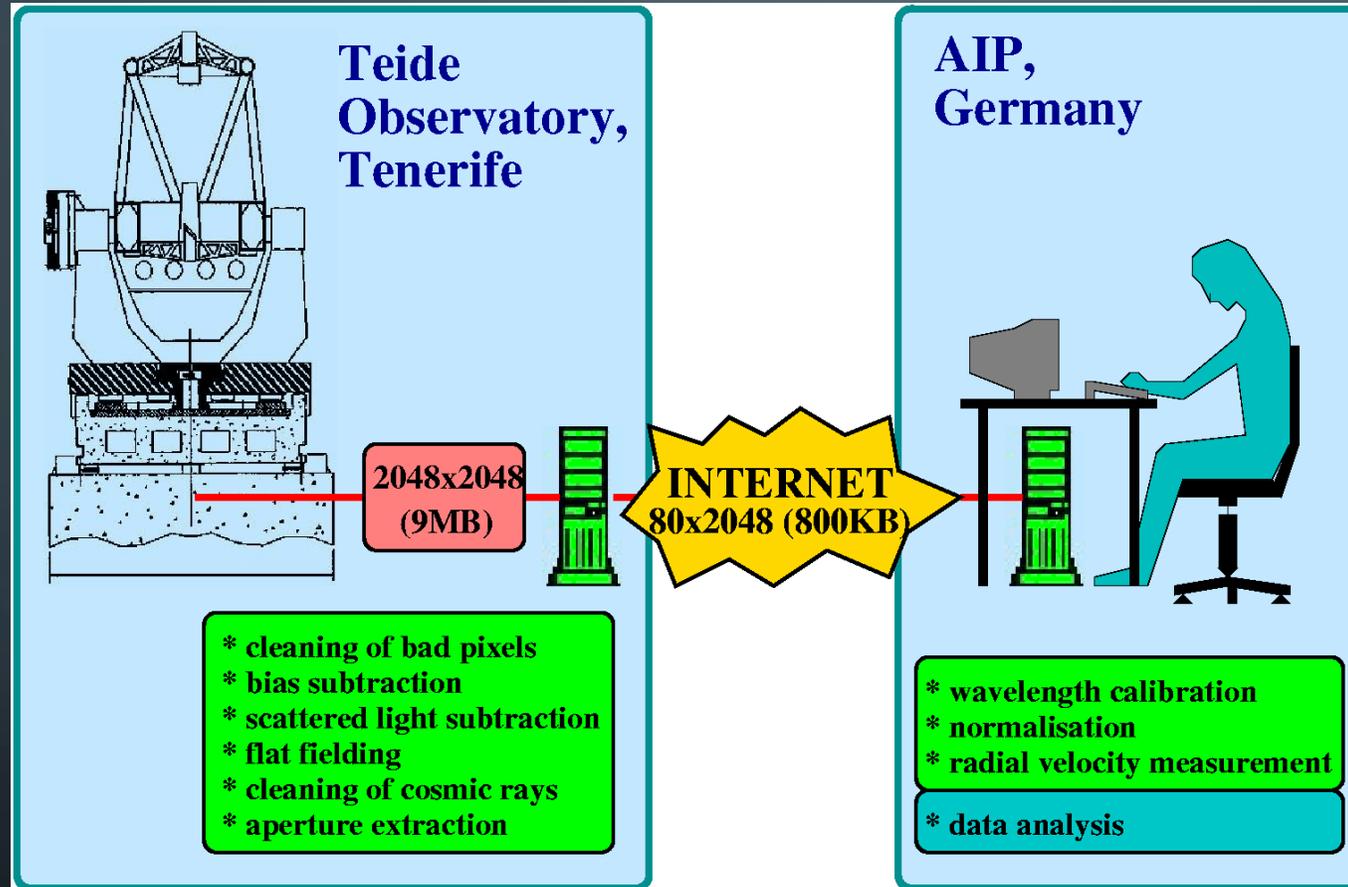
ПЗС (CCD) матрицы применяются во многих диапазонах спектра (оптика, ИК, УФ, рентген).

Приемники в других областях (радио и гамма) также связаны с электроникой.

При наблюдениях информация сразу же записывается в компьютере.



УПРАВЛЕНИЕ ТЕЛЕСКОПАМИ



Данные передаются из обсерватории для обработки.

Часто данные выкладываются в доступные архивы для независимых исследований.

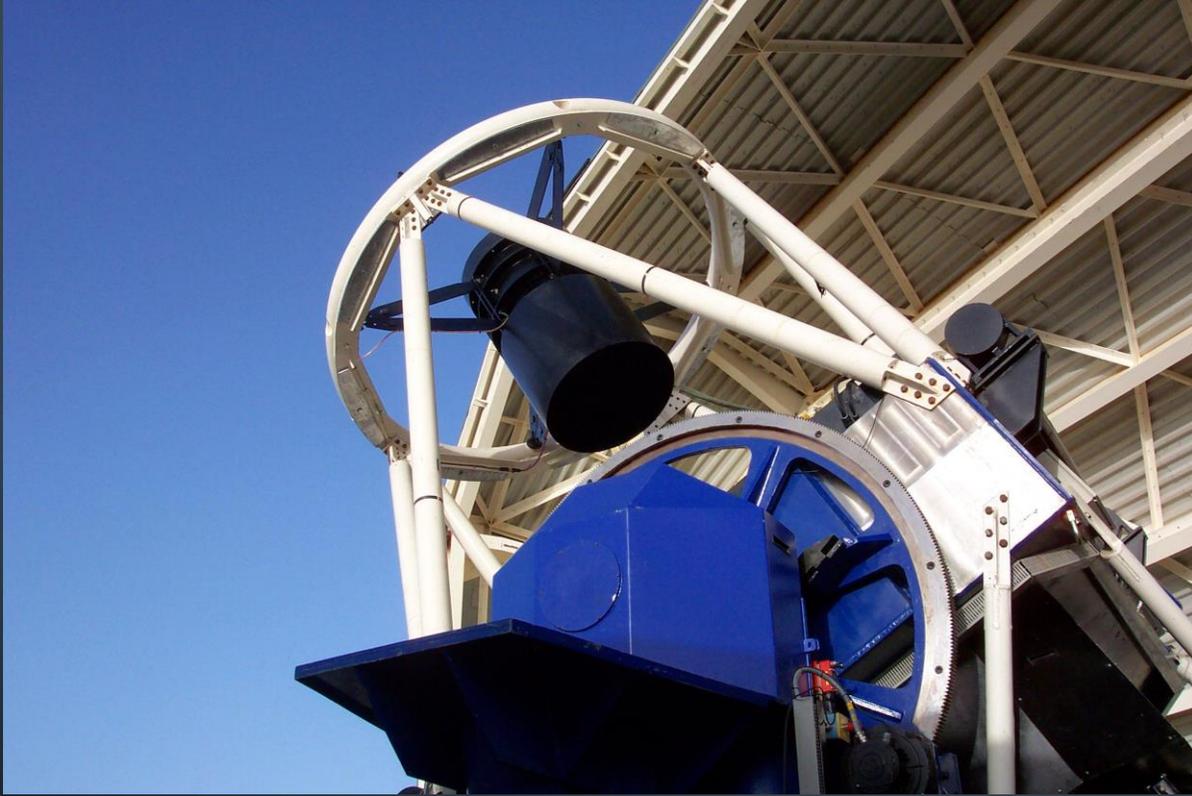
Управление телескопами все чаще осуществляется дистанционно.



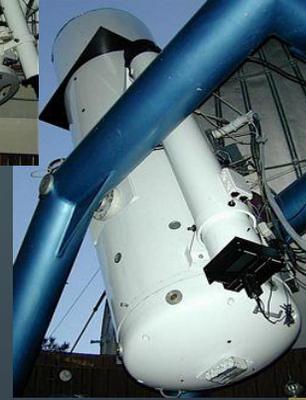
Контрольная комната телескопа Subaru

ТЕЛЕСКОПЫ-РОБОТЫ

Liverpool Telescope (2m)



Catalina
Real-Time
Transient
Survey

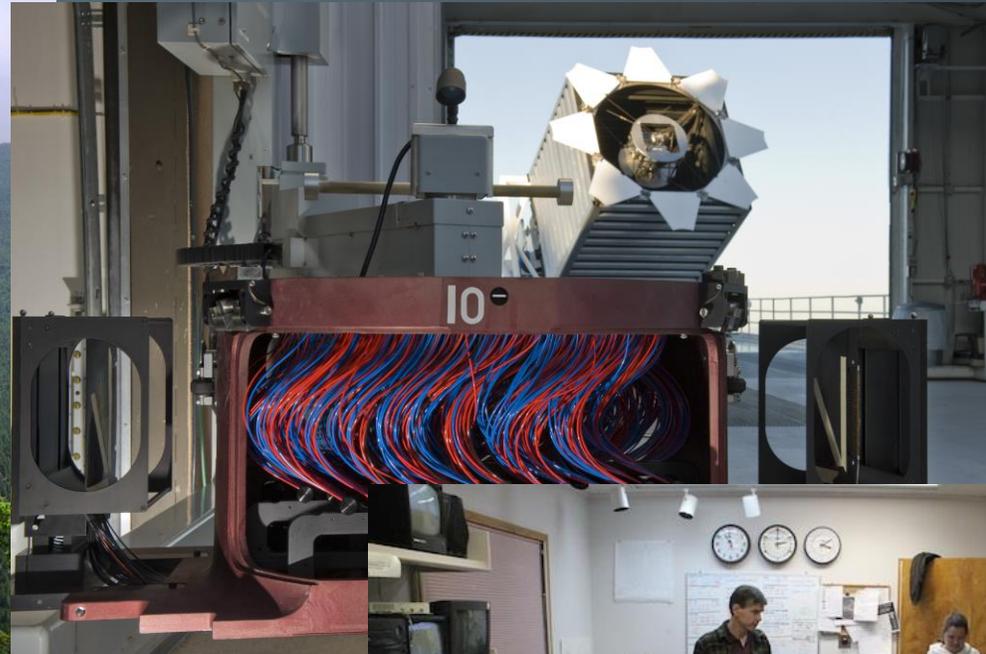


nessi.cacr.caltech.edu/CRTS/



MACTEP

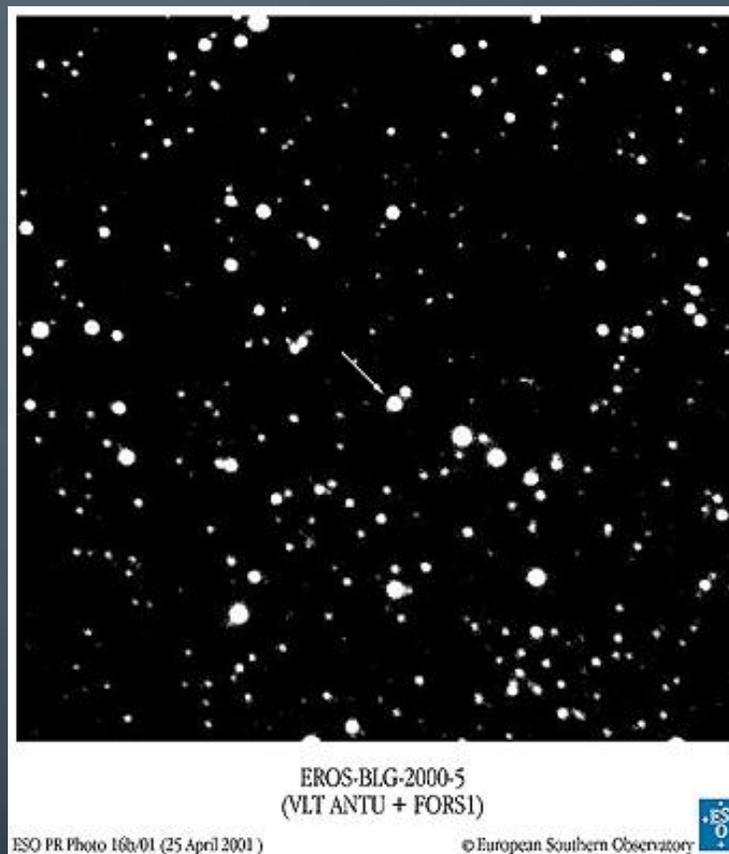
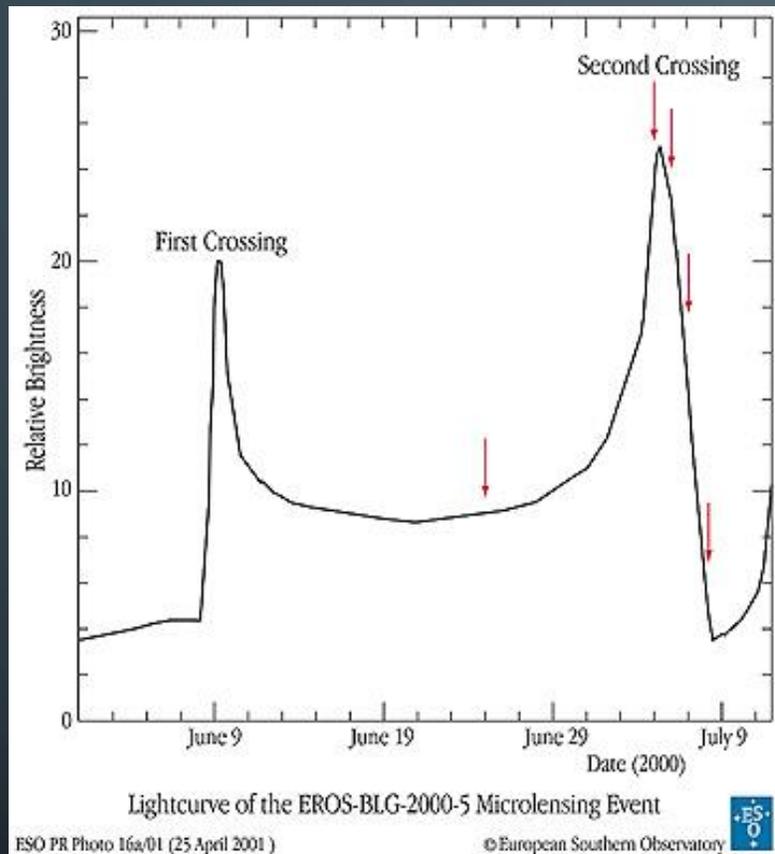
СЛОАНОВСКИЙ ЦИФРОВОЙ ОБЗОР НЕБА (SDSS)



200 Гб
за ночь
наблюдений



МИКРОЛИНЗИРОВАНИЕ



Для наблюдения событий микролинзирования необходимо одновременно следить за миллионами звезд. Без использования современных технологий это абсолютно невозможно.

РАБОТА С ДАННЫМИ

Сырые данные
(Raw data)

Сырые данные – показания детектора. Они содержат фон, шумы и т.д. Для их обработки часто нужны специфические знания и детекторе и софт

pipeline

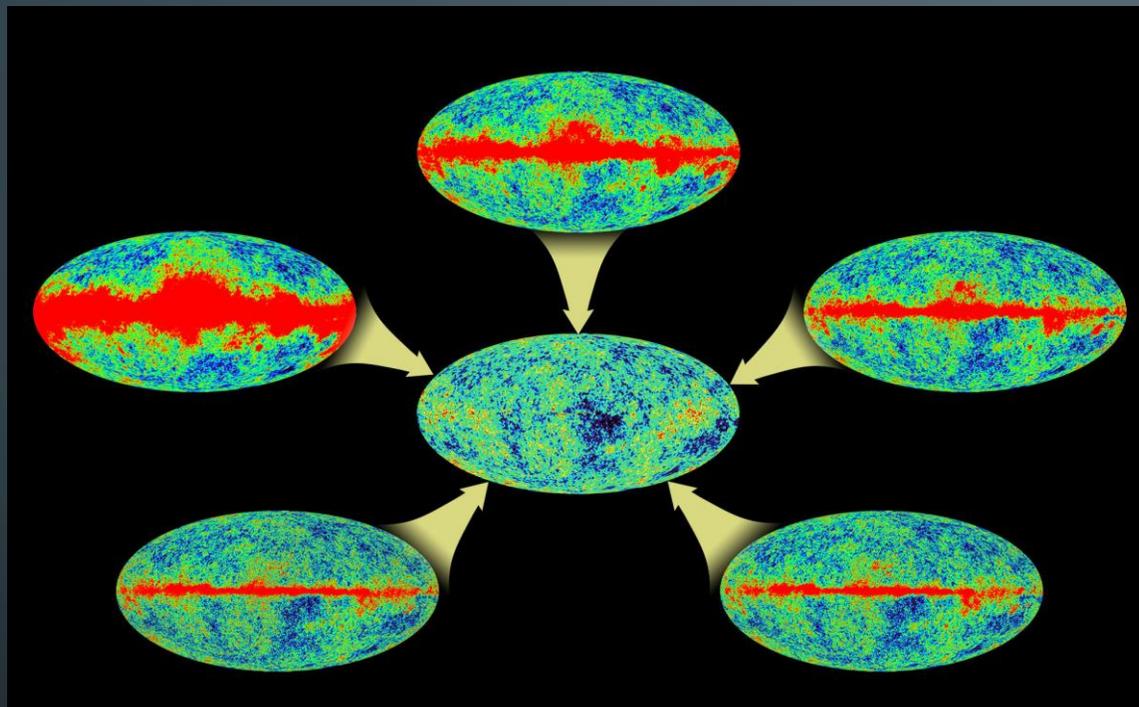
Data product

Data product – это уже некоторый «полуфабрикат», для работы с которым часто можно применять какие-то общеупотребимые программы

Научные данные – это обычно уже опубликованные результаты, которые тем не менее часто могут служить новыми исходными данными для других исследований

Научные данные

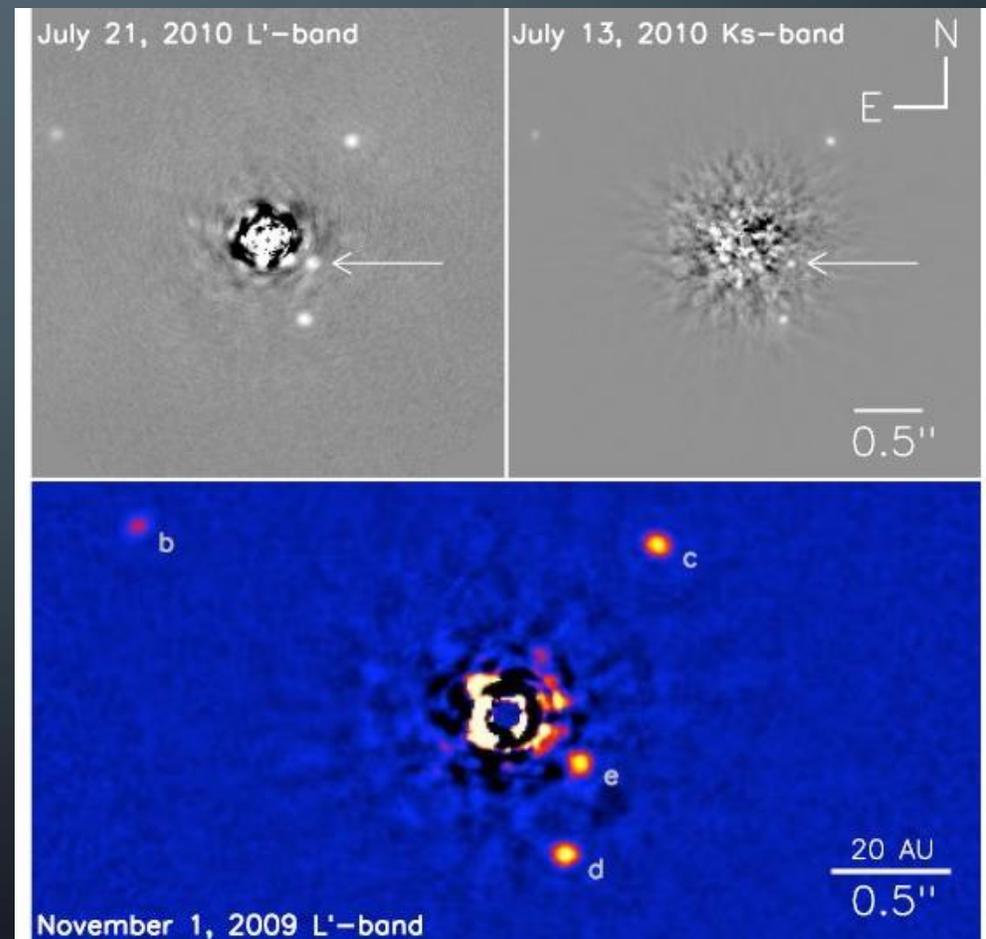
ОБРАБОТКА ДАННЫХ



Результаты WMAP в нескольких частотах и результат обработки

Экзопланеты
в системе
HR 8799

Использование численных методов позволяет добиваться удивительных результатов при обработке данных.



1011.4918

BIG DATA SCIENCE

Некоторые современные астрономические проекты относятся к т.н. Big data science. Работа инструмента начинается во многом определяться возможностью работы с получаемой информацией



LIGO



SKA



LSST

CITIZEN SCIENCE

GALAXY ZOO

Даже любители астрономии все чаще оказываются за компьютером, а не у телескопа. Особенно, если хотят открытий!



The screenshot shows the Galaxy Zoo website interface. At the top, there is a navigation bar with links: Home, About, How To Take Part, Hunt For Supernovae, Discoveries, Authors, and Forum. Below the navigation bar, the main heading reads "Supernovae Discoveries". Underneath, there are links for "Supernovae", "Asteroids", and "Variable stars". The page displays a "Candidate ID" section with the text "PTF ID: 10aarz (uploaded 2010-11-08 17:50:37 UTC)". Below this text are three side-by-side images of a star field, each with a green crosshair marking a specific star.



Проект позволяет принять участие в обработке данных.

Galaxy Zoo и другие Аналогичные проекты уже позволили любителям открывать экзопланеты, радиопульсары, новые типы галактик и т.д.

КАТАЛОГИ И БАЗЫ ДАННЫХ

- Сейчас мы имеем колоссальный рост количества информации в астрономии
- Нужно обеспечить доступ к этой информации



Он-лайн каталоги и базы данных

The screenshot shows the SIMBAD database entry for the Crab Nebula. At the top, there are navigation tabs: Portal, Simbad, Vizier, Aladin, X-Match, Other, and Help. The main title is "crab nebula". Below it, there are several query modes: Identifier query, Coordinate query, Criteria query, Reference query, Basic query, Script submission, TAP, Output options, and Help. The query entered is "crab nebula". The results show "C.D.S. - SIMBAD4 rel 1.5.8 - 2016.09.20CEST19:13:54". There are links for "Available data": Basic data, Identifiers, Plot & images, Bibliography, Measurements, External archives, Notes, and Annotations. The "Basic data" section shows "M 1 -- SuperNova Remnant". It lists various object types and their coordinates: ICRS coord. (ep=J2000), FK5 coord. (ep=B1950 eq=1950), FK4 coord. (ep=B1950 eq=1950), Gal coord. (ep=J2000), and Angular size (arcmin). There is a "SIMBAD query around" button with a radius of 2 arcmin. Below this is an "Interactive AladinLite view" showing a colorful image of the Crab Nebula with a crosshair.

The screenshot shows the "Identifiers (53)" section of the SIMBAD database entry for the Crab Nebula. It lists various identifiers from different databases, including M 1, 3A 0531+219, AJG 1, ARGO J0535+2203, 2C 481, 3C 144, 3C 144.0, AC 21.19, 3CR 144, CTA 36, CTB 18, Ch1 0531+219, Ch1 0531+219, DA 179, DB 38, 2E 1309, 2E 0531.5+2159, IES 0532+21.5, GRS G184.60 -05.80, IH 0531+219, H 0534+21, H 0531+219, IRAS 05314+2200, LBN 833, LBN 184.62-05.65, IM 0531+219, M111= 05+2A, NAME CRAB Nebula, NAME CRAB NEB, NAME CRAB, NAME TAURUS A, NAME TAU A, NGC 1952, NGC 214, NLS 2, NVSS J053428+220202, PKC J0534.5+2201, PKC 0531+219, SII 2-244, SIM 0531+21.0, SNR G184.6-05.8, SWIFT J0534.5+2200, 2U 0531+22, 3U 0531+21, 4U 0531+21, W 9, X Tau X-1, X Tau XR-1, [BM83] X0531+219, [DGW65] 25, [PT56] 5. Below the identifiers, there is a "Plots and Images" section with four circular icons: "plot", "CDS portal", "CDS Simplay (requires hash)", and "Aladin applet". The "plot" icon has a "radius 10 arcmin" input field. At the bottom, there is a "References (4960 between 1850 and 2016)" section with a "Follow new references on this object" button and a "sort references" button.

ВИРТУАЛЬНАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ



Идея состоит в создании единого ресурса, который позволял бы независимым ученым получать доступ к данным наблюдений в едином формате.

ivoa.net

Displaying 32 of 160 Total Rows

Export Table As... MESSIER 051 (RA: 13:29:56.201, Dec: +47:13:50.02), radius: 0.01667°

Short Name	Title
1 CADC	CADC Image Search
2 HLA	Hubble Legacy Archive

Filters: Clear Filters Edit Facets... Help...

Filter All Record Fields

Categories:

- Catalog
- Images
- Spectra
- X-ray

Publisher:

- Canadian Astronomical Society

The screenshot also shows three image thumbnails: a color-coded intensity map of a galaxy, a grayscale image of a galaxy, and a grayscale image of a spiral galaxy.

СЕТЕВЫЕ БИБЛИОТЕКИ



NASA ADS



SLAC SPIRES



Cornell University
Library

arXiv.org

arXiv.org

На сайте arXiv.org сейчас представлено более 1 200 000 статей. Самый большой раздел – астрофизический. Более 1000 статей в месяц. А во всем Архиве – 10 000.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Астрономия – особая наука.
В ней эксперимент заменяют наблюдения.
Поэтому особую роль приобретает моделирование.

(магнито)–гидродинамика

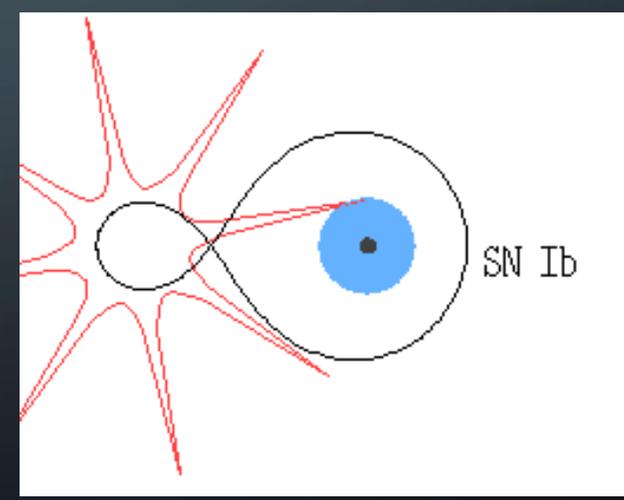
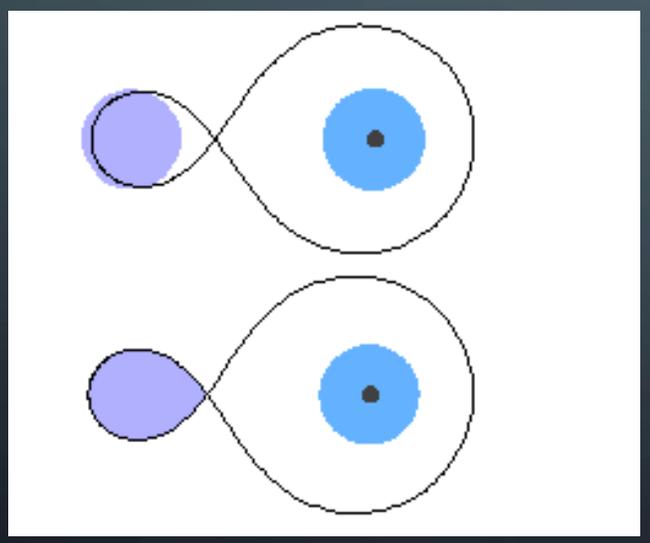
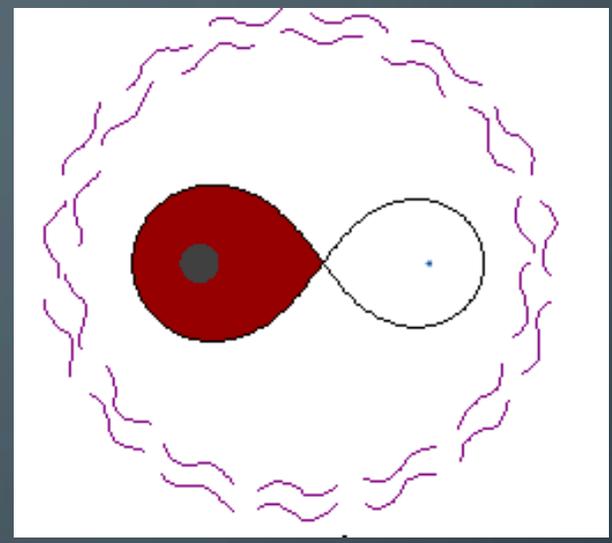
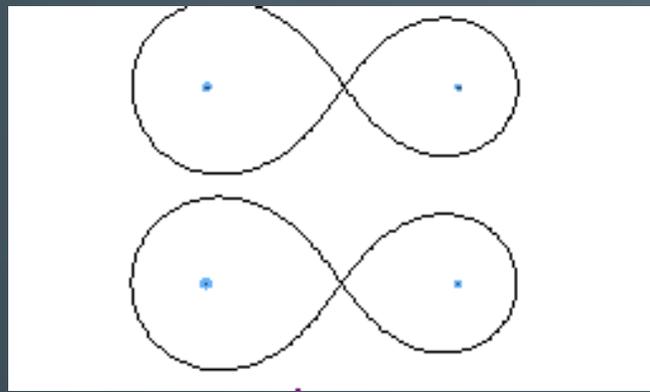
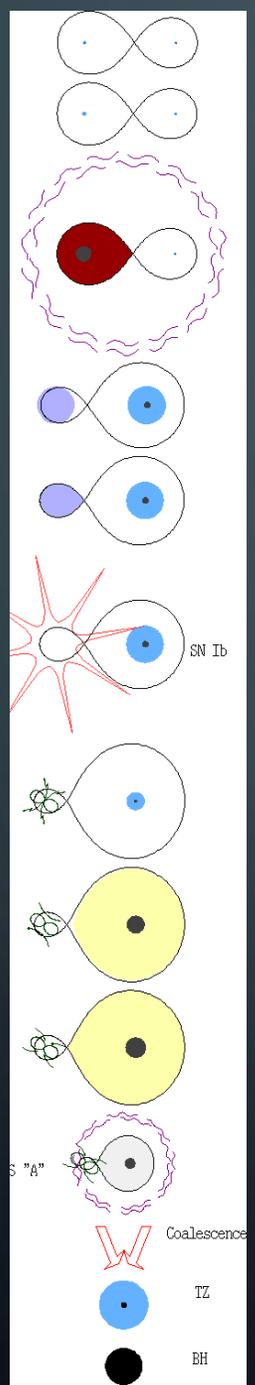
Метод многих тел
(N–body)

Спектры

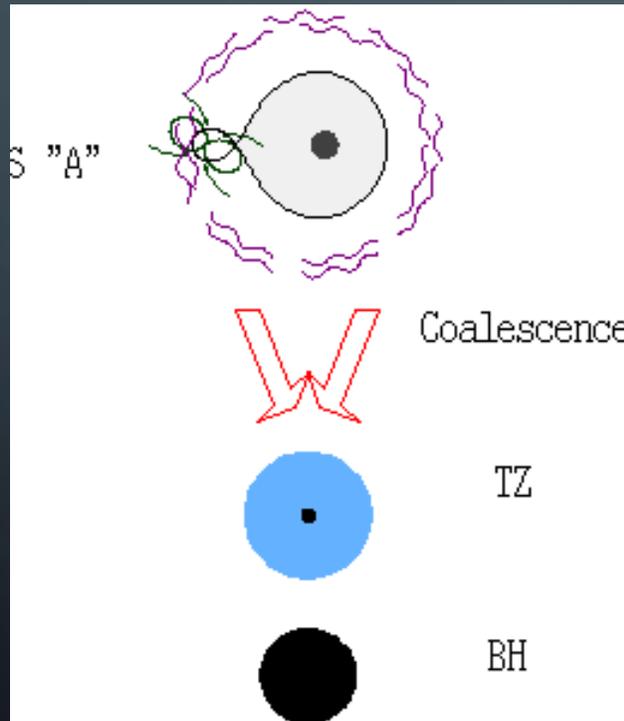
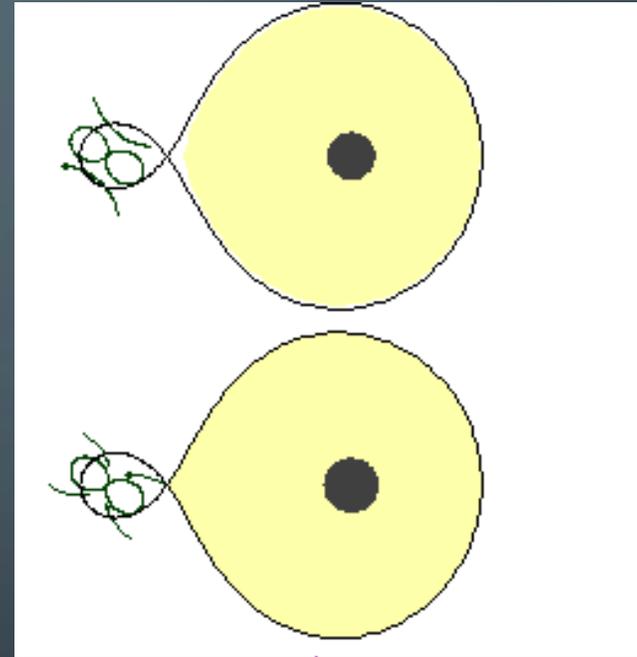
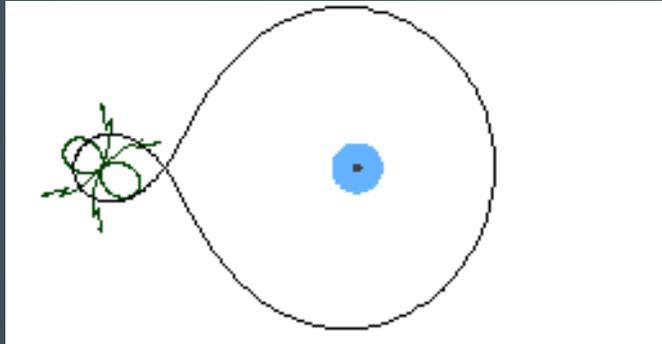
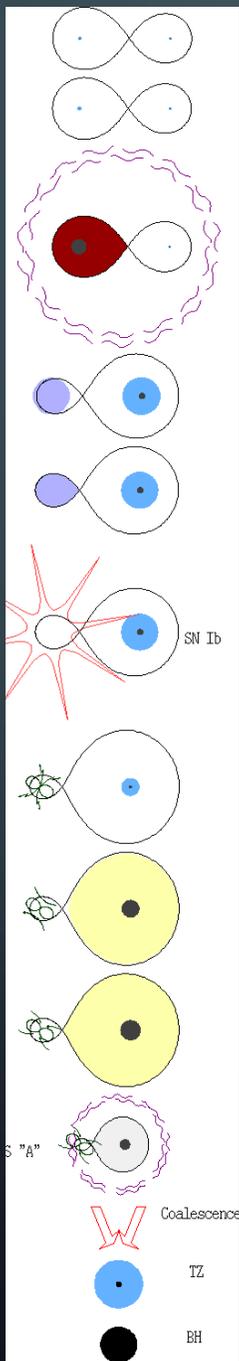
Популяционный
синтез

Звезду не засунешь в пробирку!

ЭВОЛЮЦИЯ ДВОЙНЫХ ЗВЕЗД

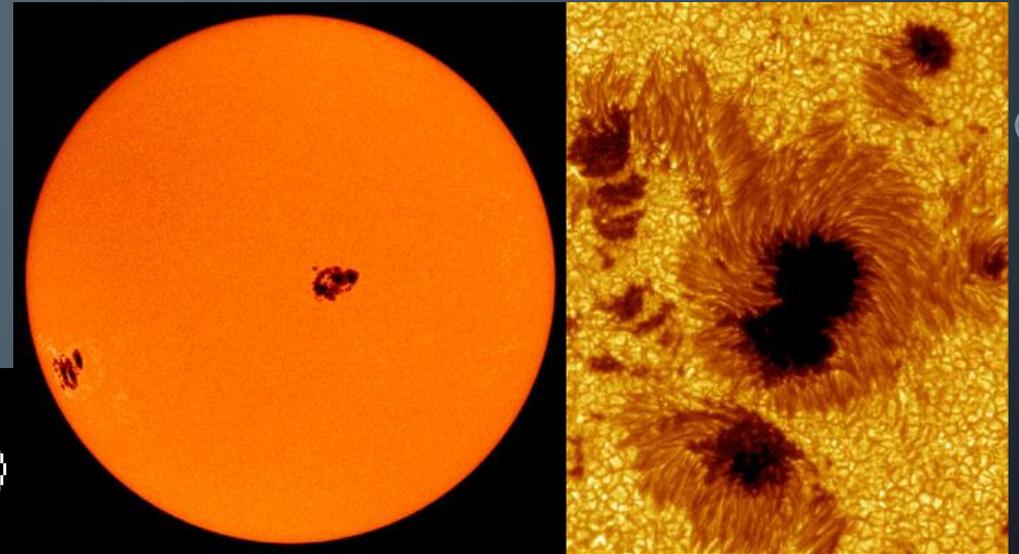


ПОПУЛЯЦИОННЫЙ СИНТЕЗ



А теперь посчитаем эволюцию миллиона (!) двойных звезд с разными начальными параметрами...

СОЛНЕЧНАЯ ПОВЕРХНОСТЬ

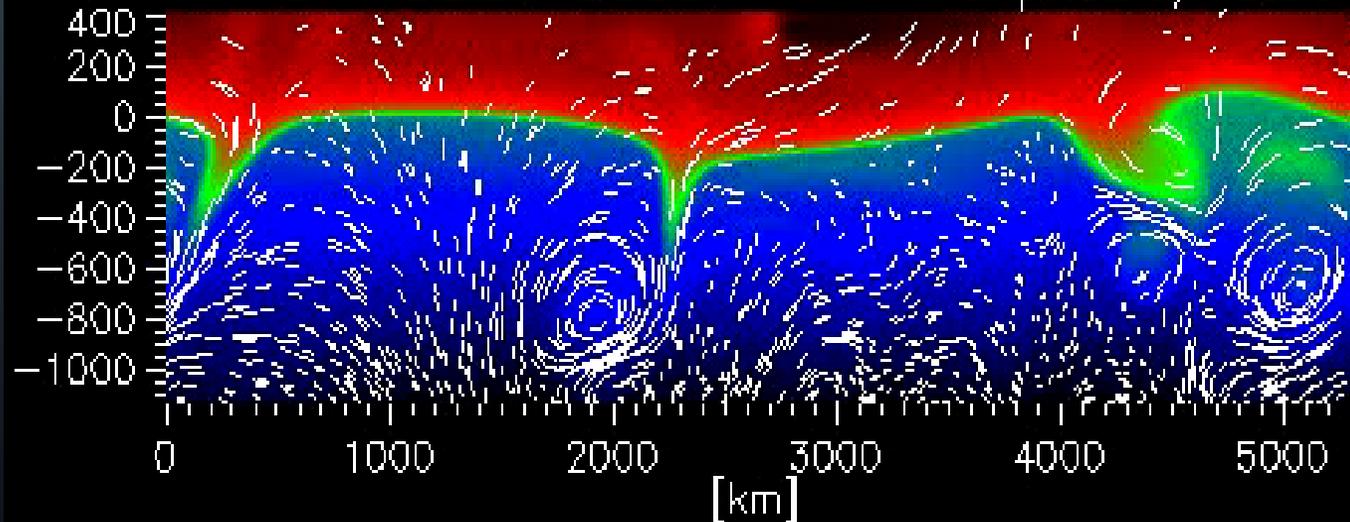


Sun (L71D09), $T_{\text{eff}}=5770$ K, $\log g=4.44$
212 x 106 grid points, 11540 s ($\Delta t=20$ s)

Matthias Steffen, Bernd Freytag

Time: 18880.0sec

Temperature, Tracers



(Matthias Steffen)

СУПЕРКОМПЬЮТЕРЫ

Для астрофизического моделирования применяются мощнейшие суперкомпьютеры, т.к. задачи, стоящие перед астрофизиками, очень сложны:

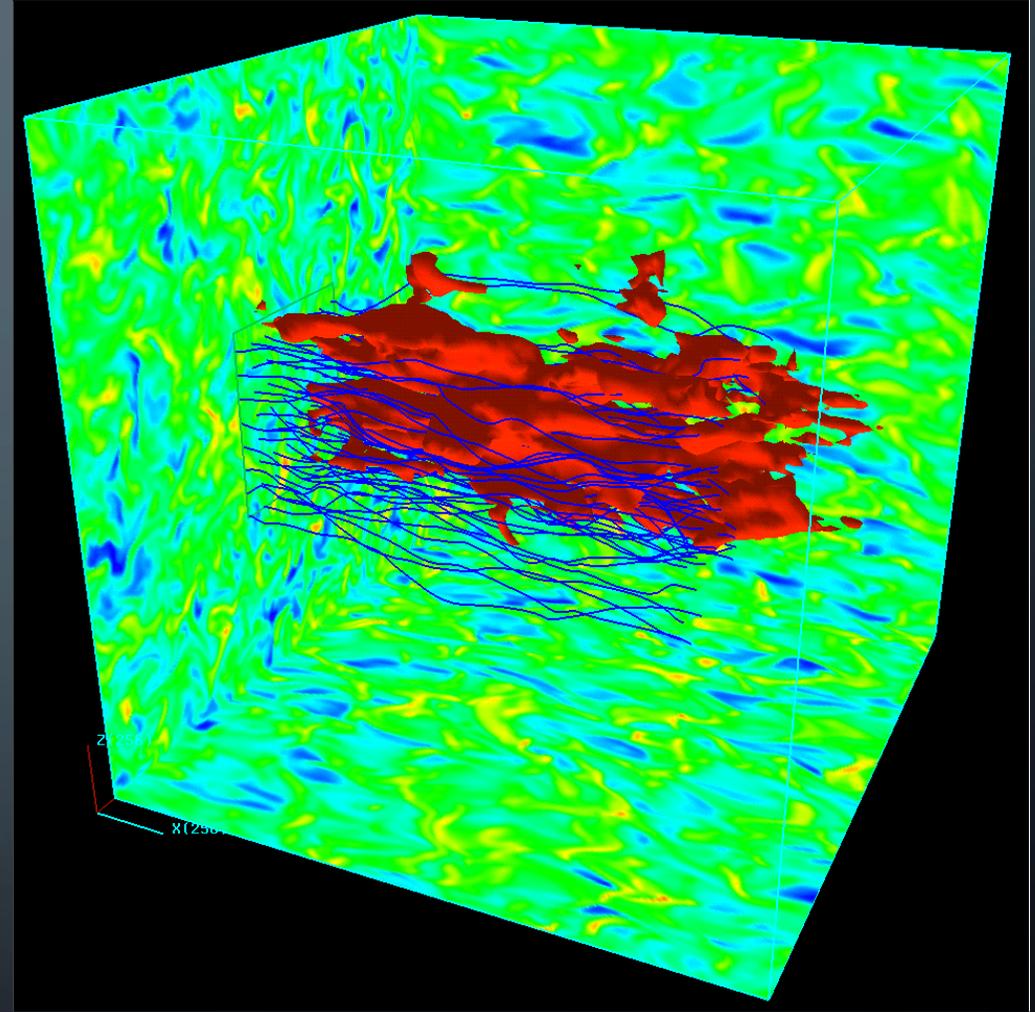
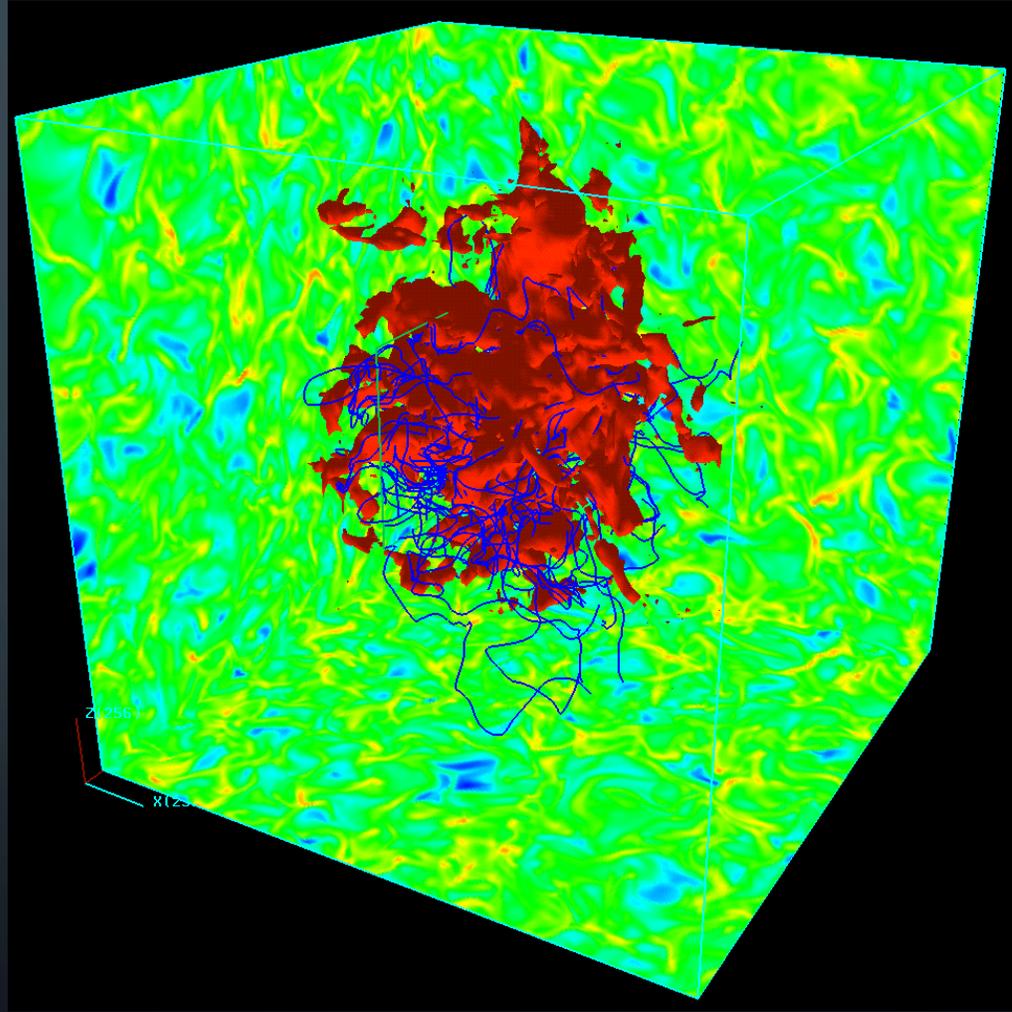
- Моделирование струйных истечений
- Моделирование взрывов сверхновых
- Моделирование систем многих тел (галактики, скопления и тп.)
- Космология: формирование крупномасштабной структуры



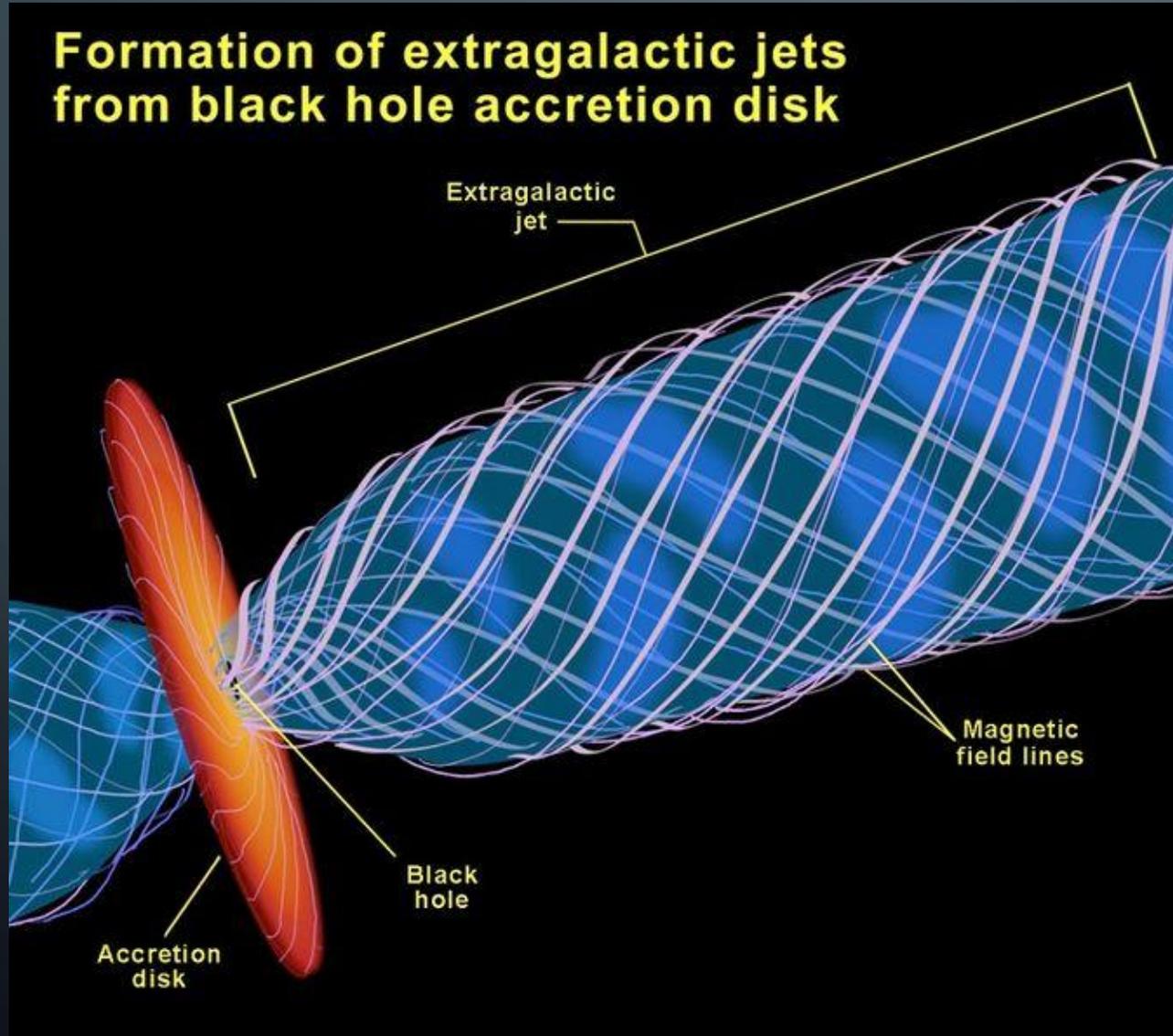
Earth Simulator

ТУРБУЛЕНТНОСТЬ

J.M. Stone, E.C. Ostriker, & C.F. Gammie



АККРЕЦИЯ И ДЖЕТЫ

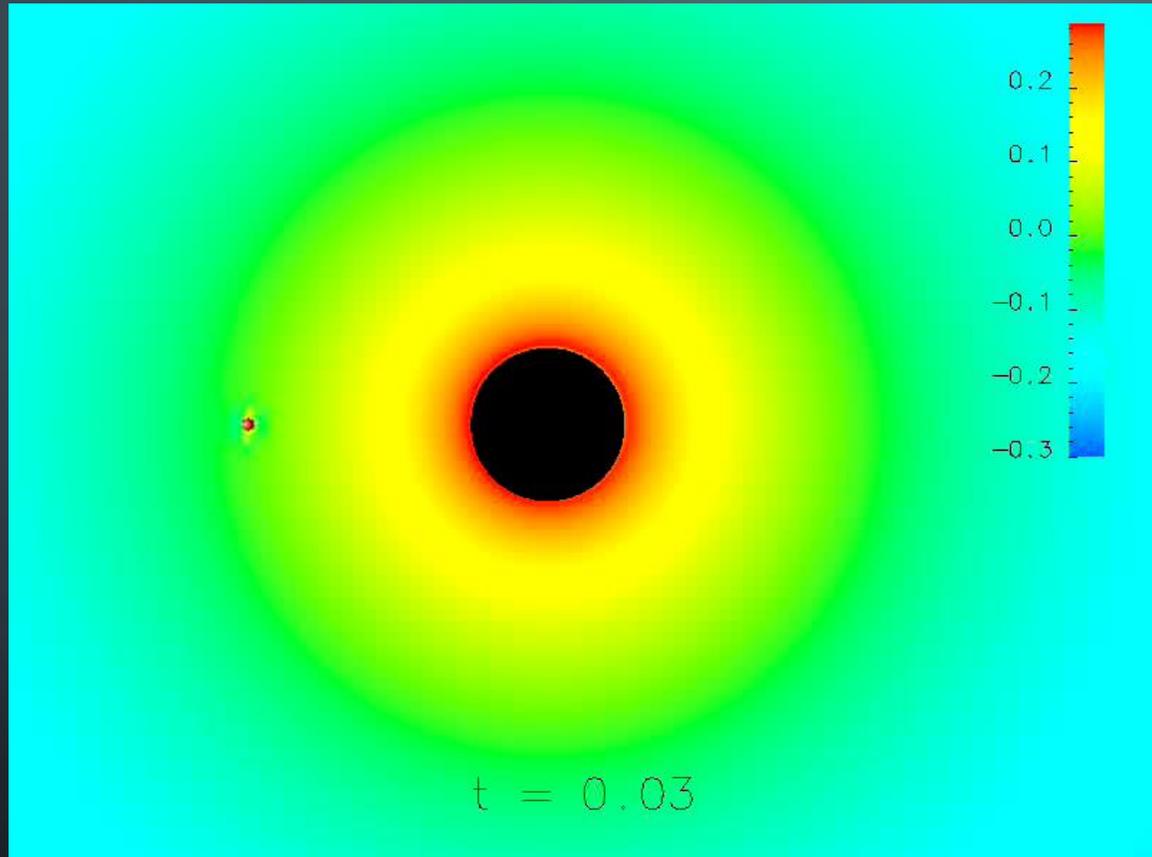


В одной задаче объединяются очень разные и сложные эффекты:

- сверхмощное гравполе в основании джета
- релятивистское движение
- МГД
- излучение

МОДЕЛИРОВАНИЕ РОЖДЕНИЯ ПЛАНЕТ

www.tat.physik.uni-tuebingen.de/~kley/



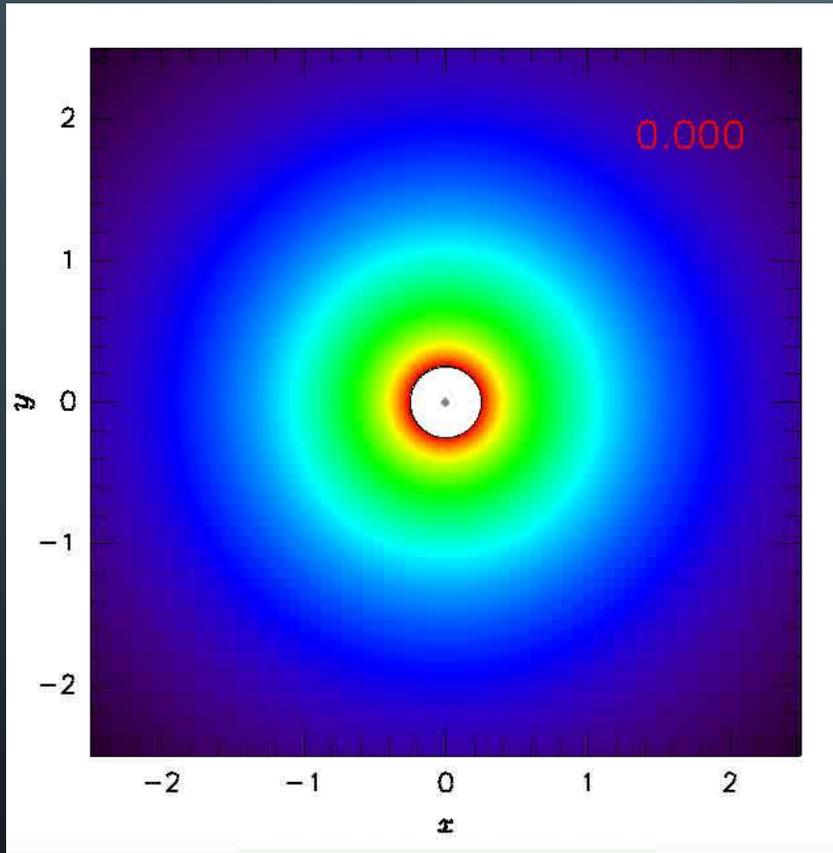
Планета движется против часовой стрелки, но выбрана такая система отсчета, в которой мы видим ее покоящейся.

Возникают спиральные волны, и постепенно открывается щель.

Щель становится хорошо заметной, когда ее ширина достигает толщины диска.

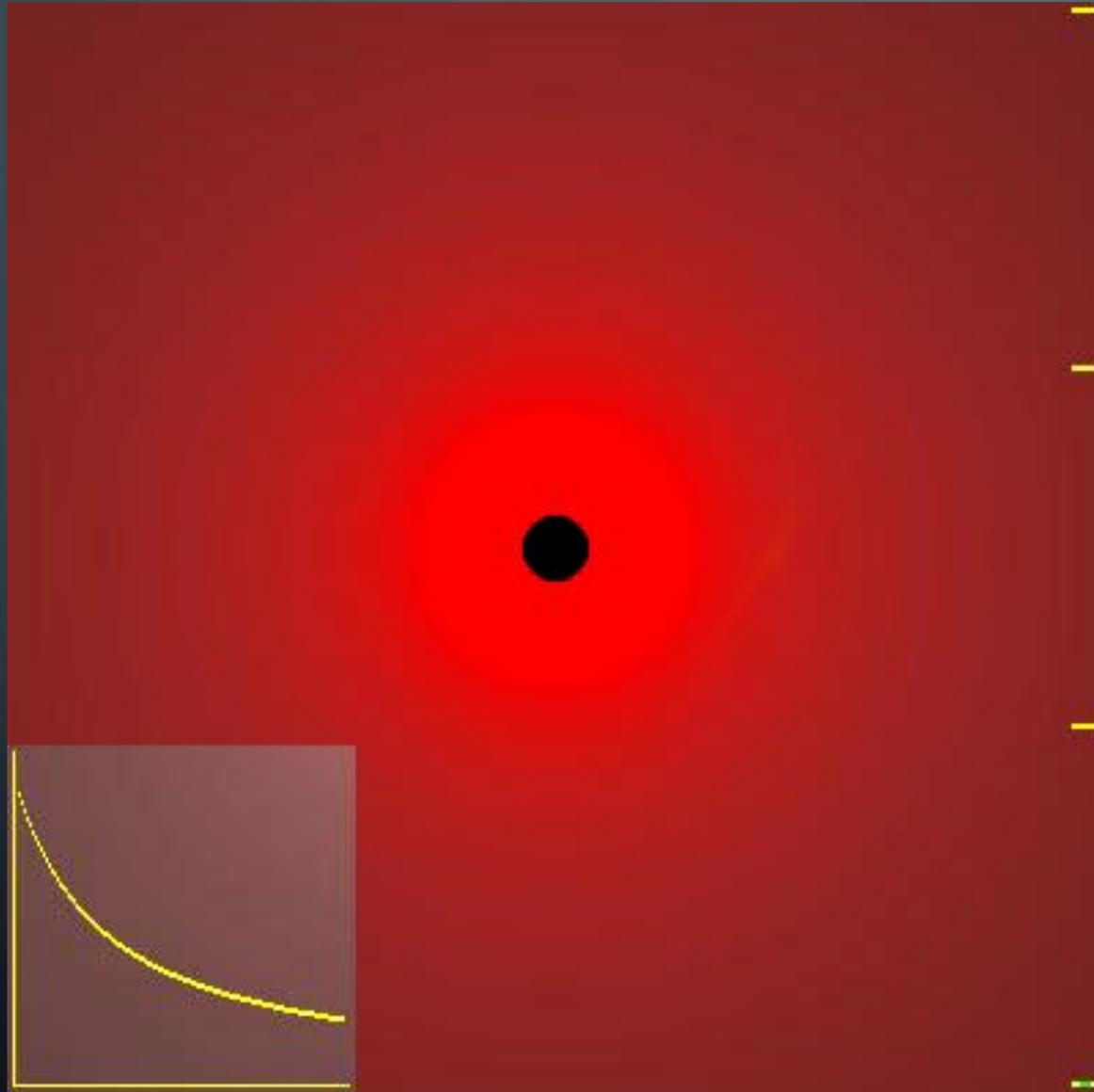
МОДЕЛИРОВАНИЕ РОЖДЕНИЯ ПЛАНЕТ

www.tat.physik.uni-tuebingen.de/~kley/



По мере хода времени планета увеличивает свою массу. Именно поэтому ее влияние на диск становится все заметнее.

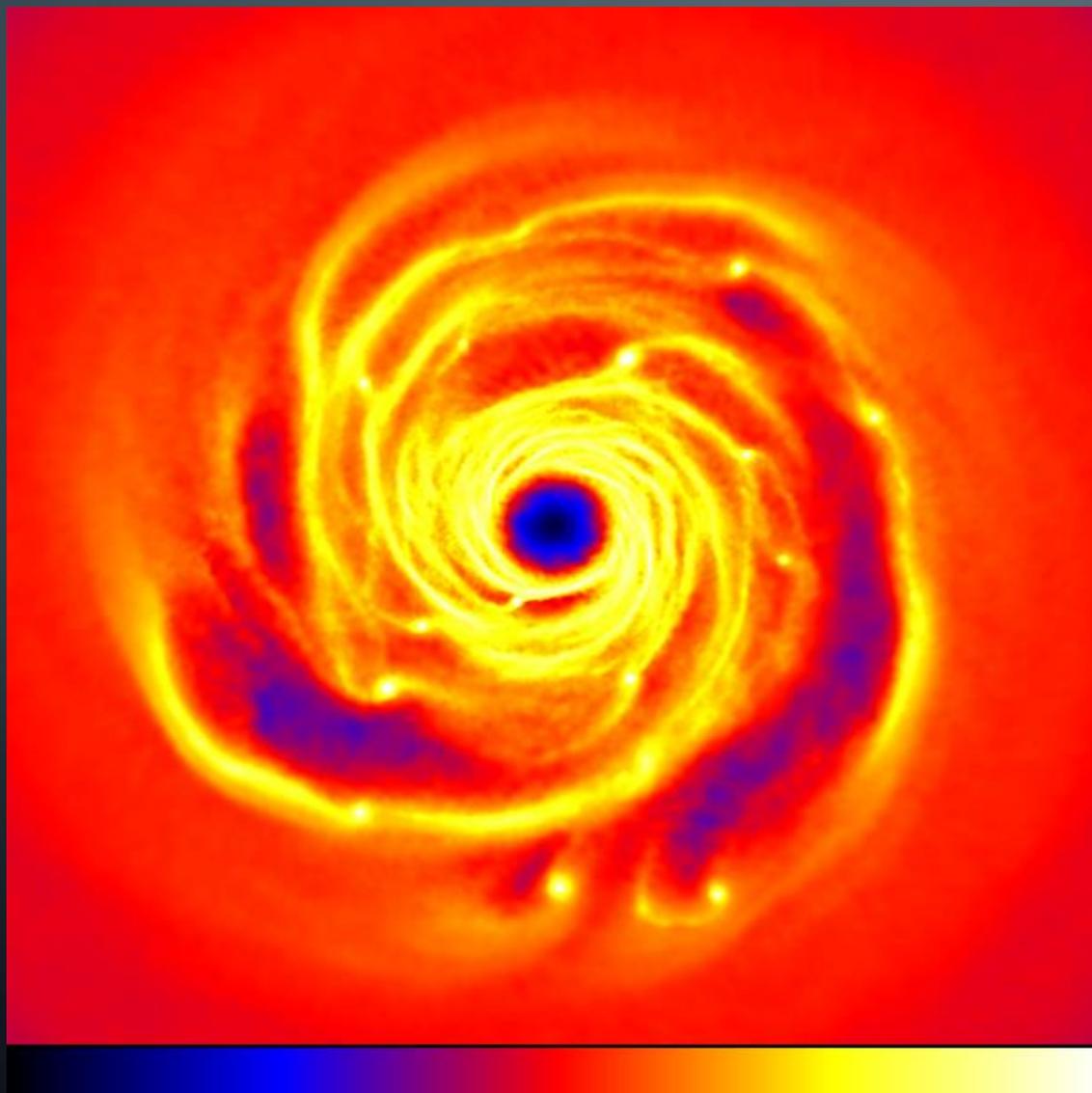
МОДЕЛИРОВАНИЕ РОЖДЕНИЯ ПЛАНЕТ



Armitage

ФРАГМЕНТАЦИЯ ДИСКА

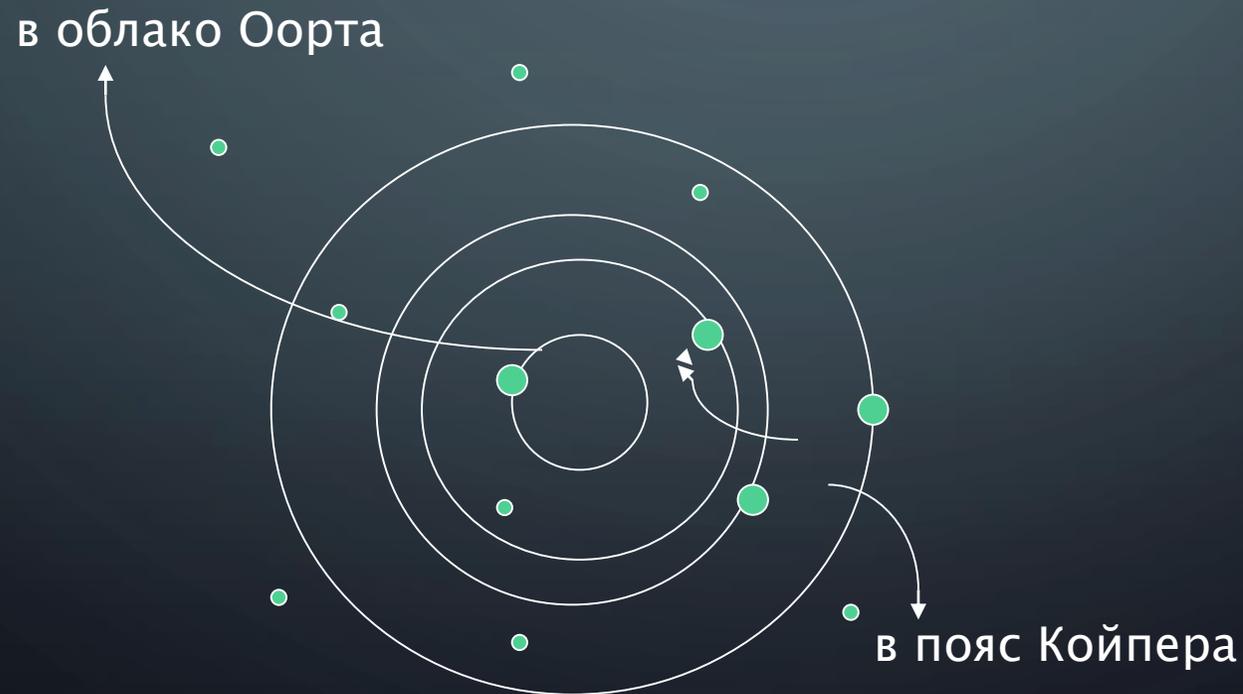
<http://faculty.ucr.edu/~krice/gravdiscs.html>



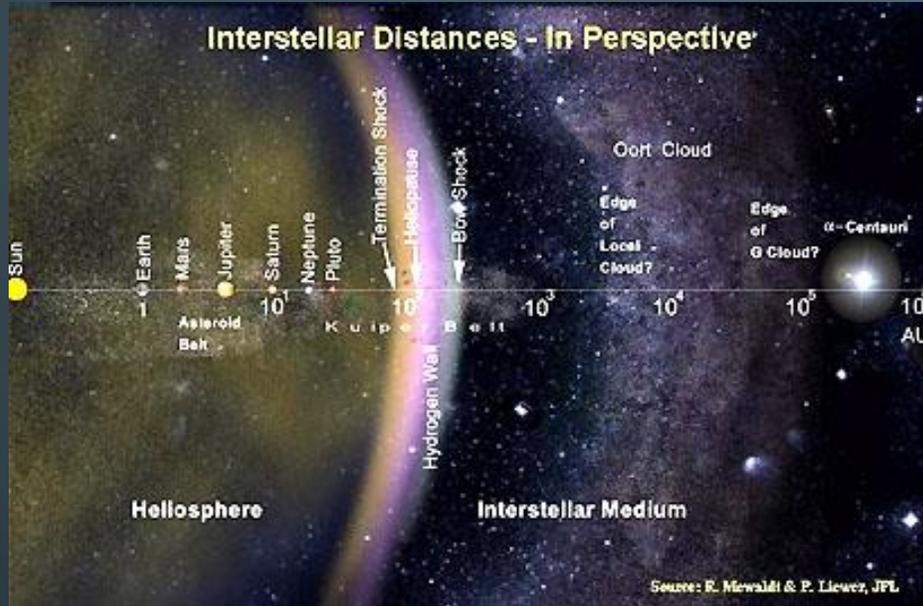
Крупные планеты могут образовываться в результате неустойчивостей в диске. Это подтверждается некоторыми численными моделями.

ЭЖЕКЦИЯ ПЛАНЕТ

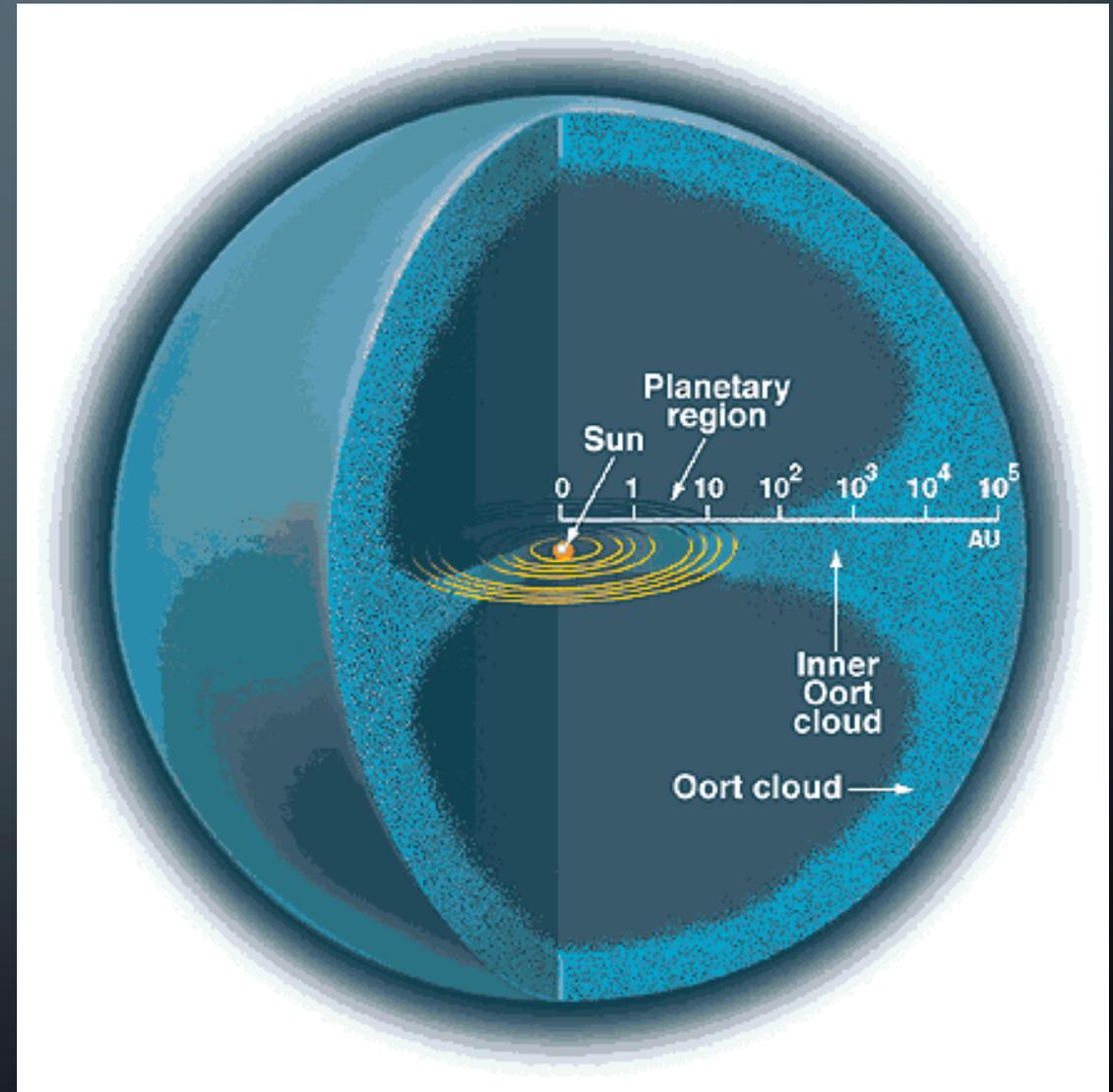
Взаимодействие тел (планет, планетезималей) в диске должно приводить к тому, что значительная часть более легких объектов (с размерами порядка километров) будет выбрасываться.



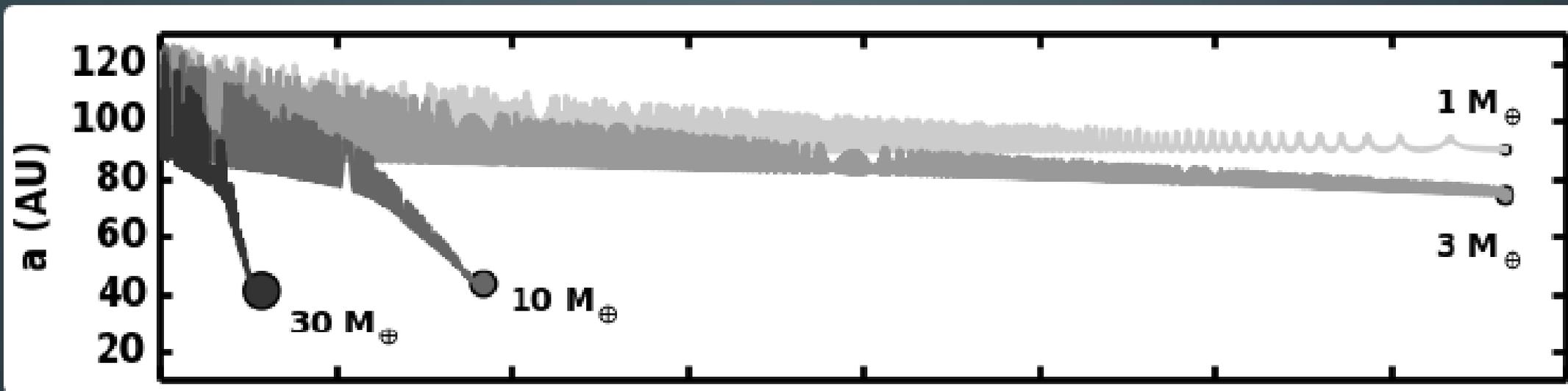
ОБЛАКО ООРТА



Современная масса облака Оорта составляет примерно 1–10 масс Земли. Эти объекты родились гораздо ближе к Солнцу: на $<(40\text{--}50)$ а.е. Они были выброшены оттуда благодаря взаимодействию с массивными телами.



СУДЬБА РАССЕЯННЫХ ПЛАНЕТ



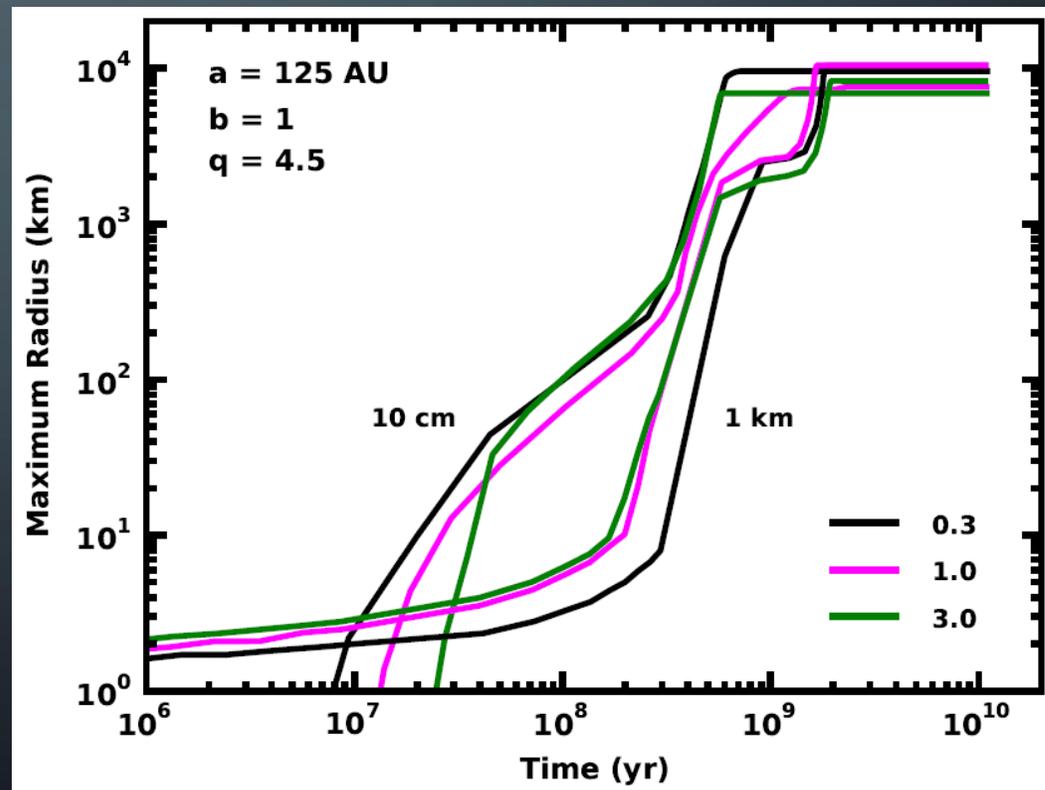
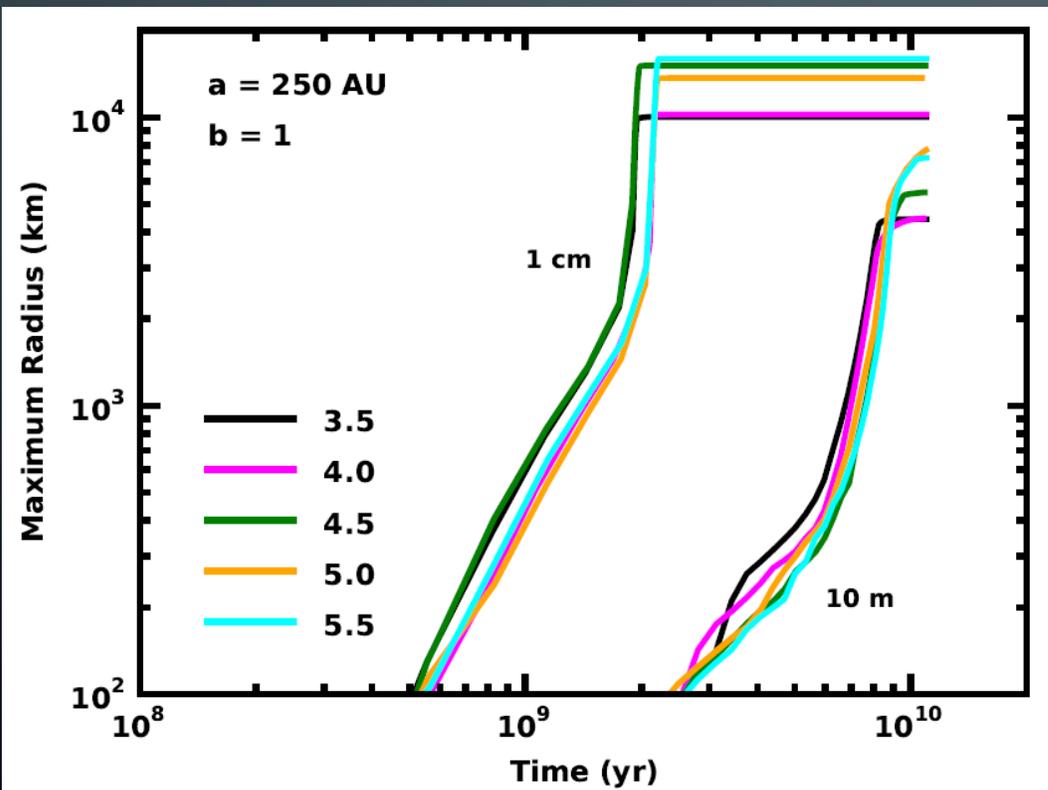
Взаимодействие тел в протопланетном диске может приводить к выбрасыванию на далекие внешние орбиты достаточно крупных тел. Орбиты самых массивных рассеянных тел быстро становятся круглыми. А вот легкие могут оставаться на вытянутых орбитах.

Авторы полагают, что даже в Солнечной системе может быть сверхземля на расстоянии порядка 300 а.е.

ОБРАЗОВАНИЕ СВЕРХЗЕМЕЛЬ НА 150–250 А.Е.

Возможно образование сверхземель,
но это требует большого времени.
Есть перспективы изучать это по данным
наблюдений остаточных (debris) дисков.

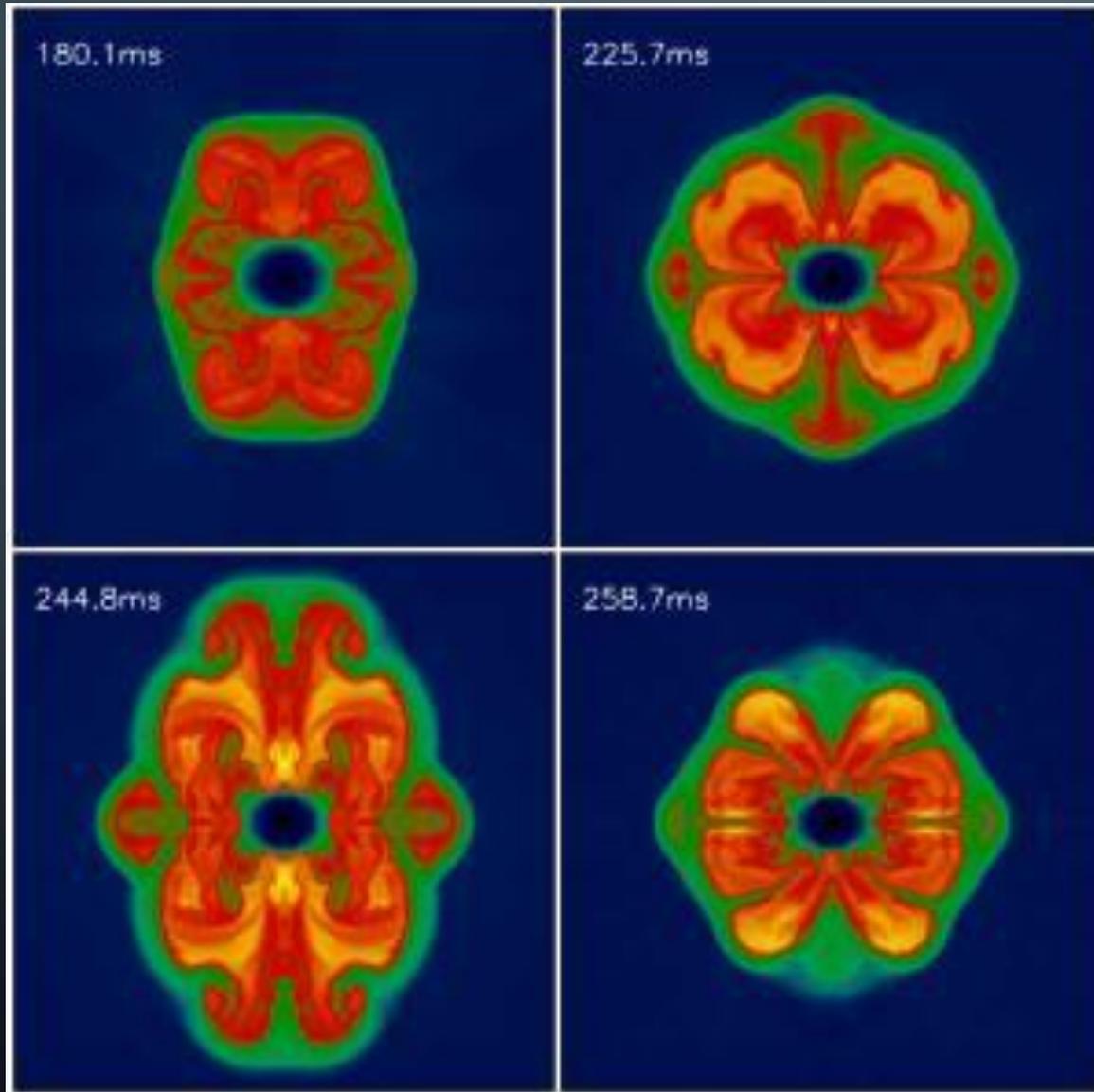
1501.05659



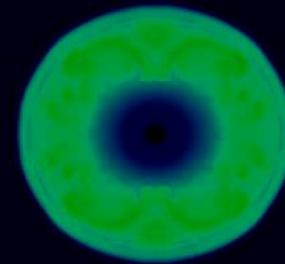
ВЗРЫВ СВЕРХНОВОЙ

Расчеты взрывов сверхновых можно смело отнести к числу самых сложных задач.

- термоядерные реакции
- магнитные поля
- гидродинамика
- нейтрино
- эффекты теории относит.

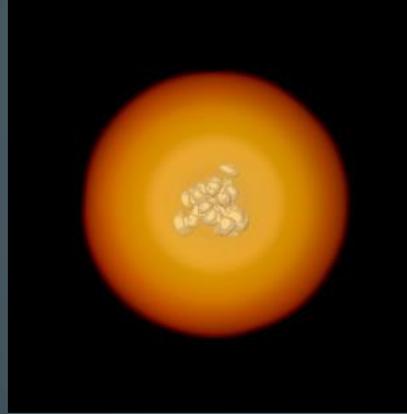


97.6ms



(Buras, Janka et al.)

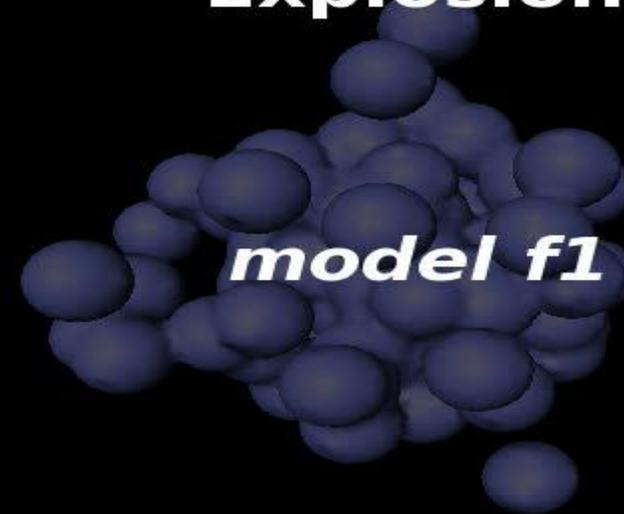
ВЗРЫВ SN IA



Roepke et al.

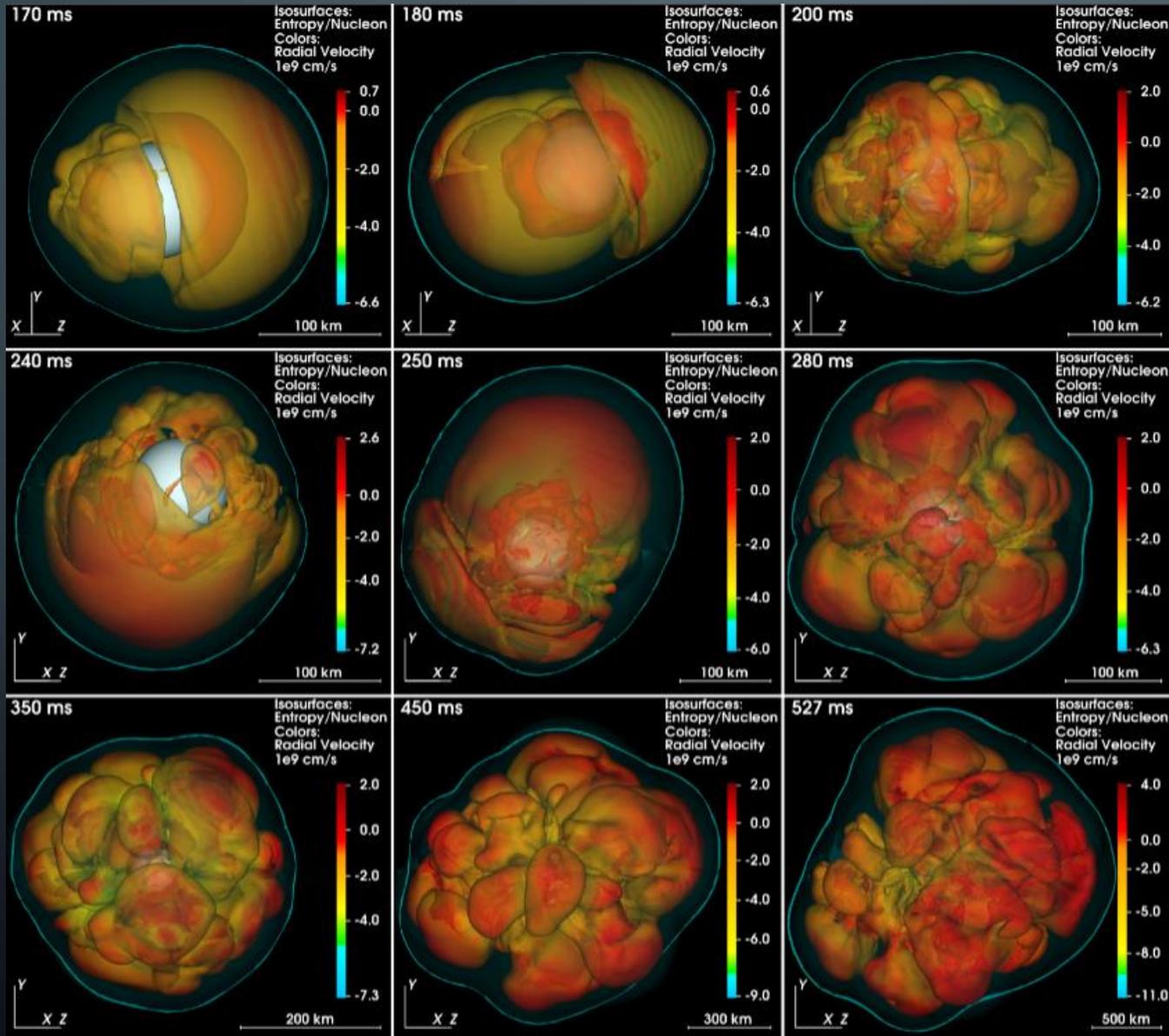
Взрыв белого карлика

Thermonuclear Supernova Explosion



(c) Friedrich Röpke, MPA, 2004

СТРАННЫЕ КВАРКИ И СВЕРХНОВЫЕ



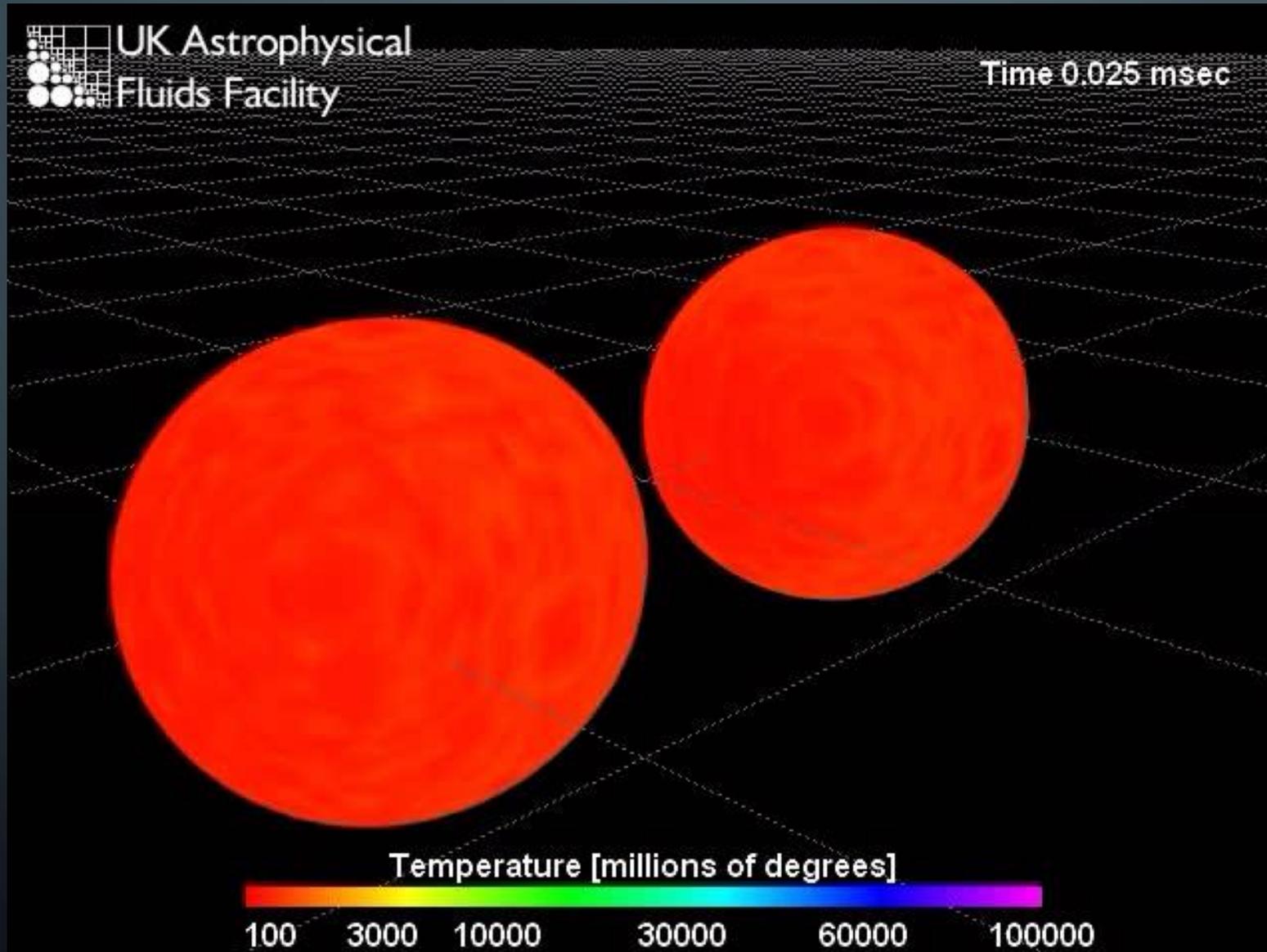
Авторы добавили в расчеты процессы с участием странных кварков.

Это помогло взорвать звезду с массой 20 солнечных в трехмерном (!) расчете.

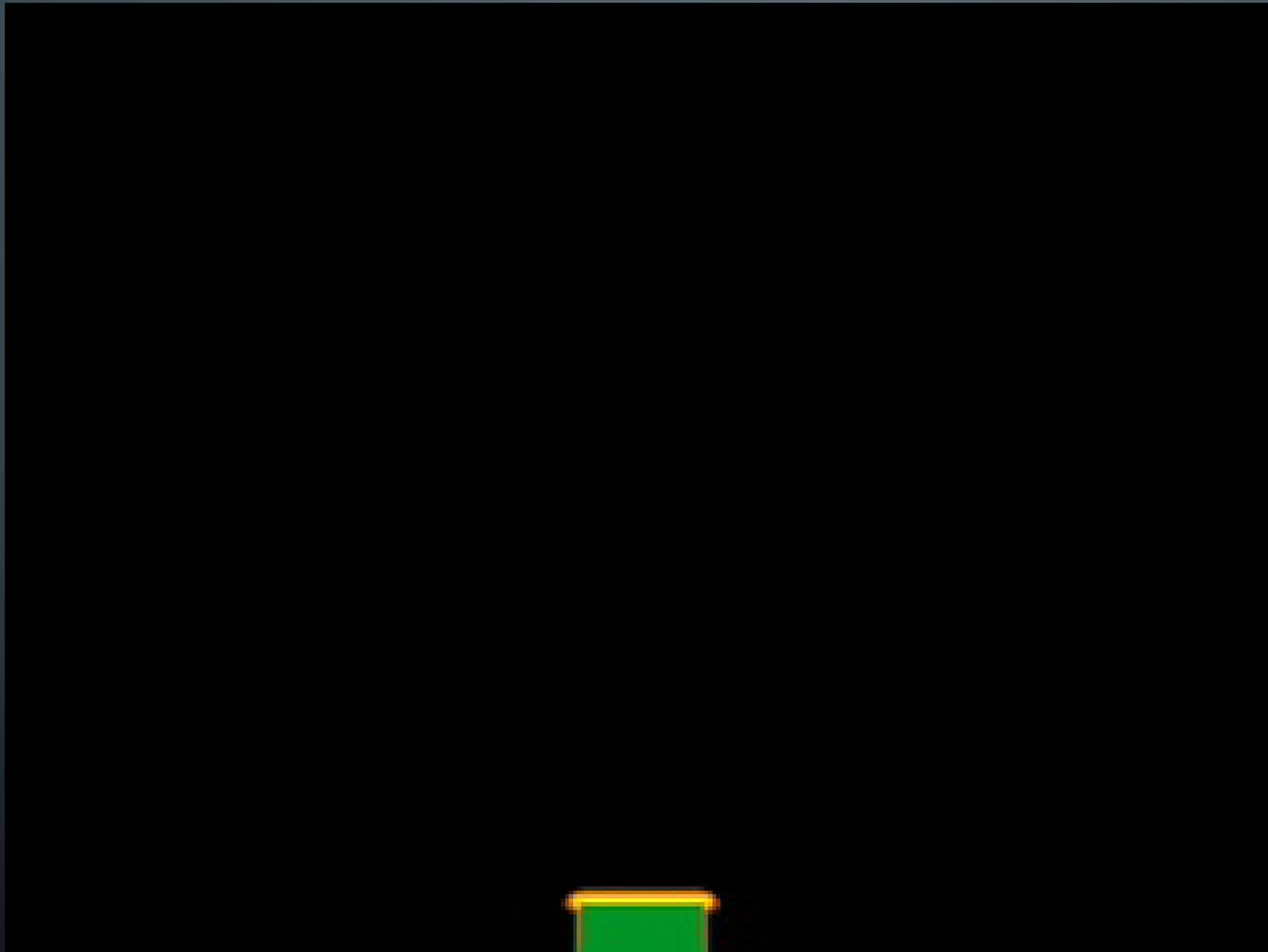
1504.07631

СЛИЯНИЕ НЕЙТРОННЫХ ЗВЕЗД

Stephan Rosswog, visualisation: R. West



СВЕРХНОВАЯ С ДЖЕТОМ



(PLUTO; written by A. Mignone)

ВЫПАДЕНИЕ ВЕЩЕСТВА НА ЧЕРНУЮ ДЫРУ И ИЗЛУЧЕНИЕ ГРАВВОЛН

Accretion of a Quadrupolar Dust Shell onto a Schwarzschild Black Hole and Emission of Gravitational Radiation

Left: density evolution Right: waveform

Final time: 350M

Authors: Philippos Papadopoulos & Jose A. Font

Reference: Physical Review D, 1999, 59, 044014

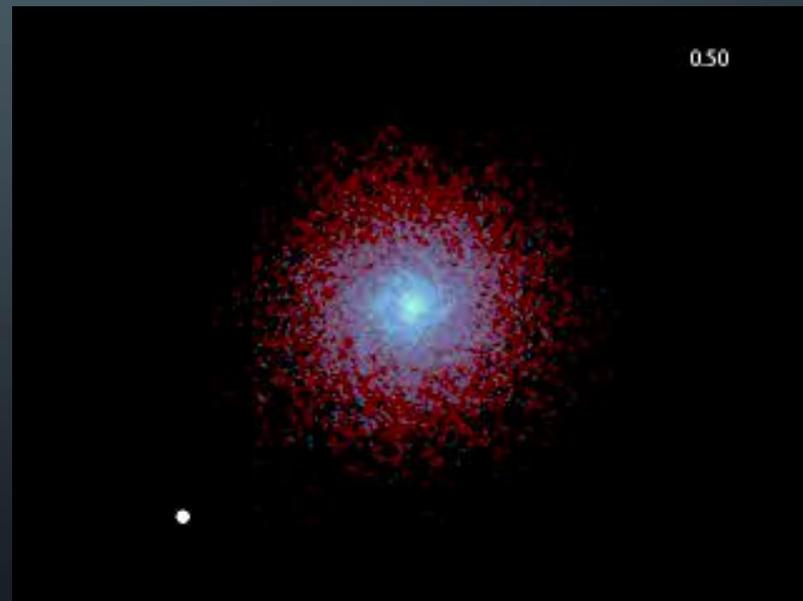
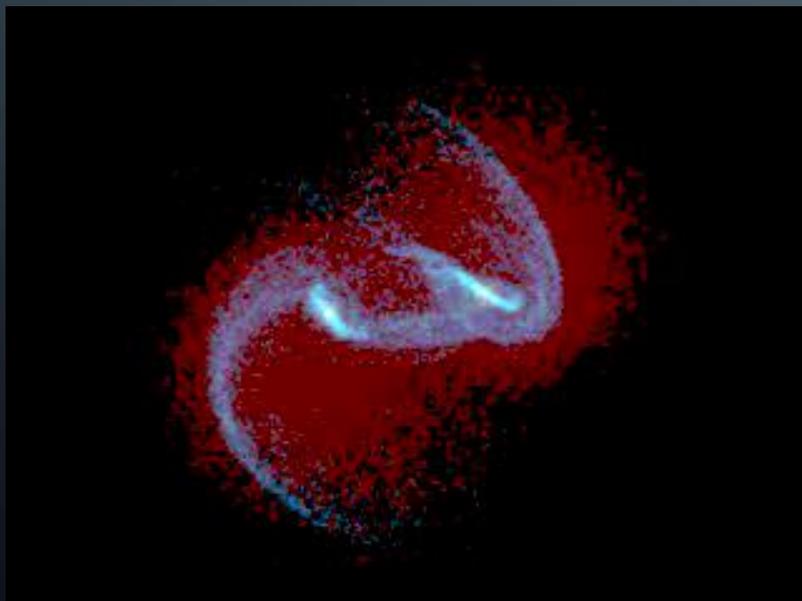
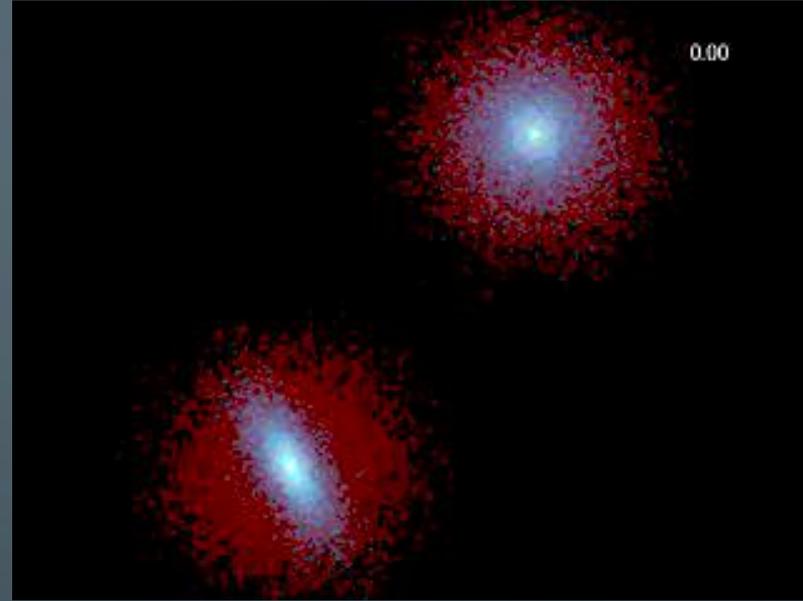
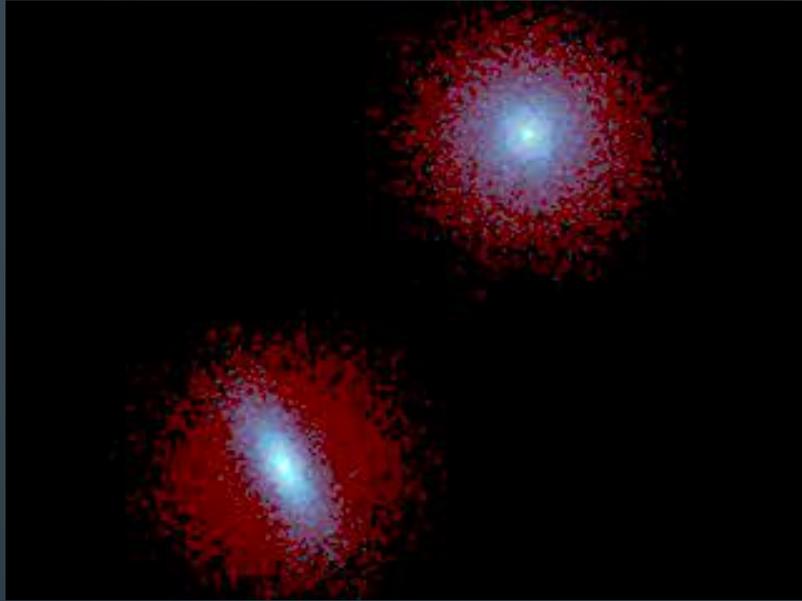
ПРОБЛЕМЫ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

- Эффекты модели, «численная вязкость» и т.п.
- Контроль результатов
- Понимание результатов

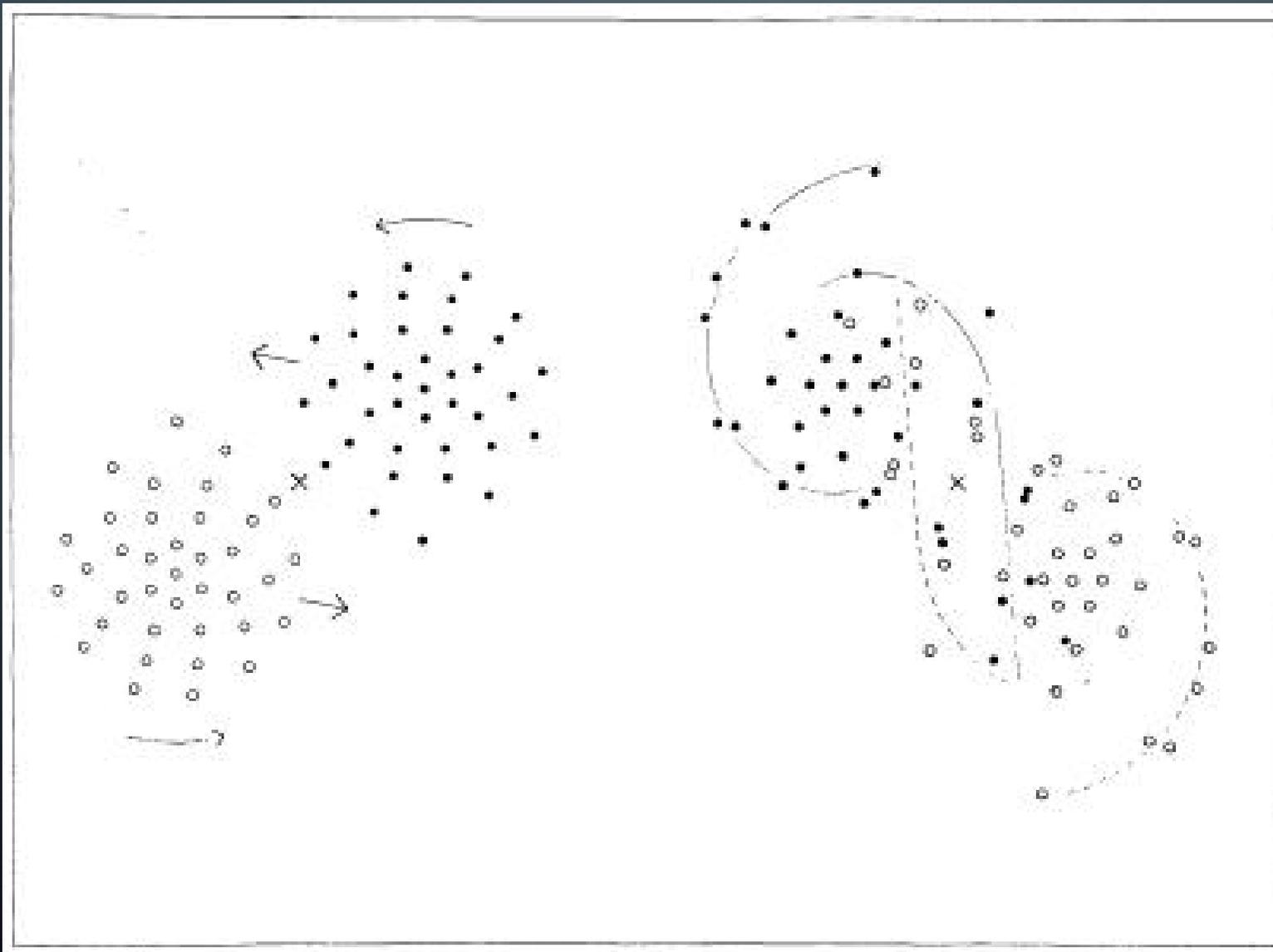
Тем не менее, часто компьютерный эксперимент является единственно возможным выходом.

Приведет ли в будущем развитие моделирования к новому пониманию реальности?

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ГАЛАКТИК



ЭКСПЕРИМЕНТ ХОЛМБЕРГА

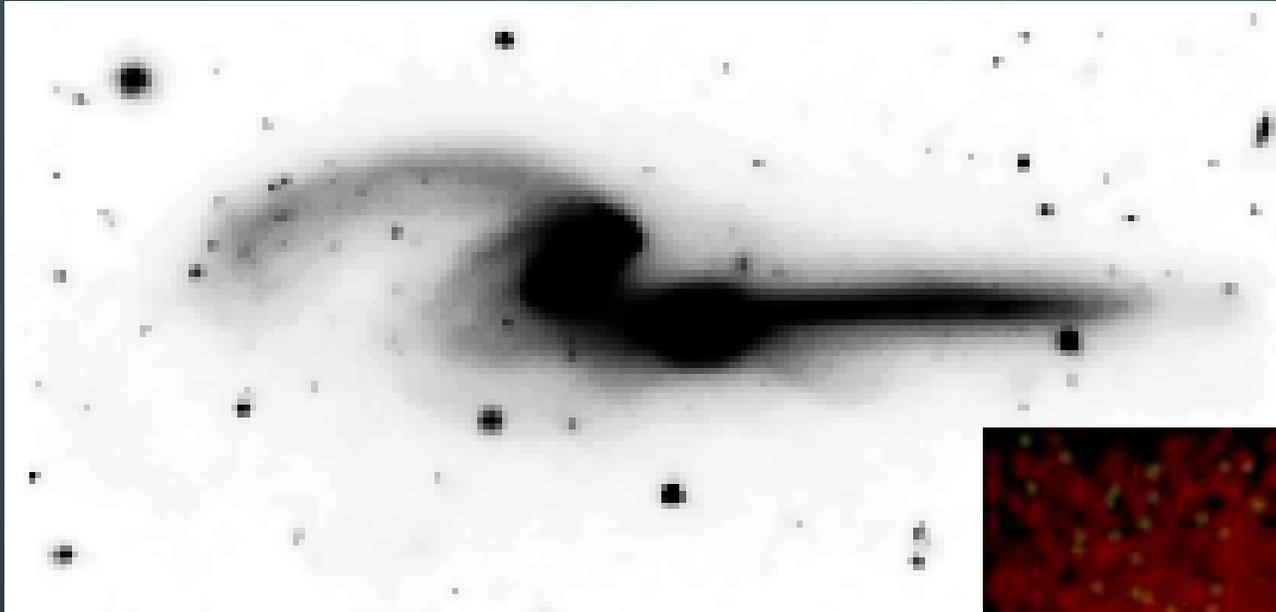


Holmberg (1941)

Свет ламп.
Интенсивность падает
как обратный
квадрат расстояния.

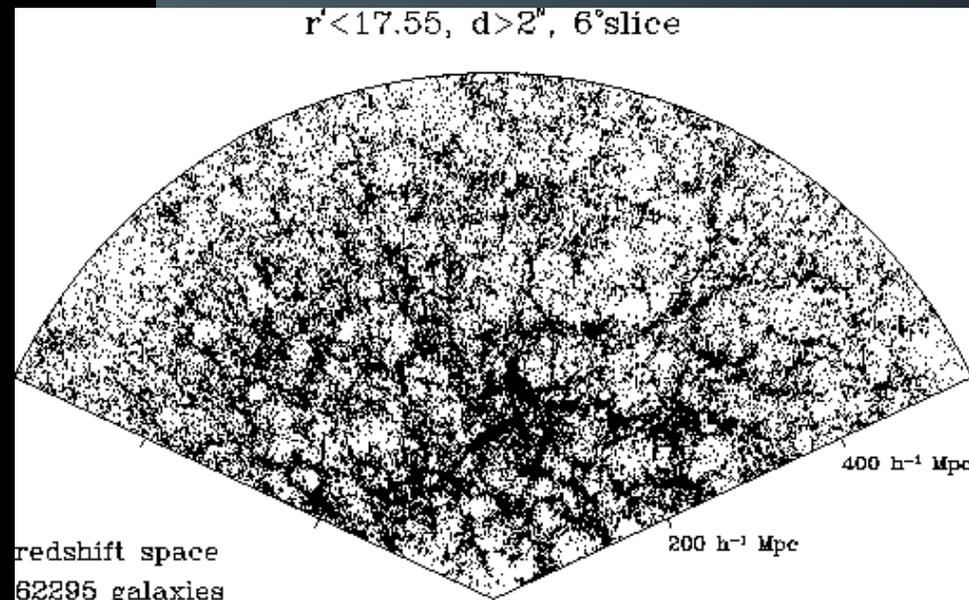
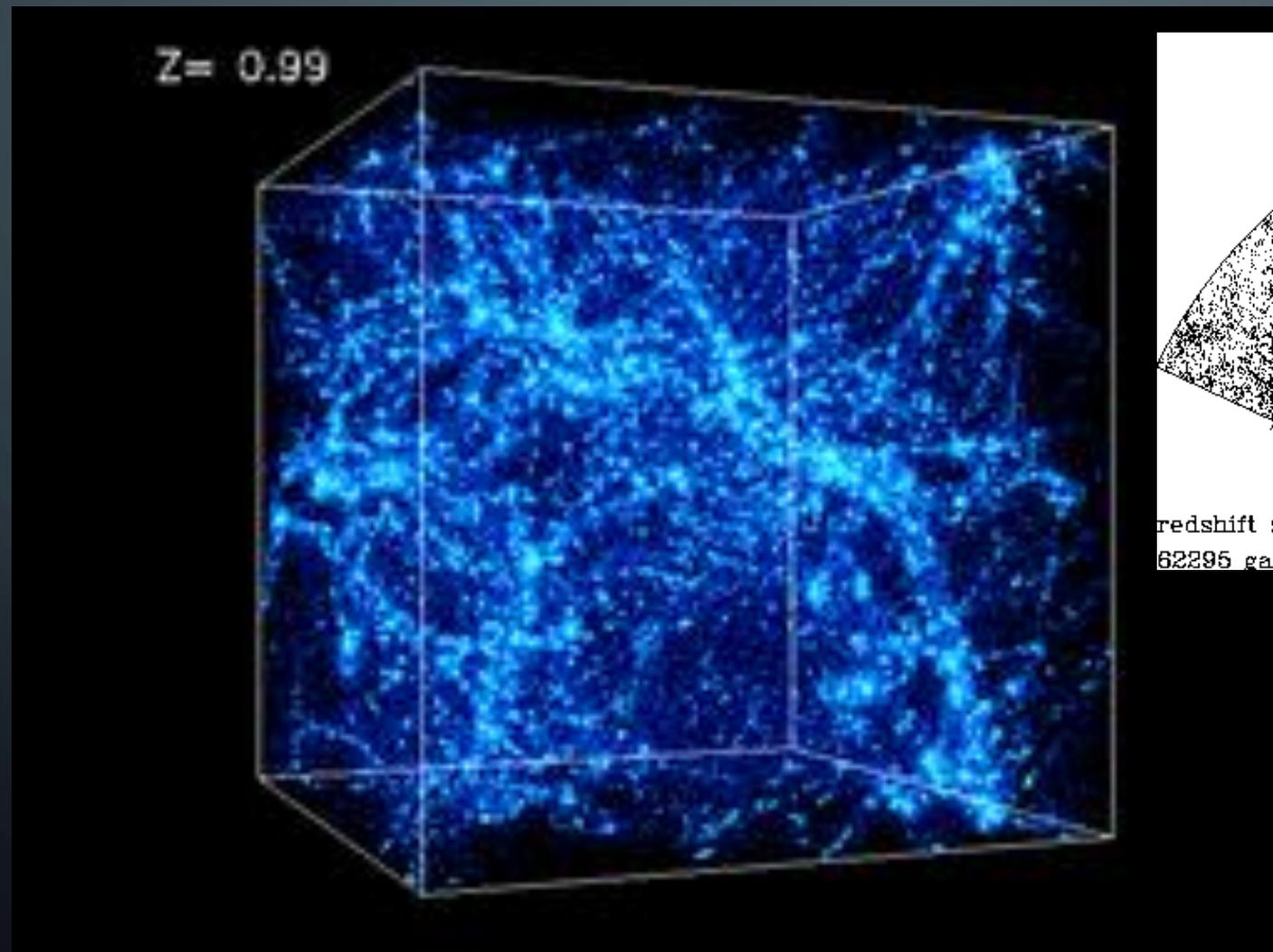


ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩИЕ ГАЛАКТИКИ



(Hibbard, Barnes)

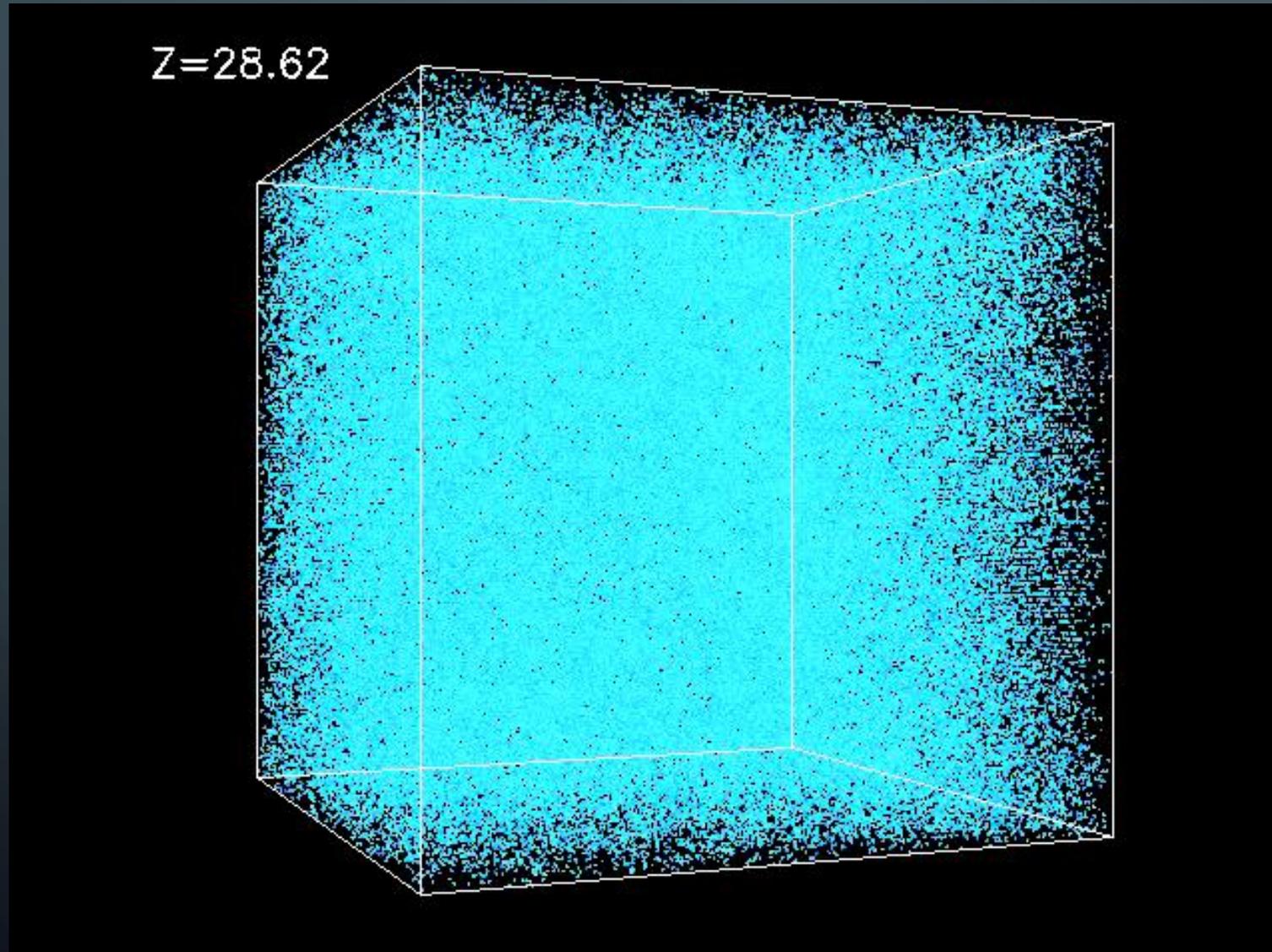
КРУПНОМАСШТАБНАЯ СТРУКТУРА



SDSS

(Кравцов и др.)

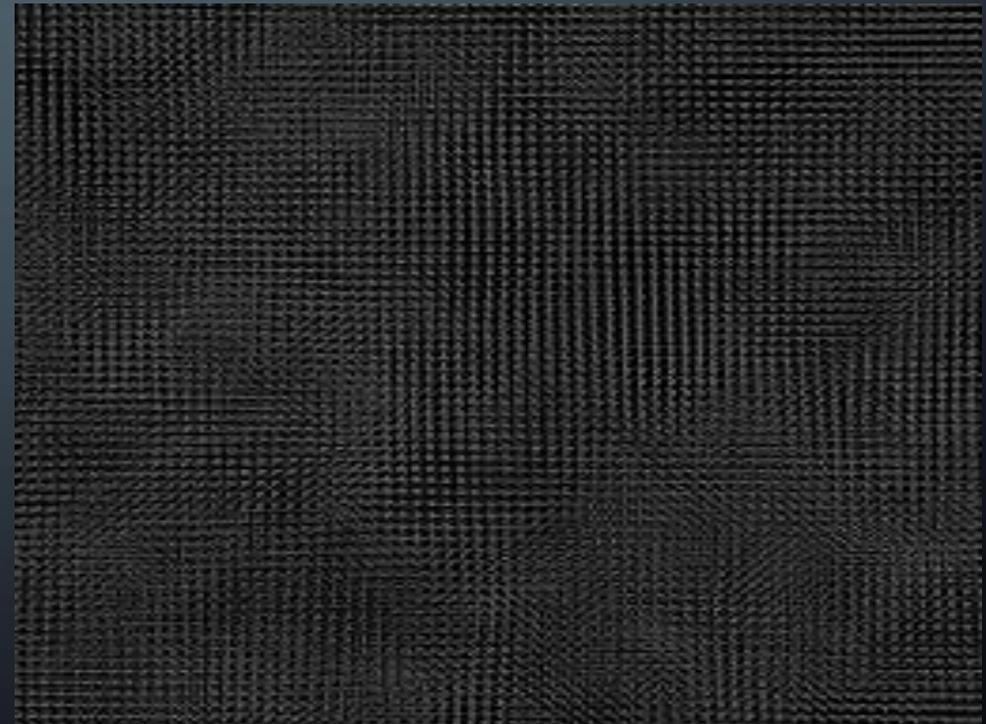
КРУПНОМАСШТАБНАЯ СТРУКТУРА



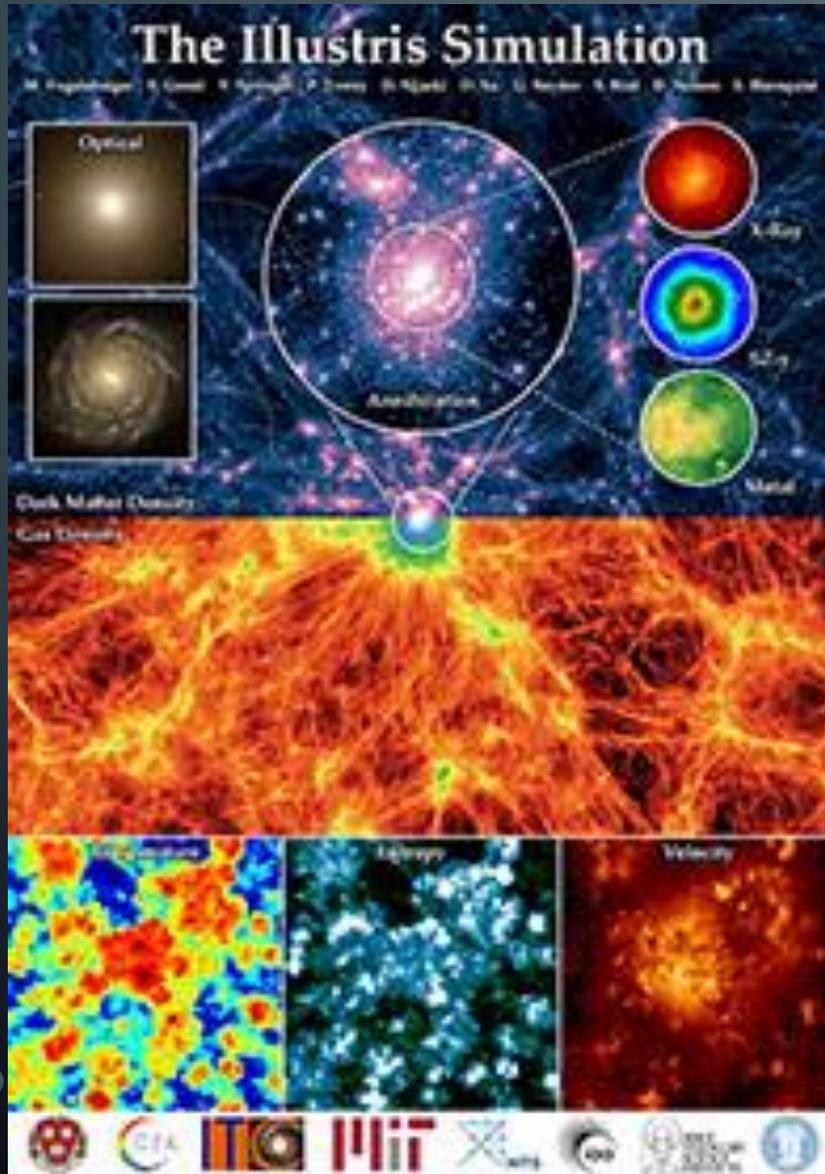
(Кравцов и др.)

КРУПНОМАСШТАБНАЯ СТРУКТУРА

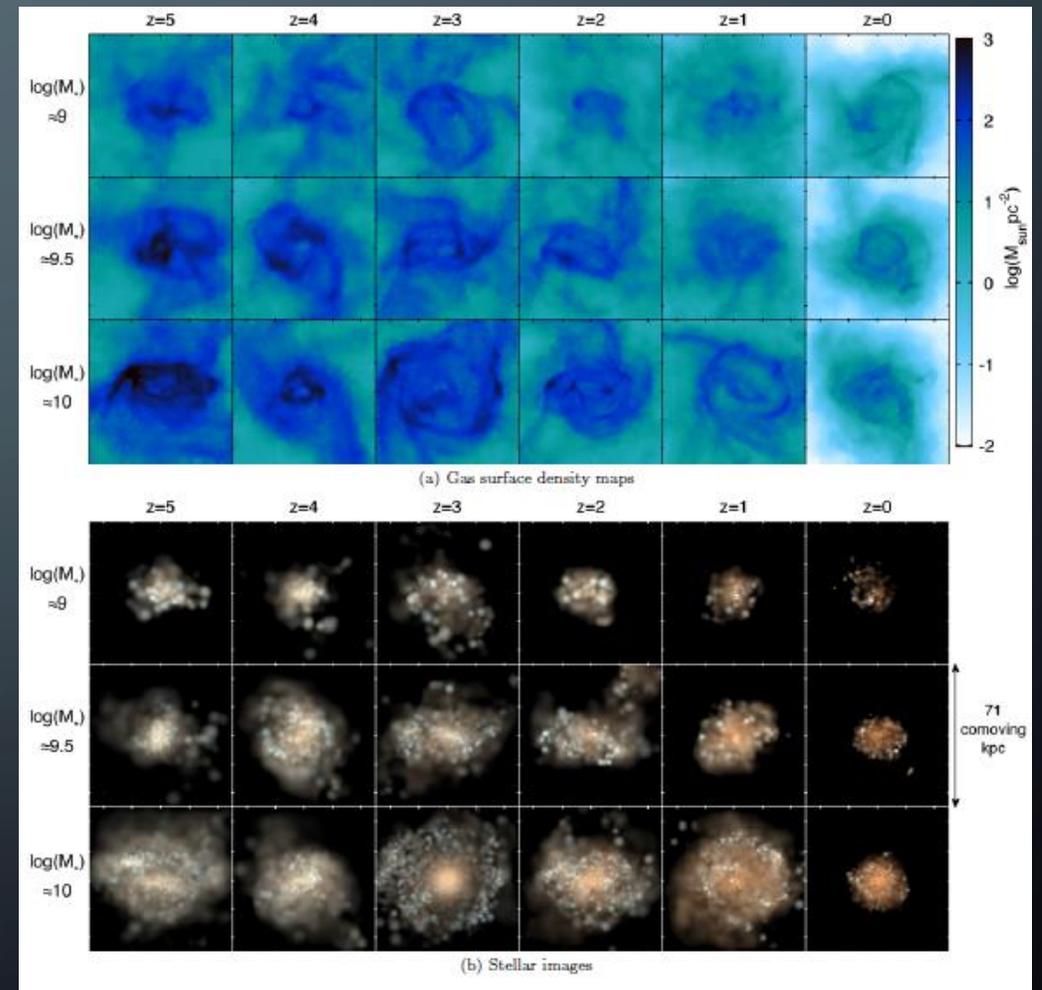
*N-Body Simulation of the
Cold Dark Matter Cosmology*



ILLUSTRIS

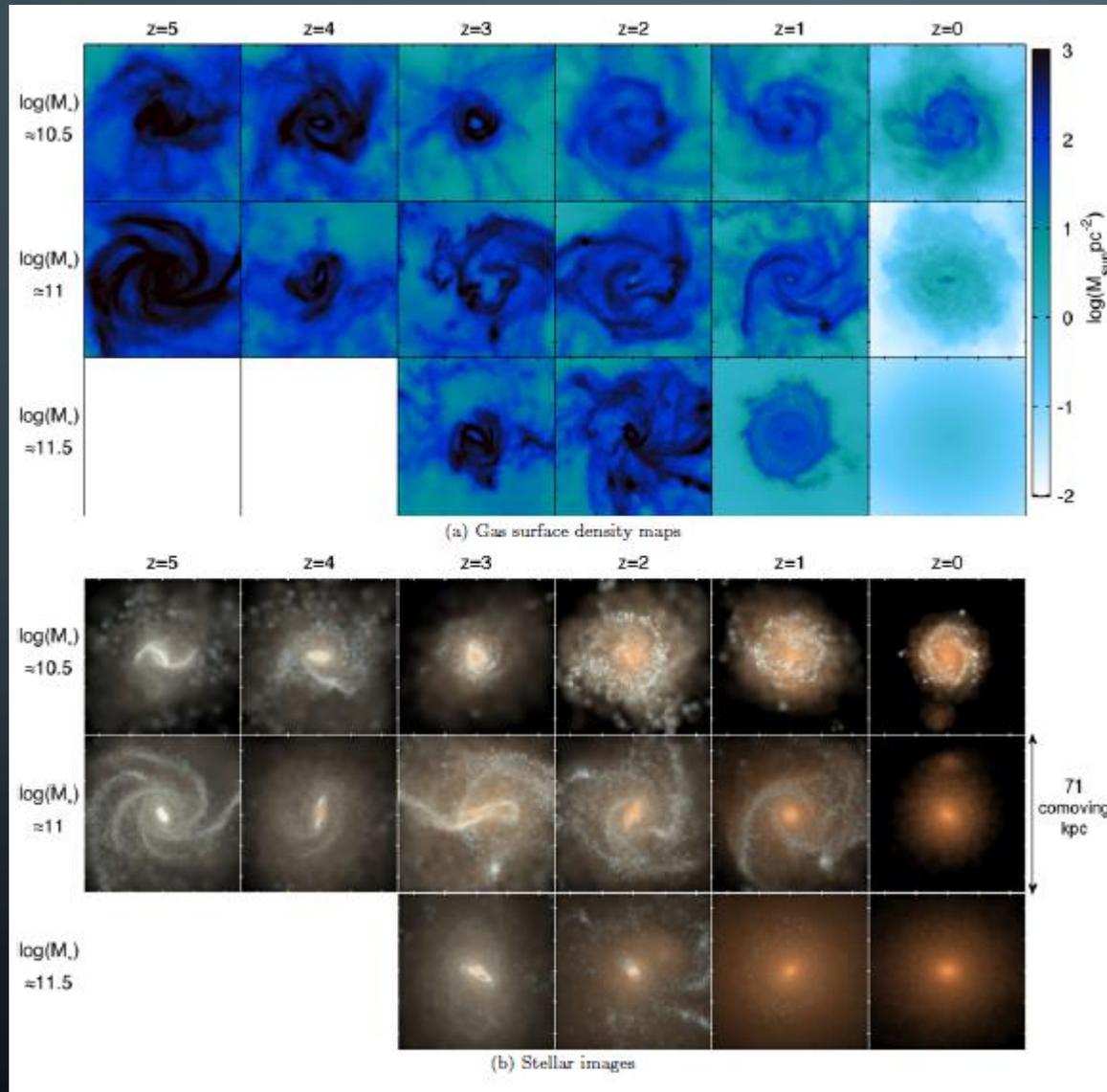


Новое численное моделирование формирования галактик и крупномасштабной структуры



1405.3749

КРУПНЫЕ ГАЛАКТИКИ

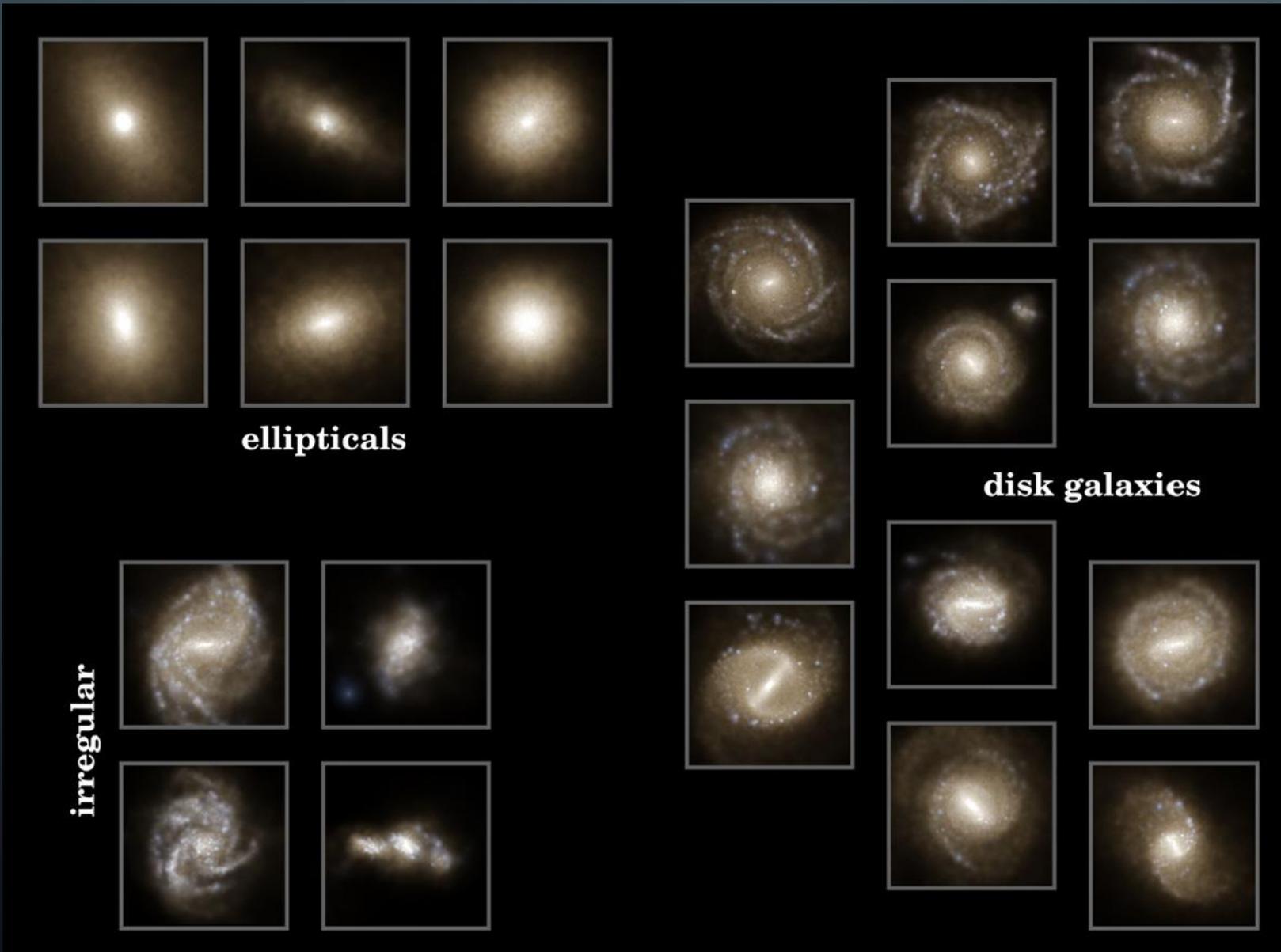


1405.3749

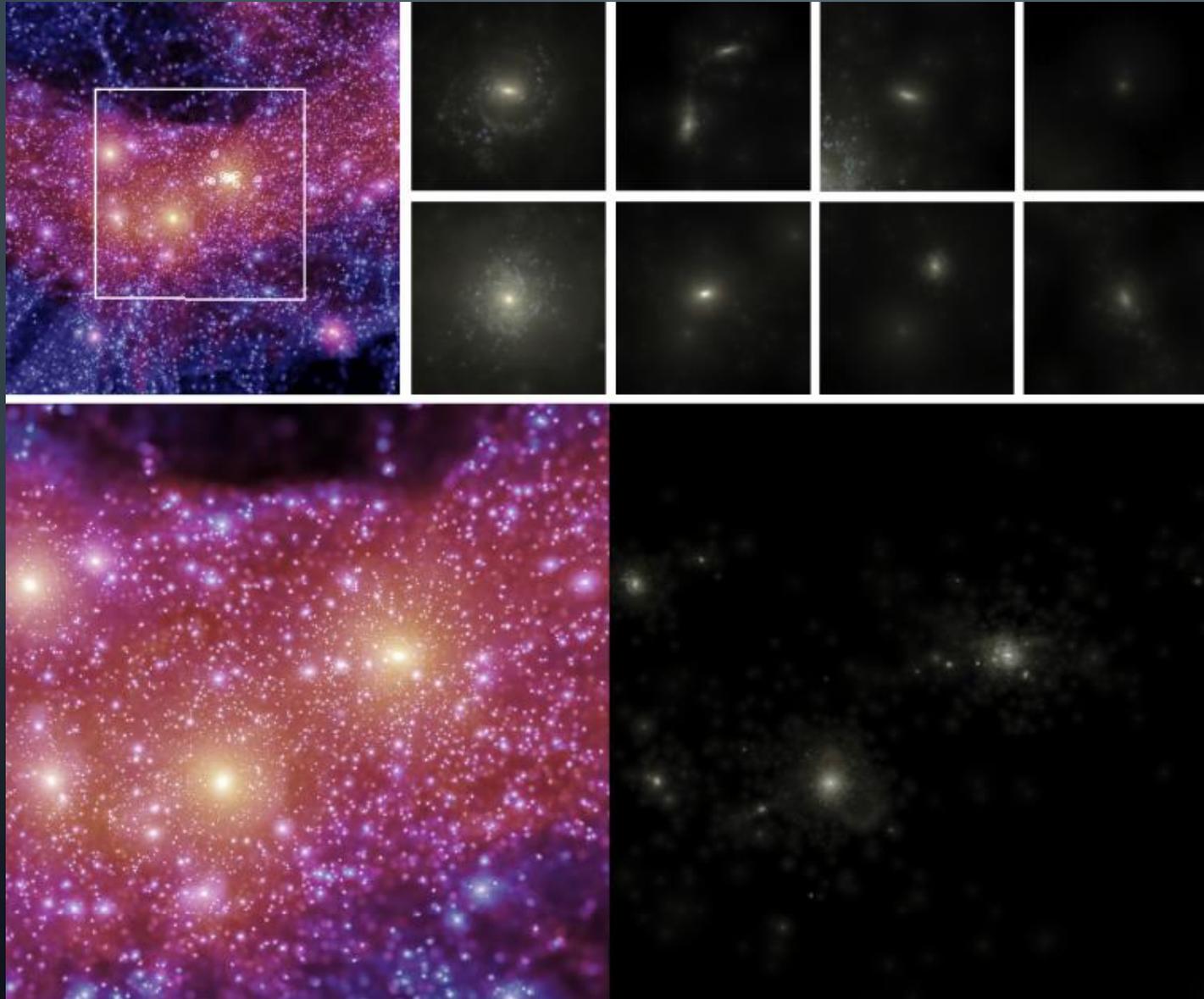
Прямо можно изучать, как образуются галактики разного вида и сравнивать с данными наблюдений.

ФОРМИРОВАНИЕ ГАЛАКТИК

<http://www.illustris-project.org/media/>



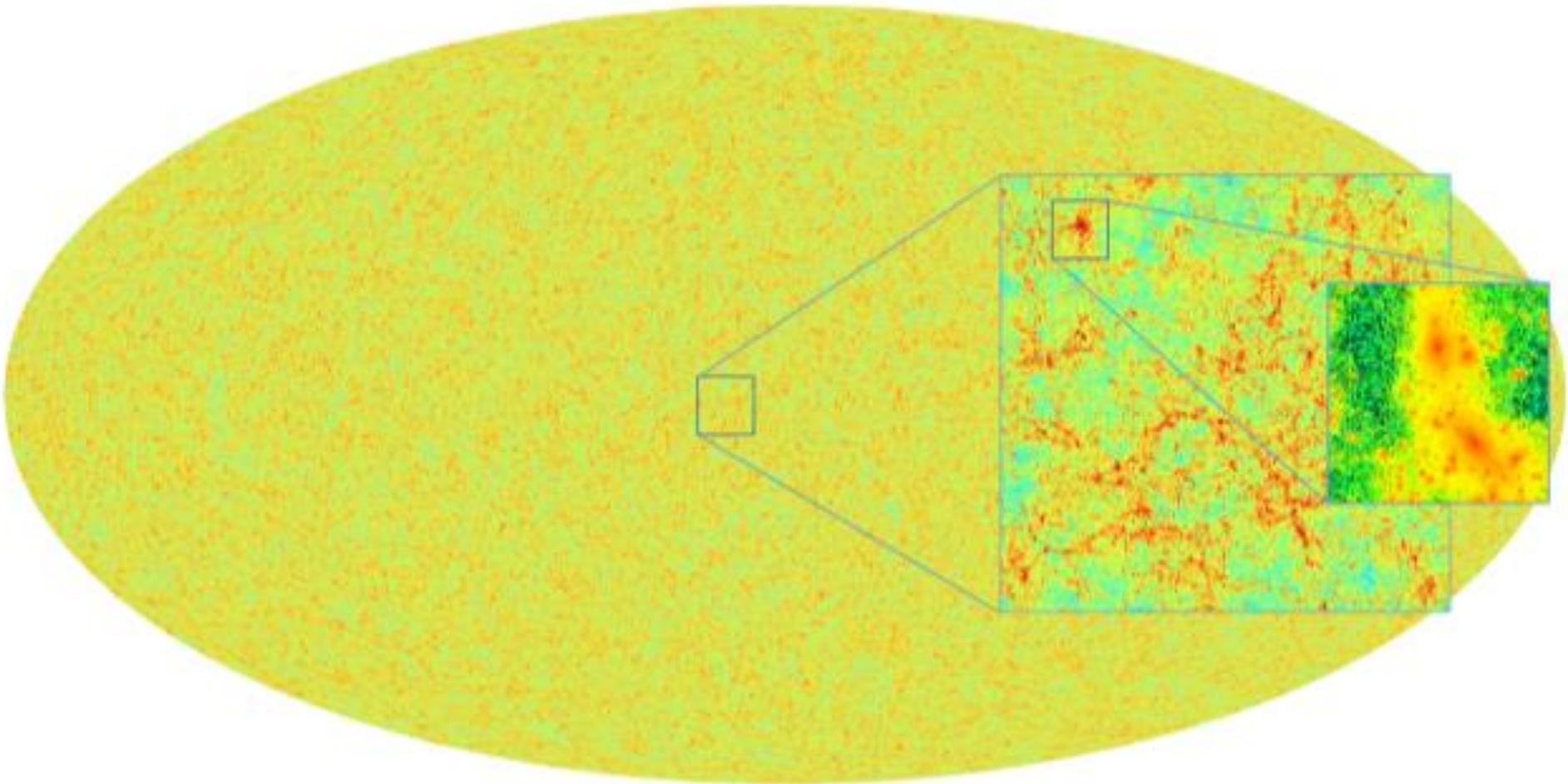
МЕСТНАЯ ГРУППА ГАЛАКТИК



1412.2748

Решены все основные проблемы, связанные со свойствами Местной группы.

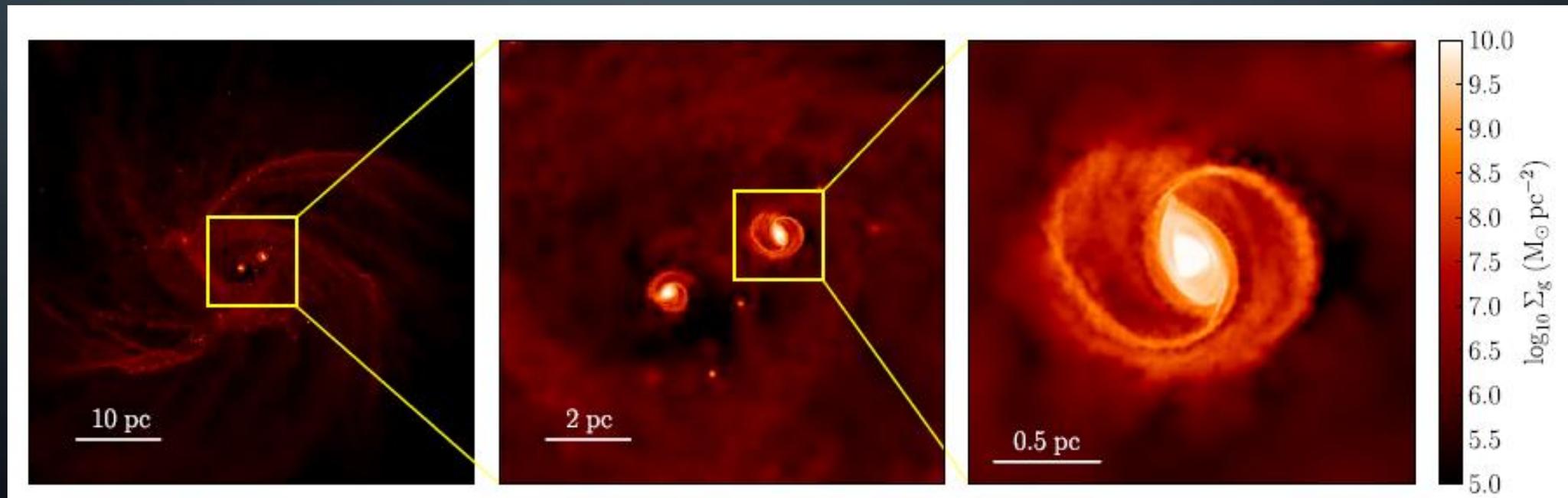
8 ТРИЛЛИОНОВ ЧАСТИЦ



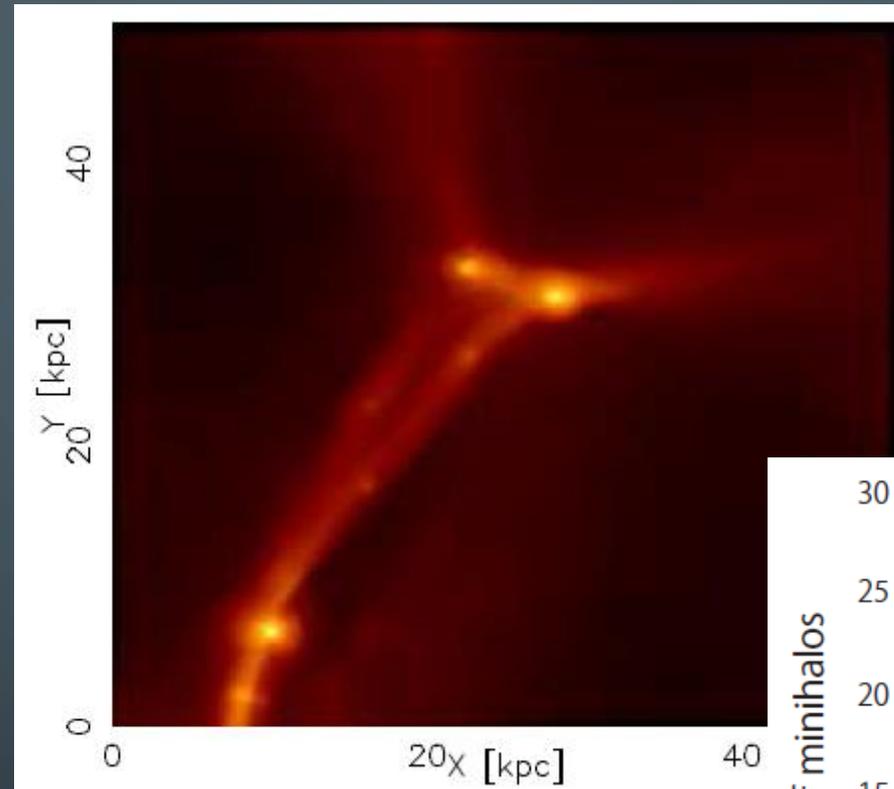
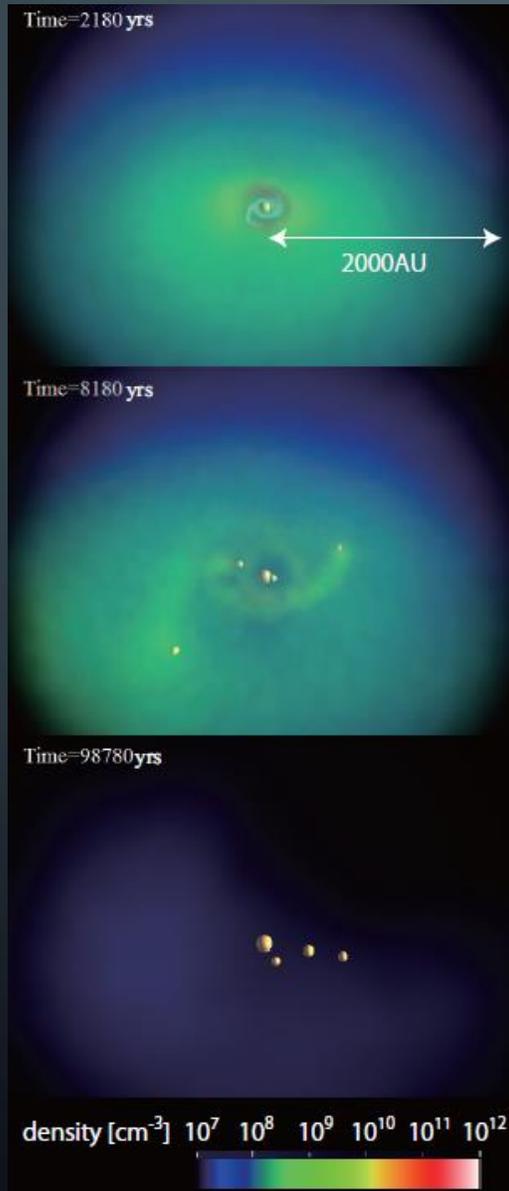
1609.08621

ОБРАЗОВАНИЕ СВЕРХМАССИВНЫХ ЧЕРНЫХ ДЫР

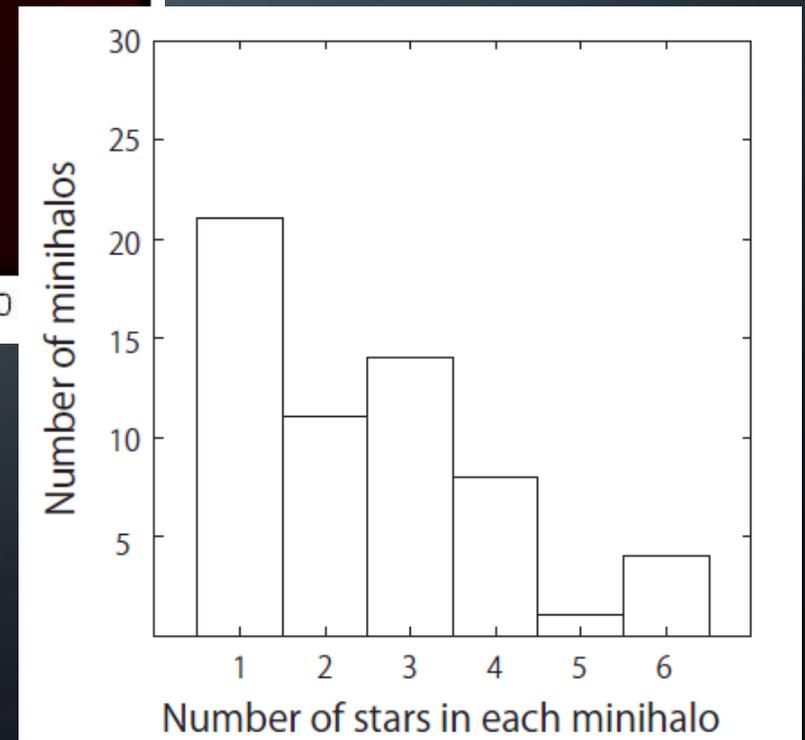
Сверхмассивные черные дыры можно образовать
в результате слияния крупных галактик на $z=8-10$.



МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРВЫХ ЗВЕЗД



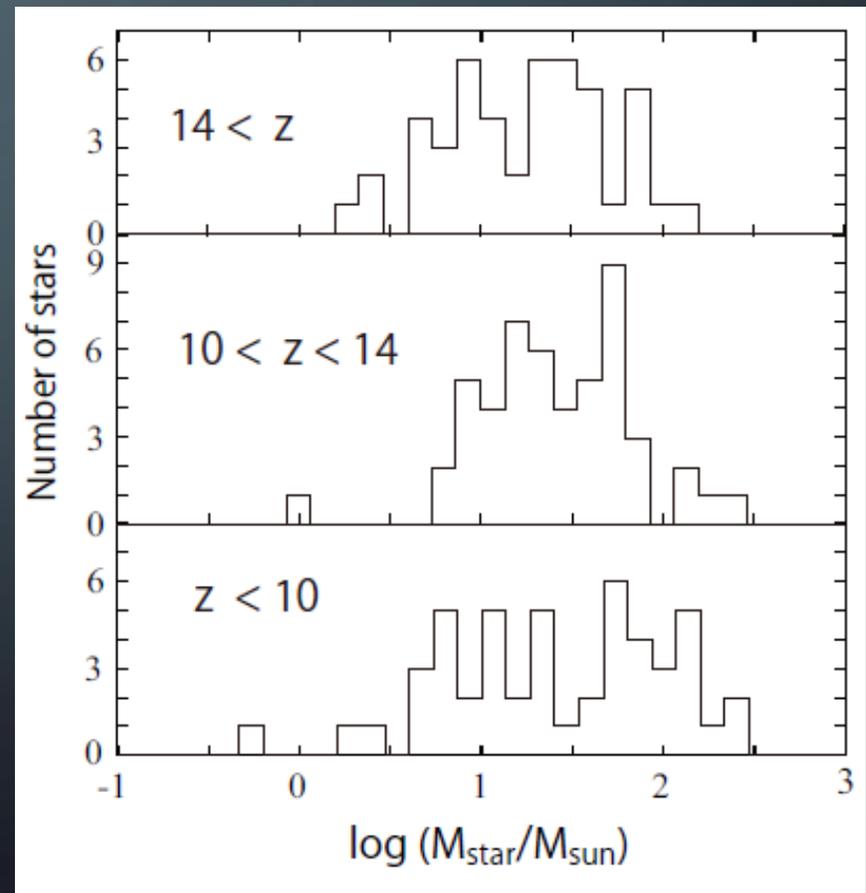
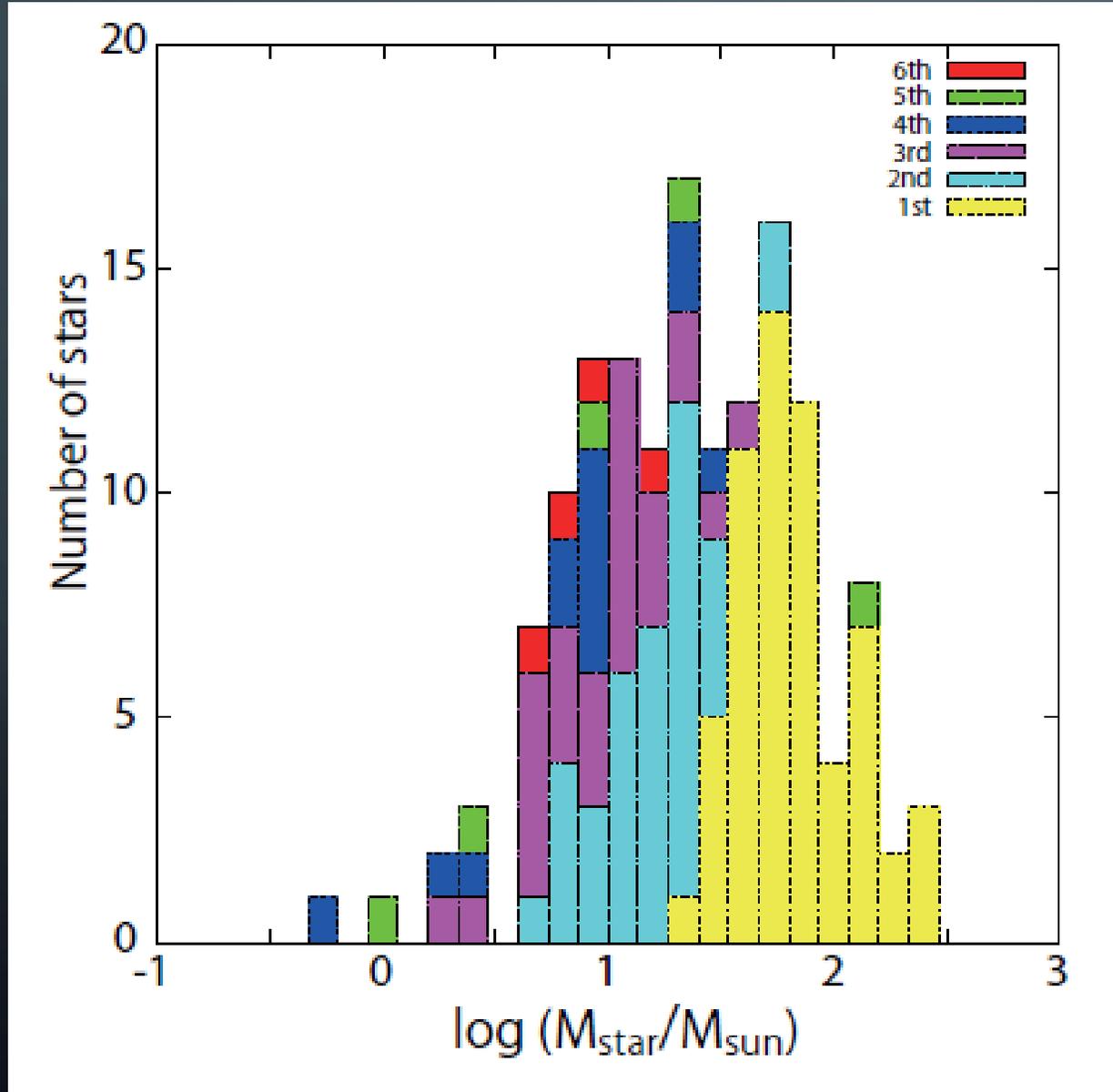
Часто в минигало образуется более чем одна звезда. Поэтому звезды могут быть не только очень массивными.



1407.1374

СПЕКТР МАСС ПЕРВЫХ ЗВЕЗД

1407.1374



ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Работа современного астронома немыслима без компьютера. Астрономы–наблюдатели управляют инструментами с их помощью. Затем, применяя мощные современные методы анализа, они обрабатывают данные. Наконец, теоретики заняты сложным моделированием.

От телескопа до компьютера один шаг!

Stop

End