

**Современные проблемы
астрономии:
от темной материи до
кротовых нор**

А.М. Черепашук

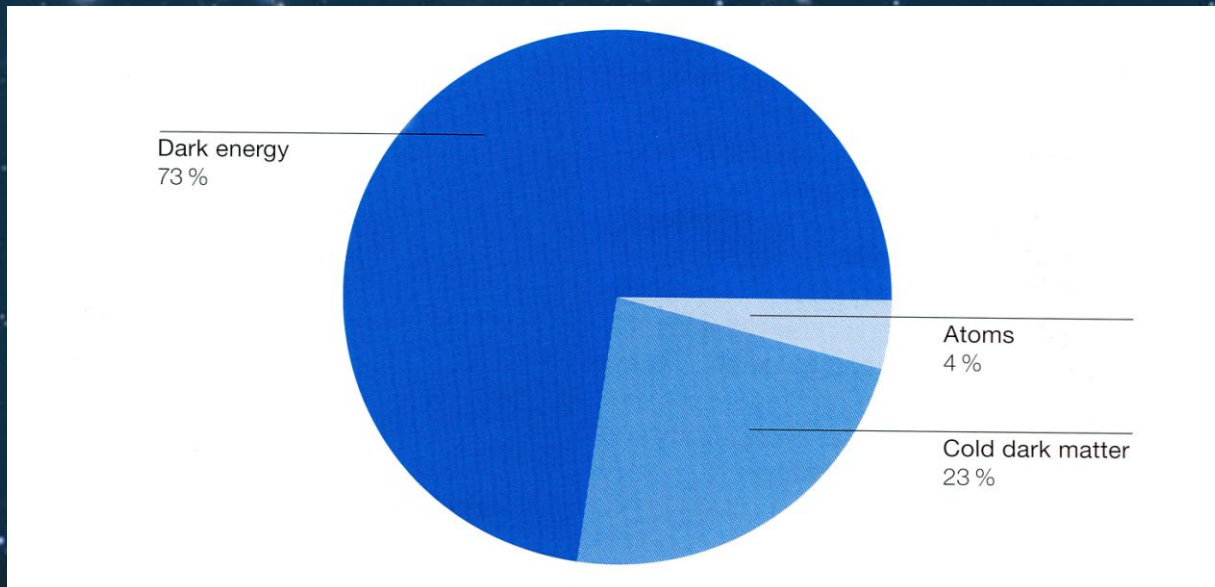
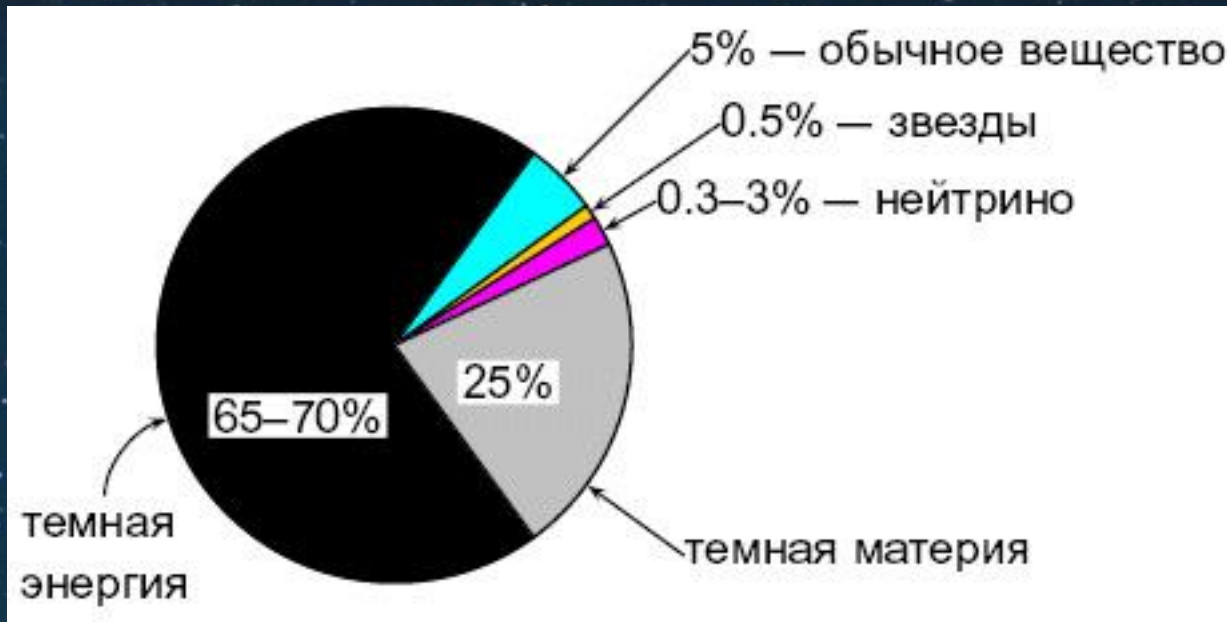
(ГАИШ МГУ)

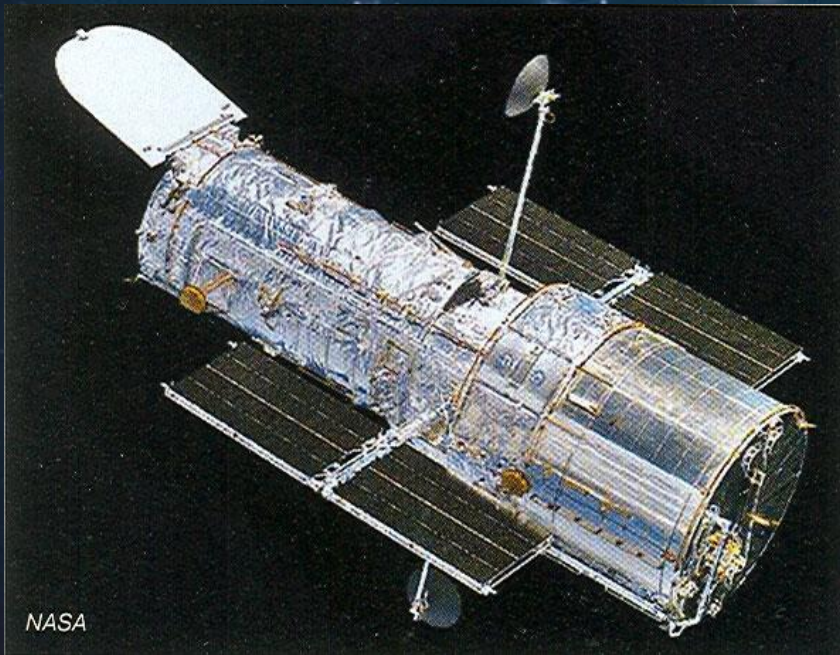
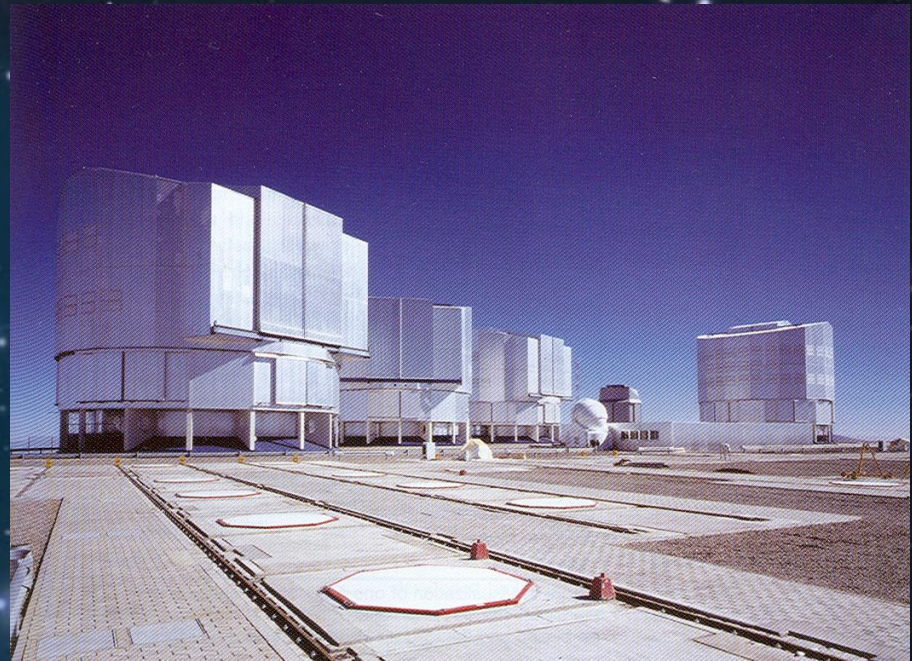
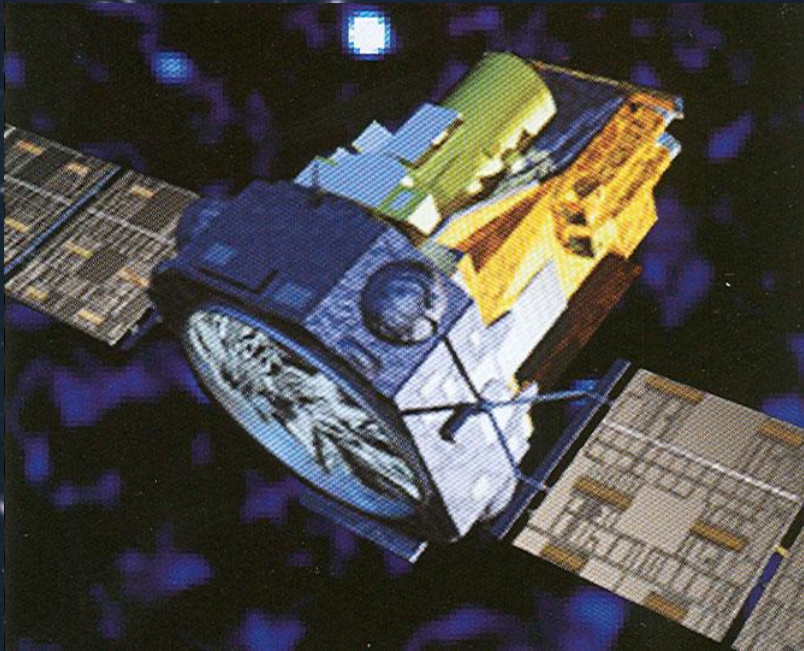
Генеральная Ассамблея ООН
объявила 2009-й год всемирным
годом астрономии. Этим решени-
ем признается выдающееся зна-
чение астрономии в жизни чело-
веческой цивилизации.

400 лет тому назад Галилей впервые навел свой телескоп на небо и положил начало наблюдательной астрономии. Это привело к революционным изменениям представлений об окружающем нас мире.

Современная астрономия ставит перед учеными все новые и новые вызовы. Открыты новые формы материи во Вселенной, природа которых пока остается загадочной. Причем вклад новых форм материи (темная материя и темная энергия) является определяющим во Вселенной и составляет 95%.

Известная нам барионная форма материи (атомы и молекулы), из которой состоят звезды, планеты и человек, – это лишь малая часть, всего около 5% всей материи во Вселенной.



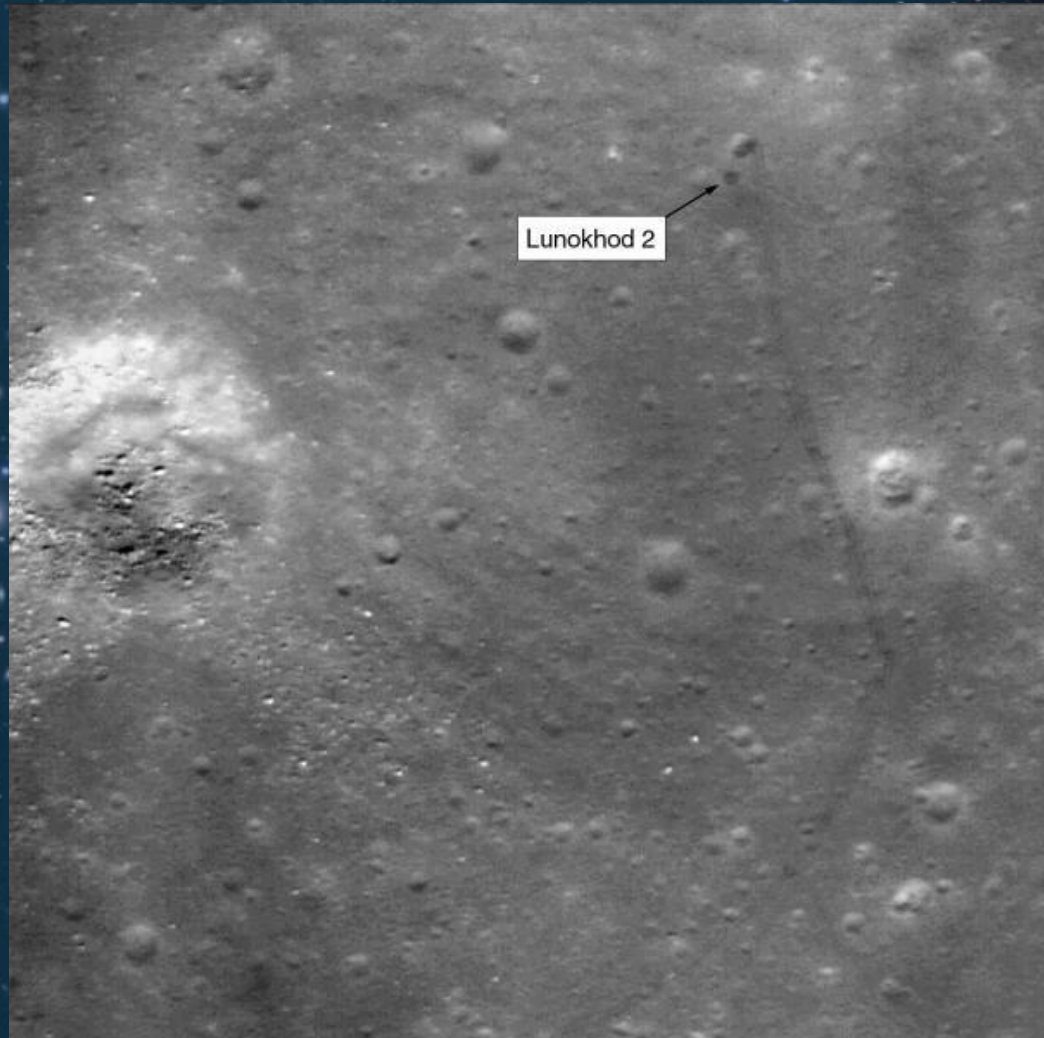


4 октября 2009 года мы отметили 52-летие запуска первого искусственного спутника Земли, который открыл новую эру космических внеатмосферных наблюдений Вселенной.

Russian Lunar Rover Found

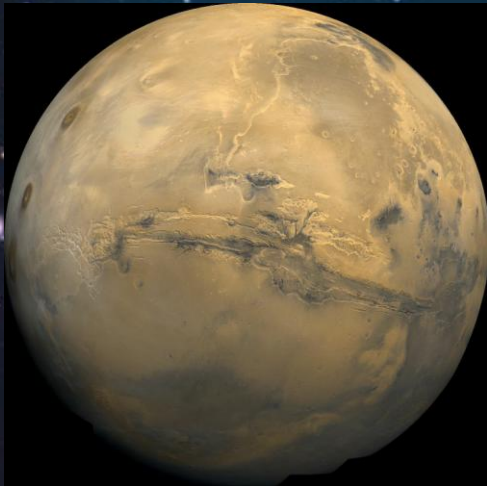
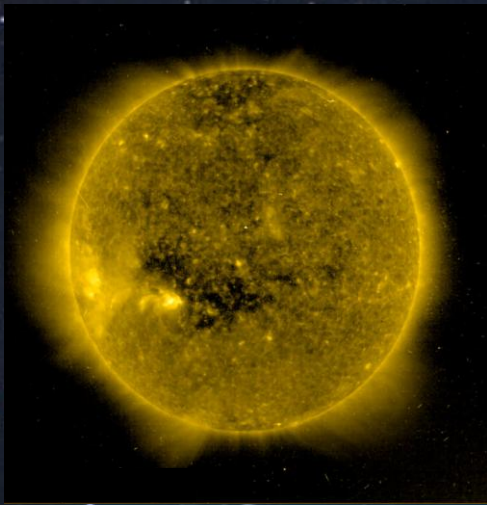
37-Year-Old Space Mystery Solved (Mar. 17, 2010):

- The journey was the longest any robotic rover has ever been driven on another celestial body.
- The exact location of the Russian rover Lunokhod 2 was identified. The LRO camera was used to find the tracks left by the lunar rover 37 years ago after it made a 35-kilometre trek.



Если раньше астрономы наблюдали небо лишь в основном в оптическом диапазоне спектра (длина волны меняется в ~ 2 раза), то в эру космических исследований, благодаря наблюдениям в гамма, рентгеновском, ультрафиолетовом инфракрасном и радиодиапазонах спектра диапазон изучаемых длин волн расширился в 10^{16} раз.

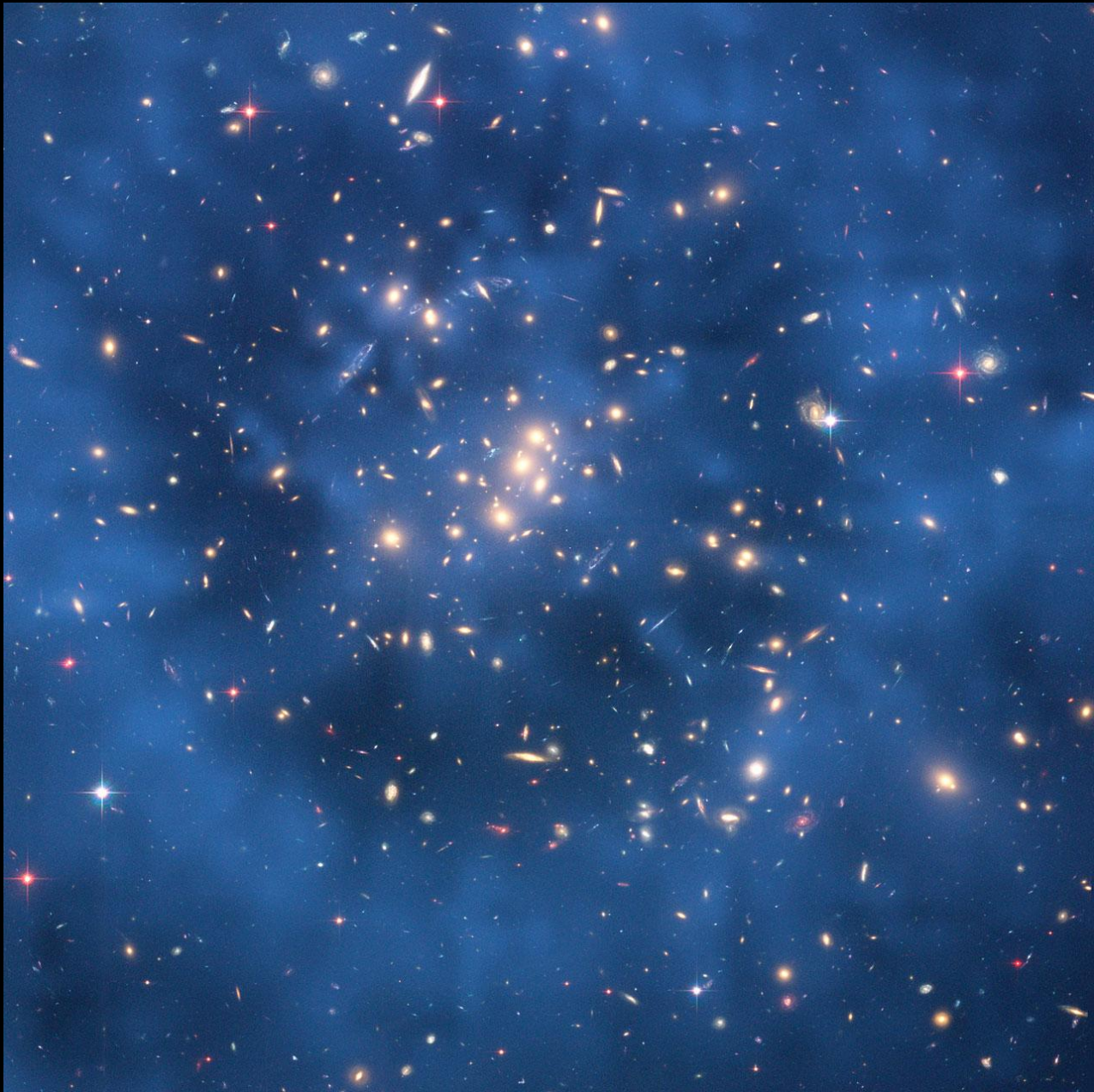
Это обеспечило высокую надежность результатов интерпретации астрономических наблюдений и привело к тем революционным открытиям, которые сейчас свершаются в астрономии.





**Темная материя:
наблюдательные проявления.**

Е.Эпик, Ф.Цвикки (1933г.) впервые указали на то, что количество светящейся материи в галактиках и скоплениях галактик недостаточно, чтобы объяснить наблюдаемые высокие скорости ($v \geq 1000$ км/с) движения галактик в скоплениях, а также высокие скорости вращения внешних частей галактик (сотни км/с).



Движение галактик в скоплениях:

$U + 2E_k = 0;$ – теорема вириала.

$U = \frac{GM^2}{R}$ (M- полная масса скопления, R – его радиус).

$E_k = \frac{1}{2} M \langle V^2 \rangle$ – полная средняя кинетическая энергия движения галактик в скоплении.

Из теоремы вириала следует:

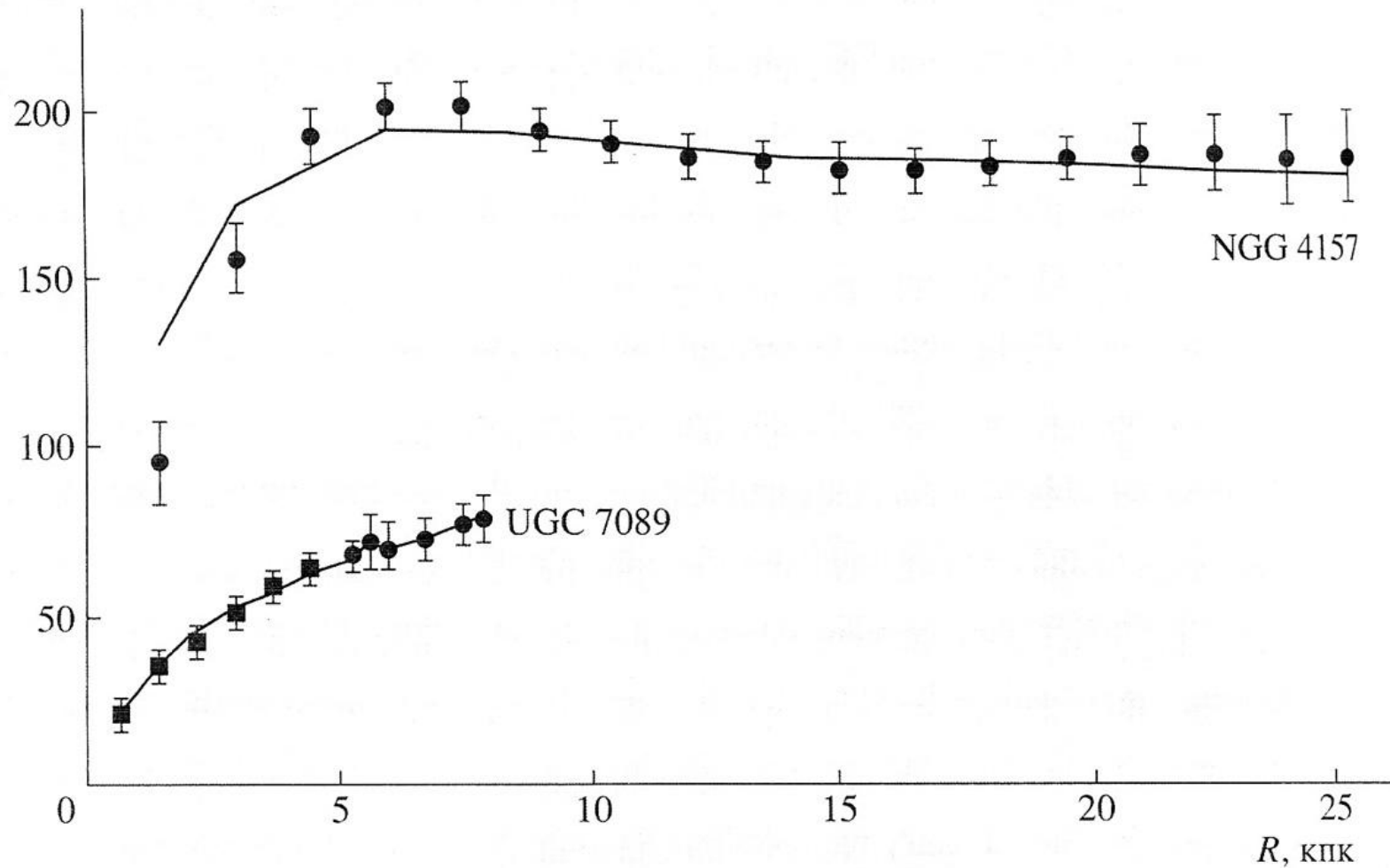
$$M \approx \frac{\langle V^2 \rangle R}{G}.$$

Вращение галактик:

$$\frac{GM(r_0)m}{r^2} = \frac{mv^2}{r}; \rightarrow V(r) \sim \frac{1}{\sqrt{r}}.$$



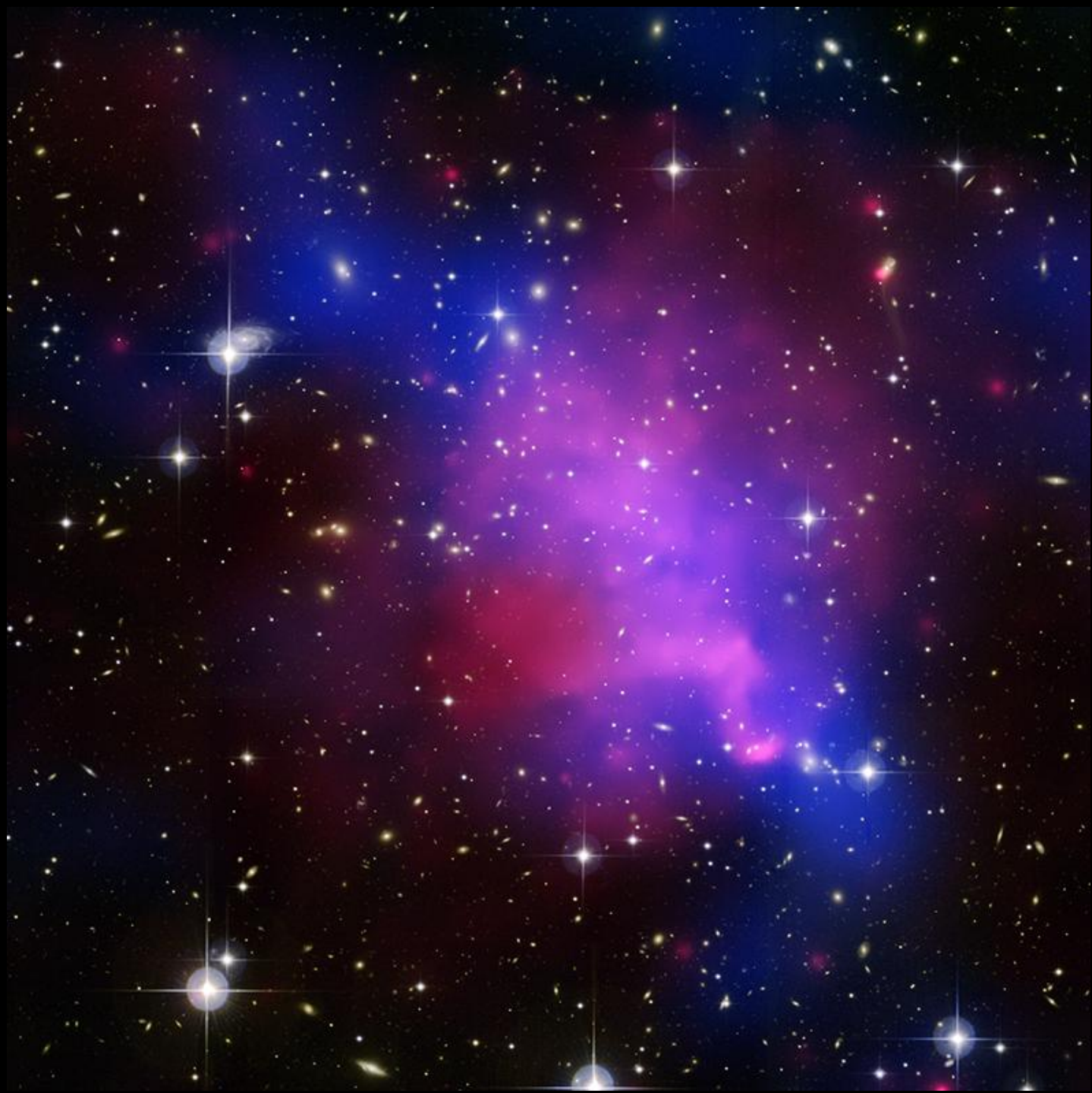
$V, \text{ км с}^{-1}$



Горячий газ в скоплениях.

$$T=(3-10)\cdot 10^7\text{K}, n_e>0.001\text{см}^{-3}.$$



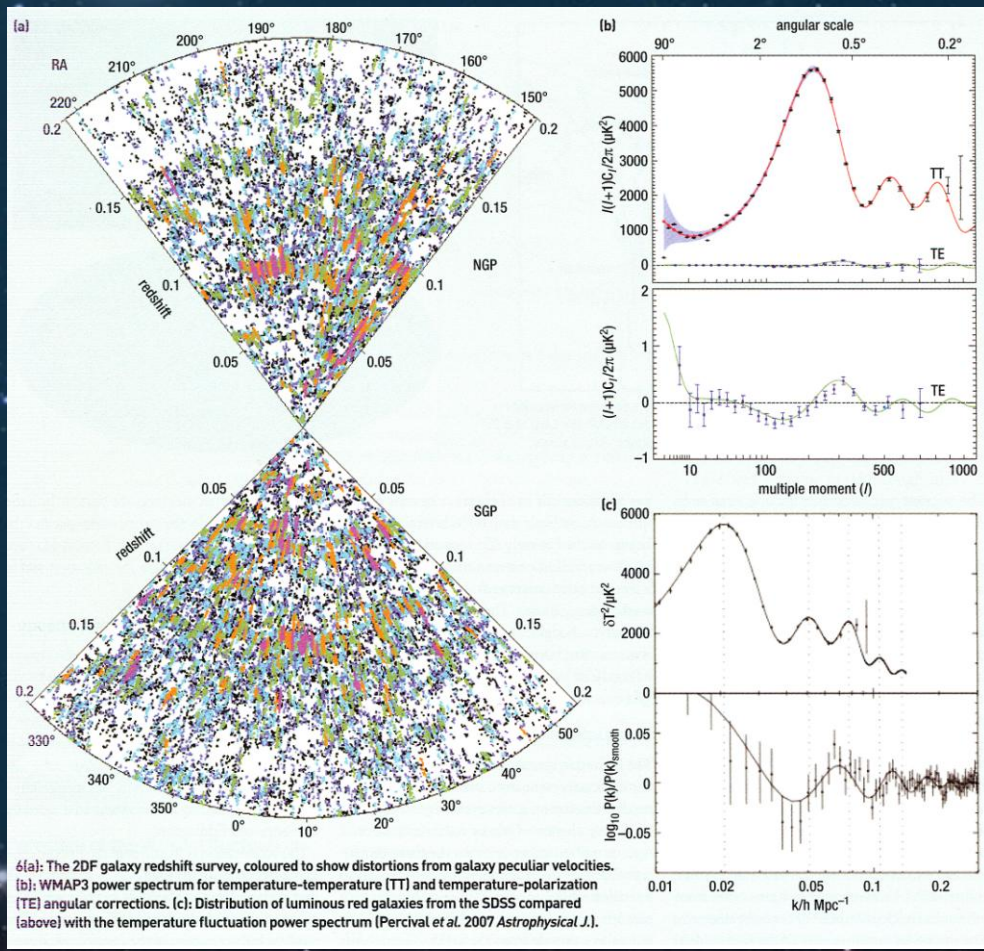
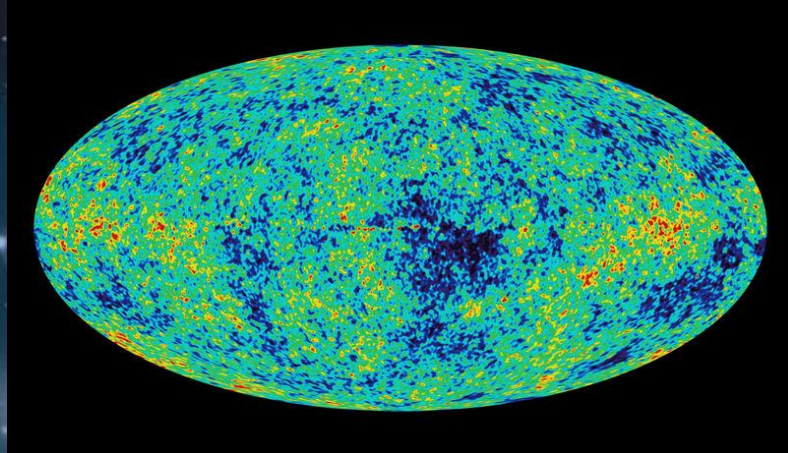


Гравитационное линзирование света далеких галактик гравитационным полем скопления.

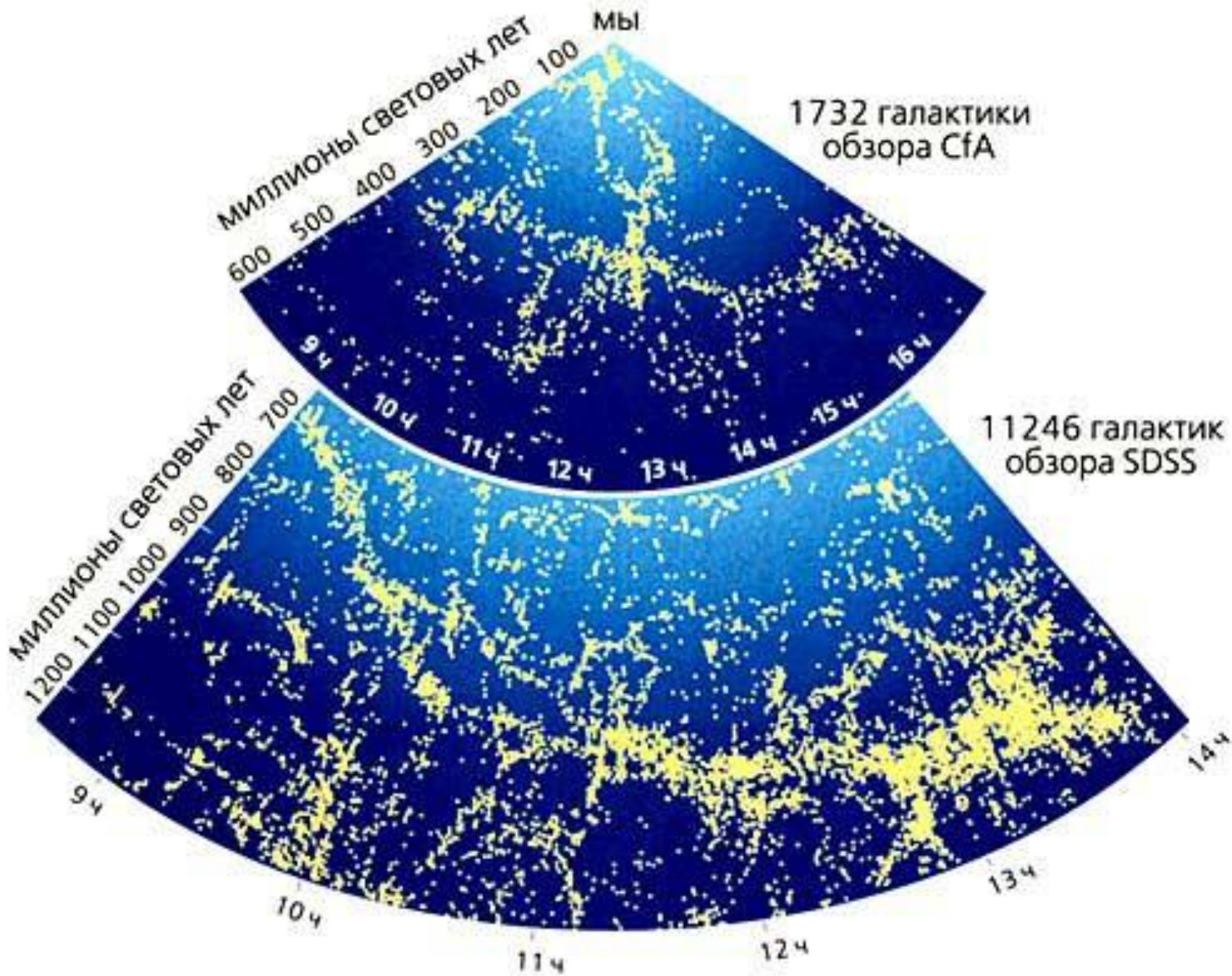


**Движения двойных,
тройных и кратных
галактик.**

Распределение пространственных флуктуаций реликтового трехградусного излучения.



Наблюдаемая крупномасштабная структура Вселенной: размеры скоплений галактик $\sim 5-10$ Мпс (15-30 млн. световых лет).



Имеется всего **около десятка** независимых свидетельств существования темной материи во Вселенной. Это эквивалентно тому, как если бы 10 независимых линий пересекались в одной точке (!).

Такова прочность эксперимен-
тального базиса современной
КОСМОЛОГИИ.

Гипотезы о природе темной материи.

- 1) Это не газ
(ионизованный или нейтральный)
- 2) Барионная форма
- 3) Небарионная форма.

Предполагаемое вещество темной материи

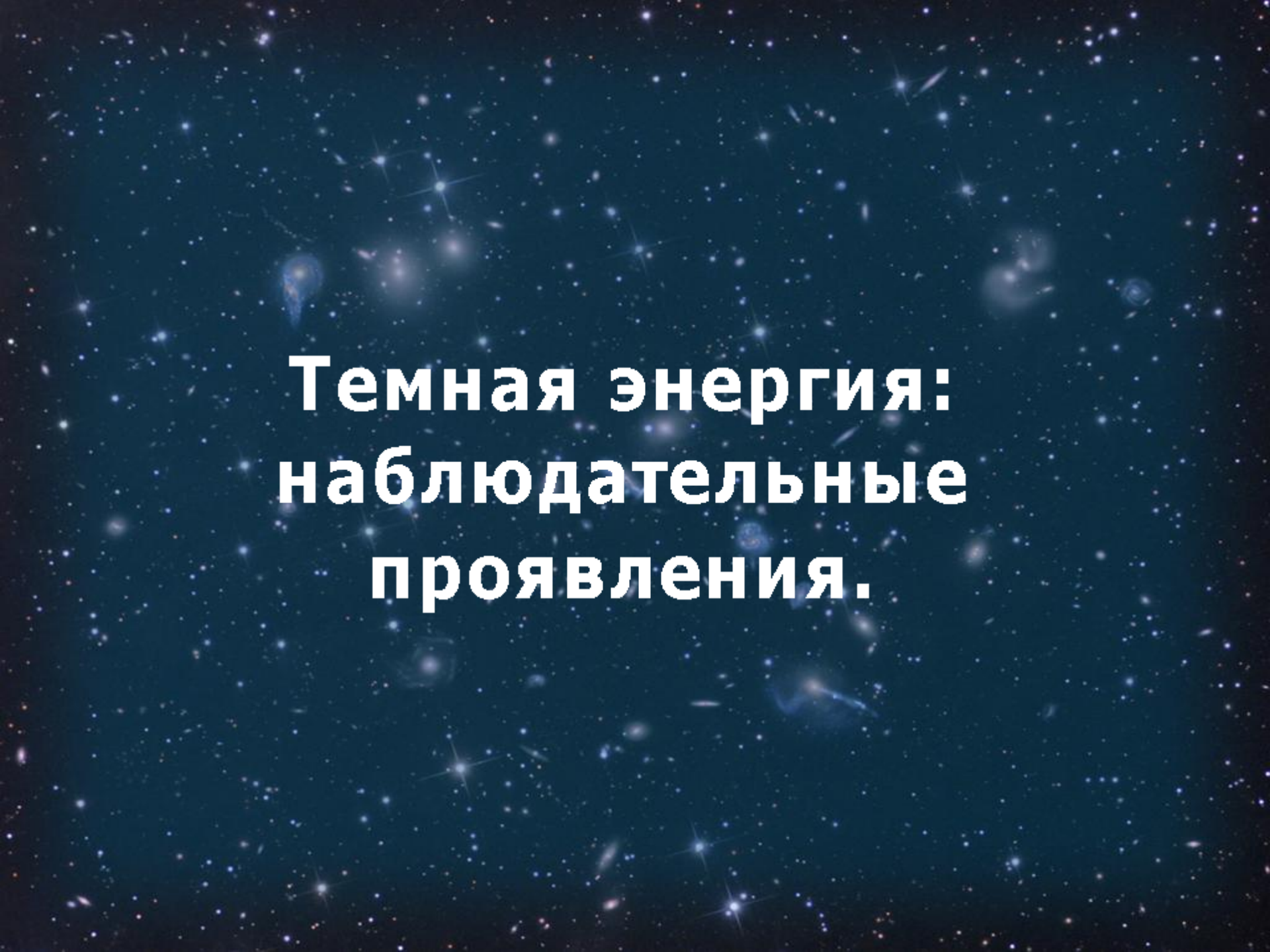
Барионная материя	Небарионная материя (элементарные частицы)
Нейтронные звезды	Нейтрино
Черные дыры	Аксионы
Коричневые карлики	Слабо взаимодействующие массивные частицы (WIMP)
Планеты типа Юпитера	Нейтралино
Астероиды	Суперсимметричные (SUSY) частицы
Холодные белые карлики	

Согласно результатам наблюдений гравитационного микролинзирования, барионная форма (МАСНО) составляет лишь 20% всей темной материи в Гало Галактики.

По-видимому, 80% темной материи в Гало – это небарионная форма: WIMP (слабовзаимодействующие массивные элементарные частицы, предсказываемые SUSY – суперсимметричной теорией)

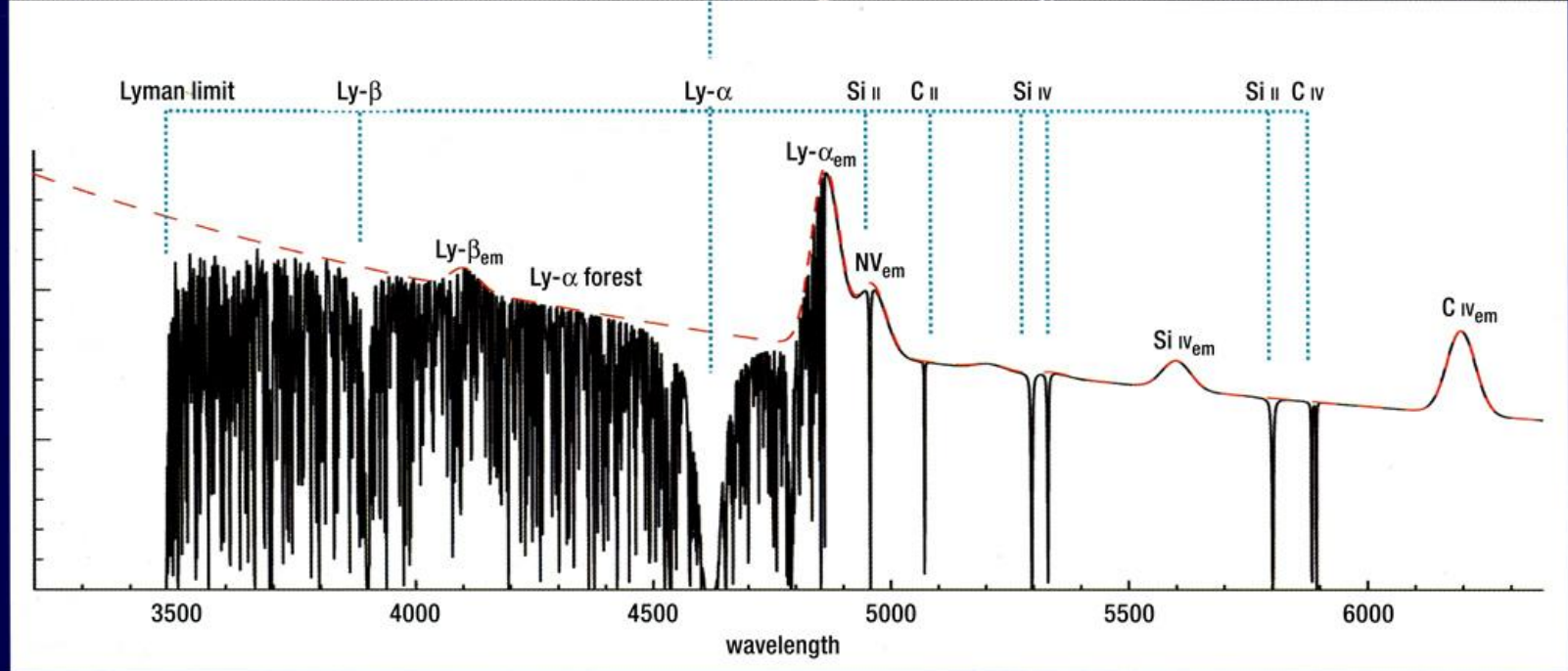
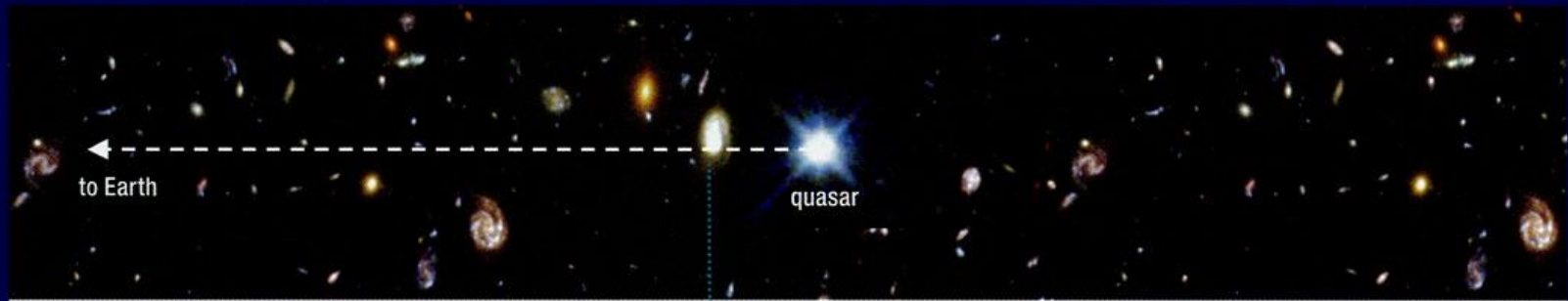
или нейтрально (маломассивные частицы предсказываемые теорией Великого объединения GUT).

Эксперименты на LHC возможно, позволят открыть эти частицы.



**Темная энергия:
наблюдательные
проявления.**

1) Ускоренное расширение Вселенной, обнаруженное по наблюдениям вспышек сверхновых звезд типа Ia (1998 год, Б.Смидт и А.Рейес, а также С.Перлмуттер).



1: QSO absorption (from J Webb). In a bright background QSO spectrum (emission lines marked in cyan), absorption occurs from a few foreground galaxies (one marked with strong Lyman lines from H I, and many heavy-element lines) and many from lower density regions where only Lyman lines are generally detectable.



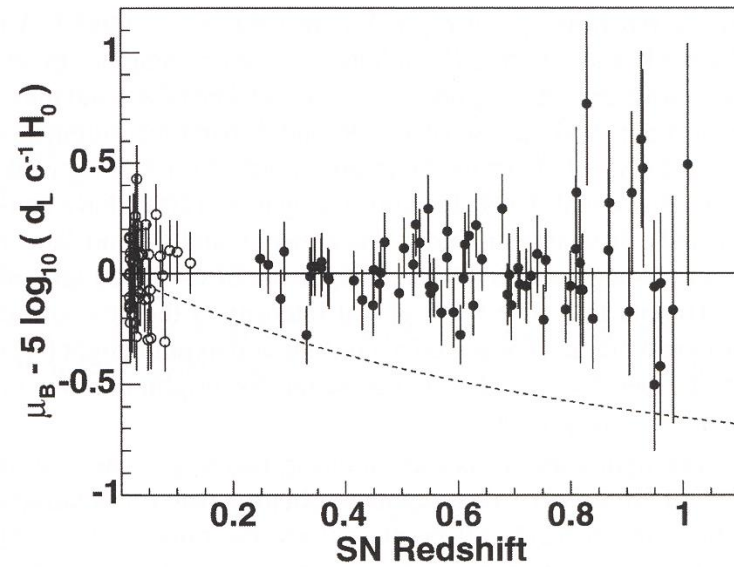
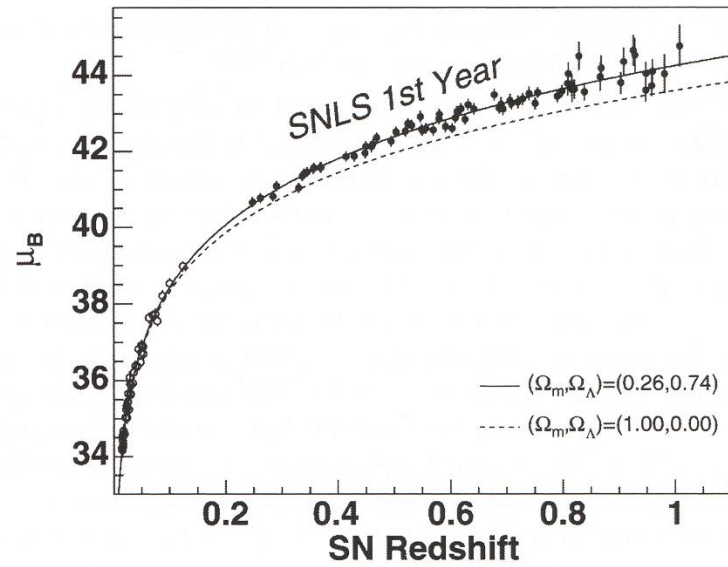
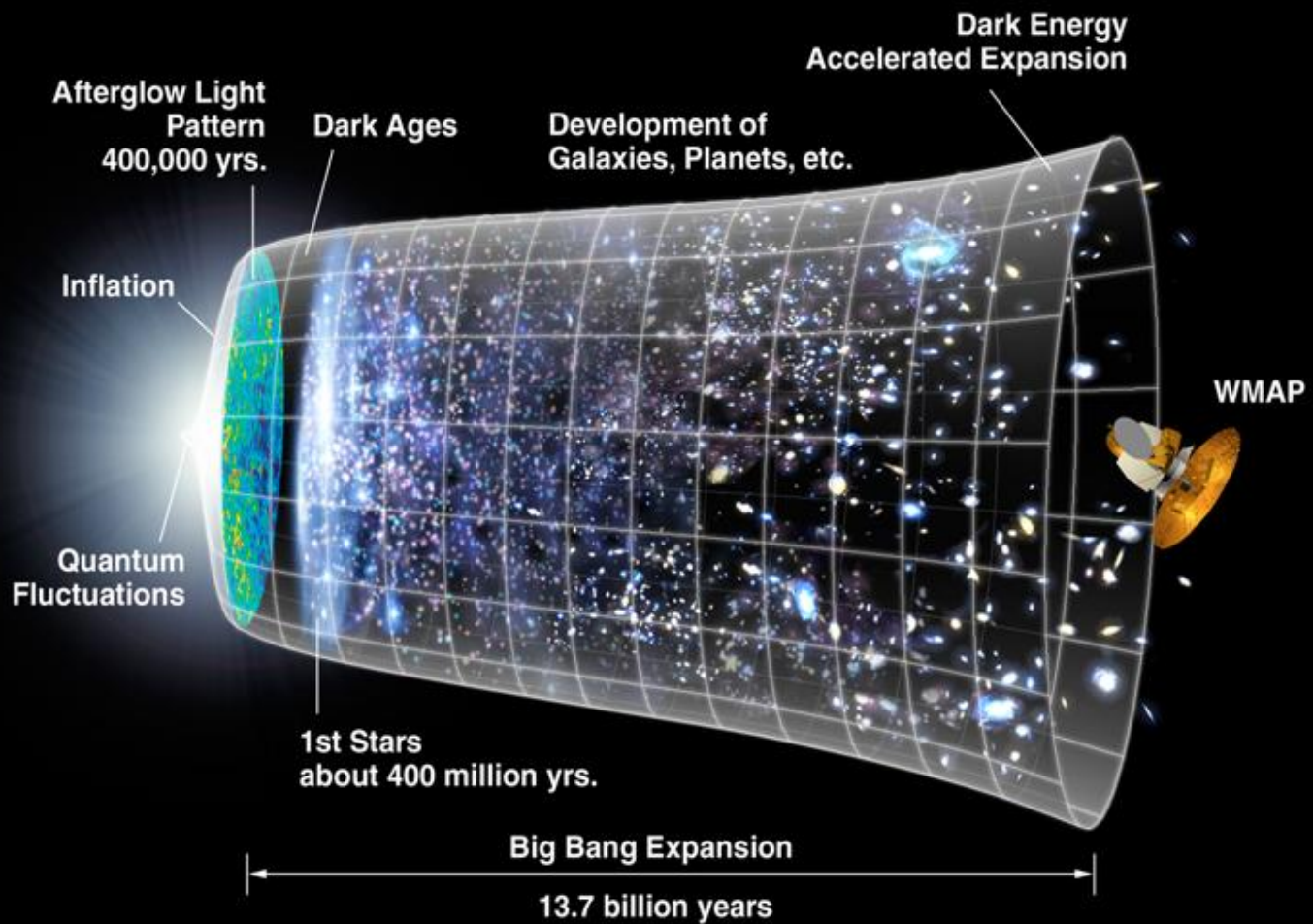
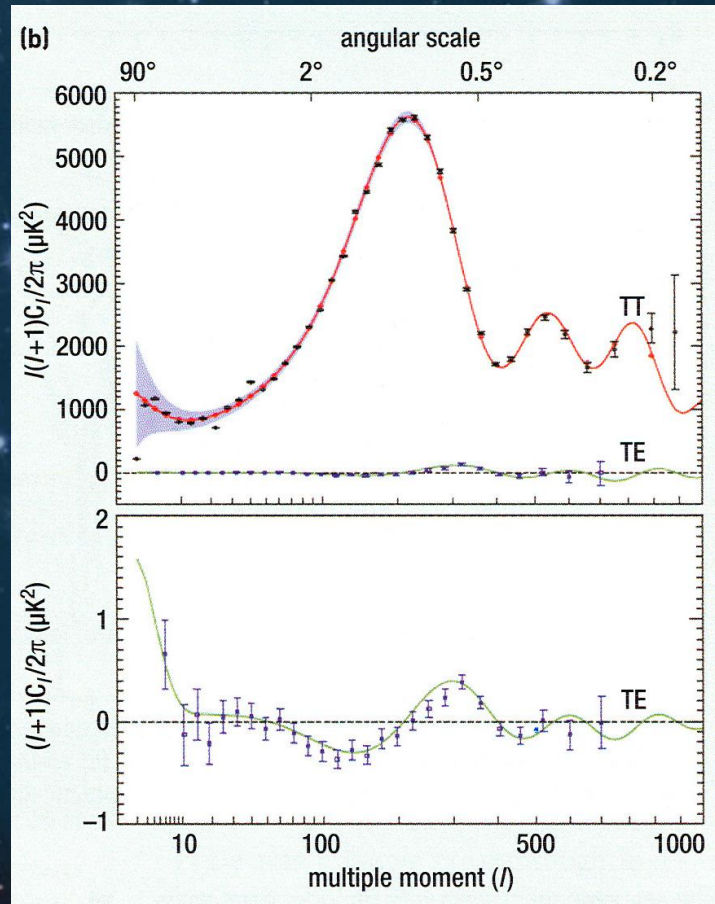
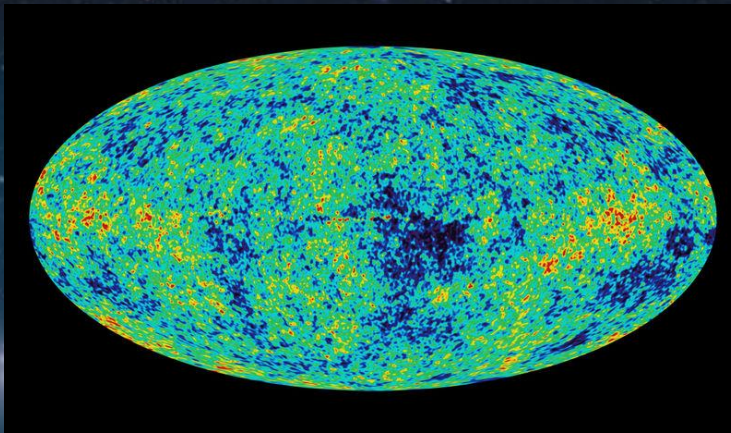


Fig. 4. Hubble diagram of SNLS and nearby SNe Ia, with various cosmologies superimposed. The bottom plot shows the residuals for the best fit to a flat Λ cosmology.



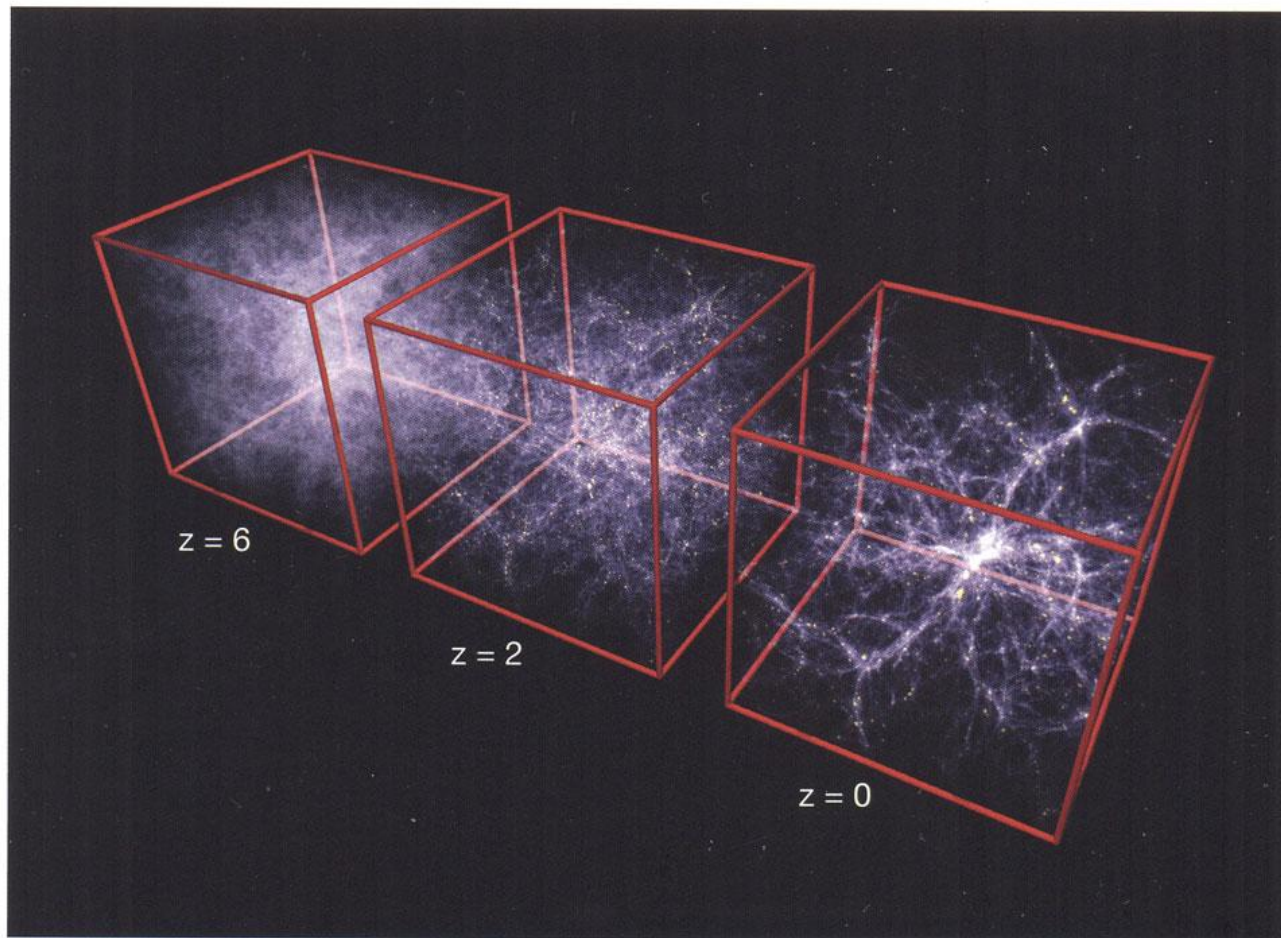
2) Анализ флуктуаций реликтового трехградусного излучения.



3) Исследование эволюции скоплений галактик с увеличением расстояния до них.

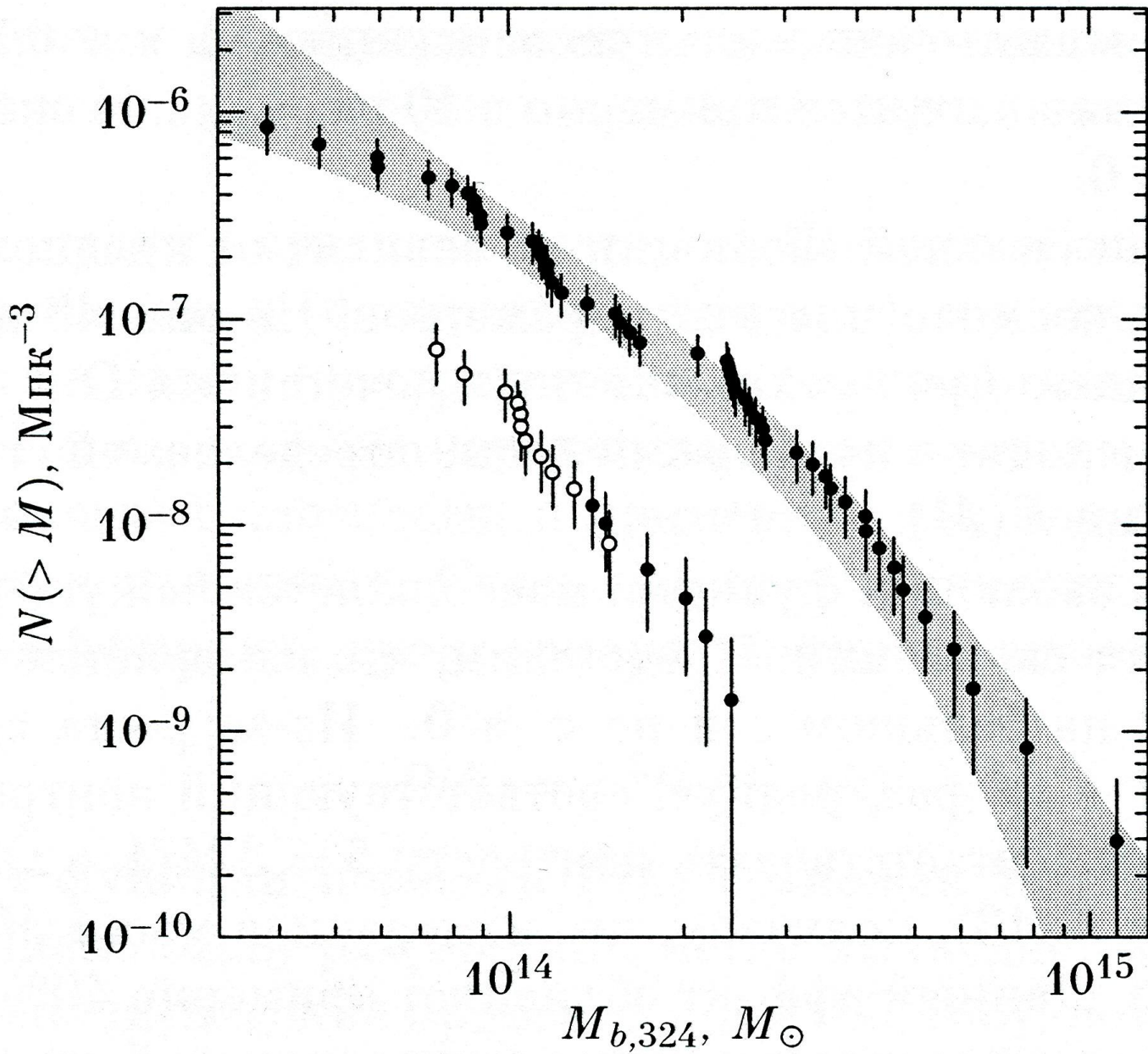
Нарастание первичных возмущений плотности в ранней Вселенной, определяющее распределение скоплений галактик по массам, зависит от вклада темной материи и темной энергии.

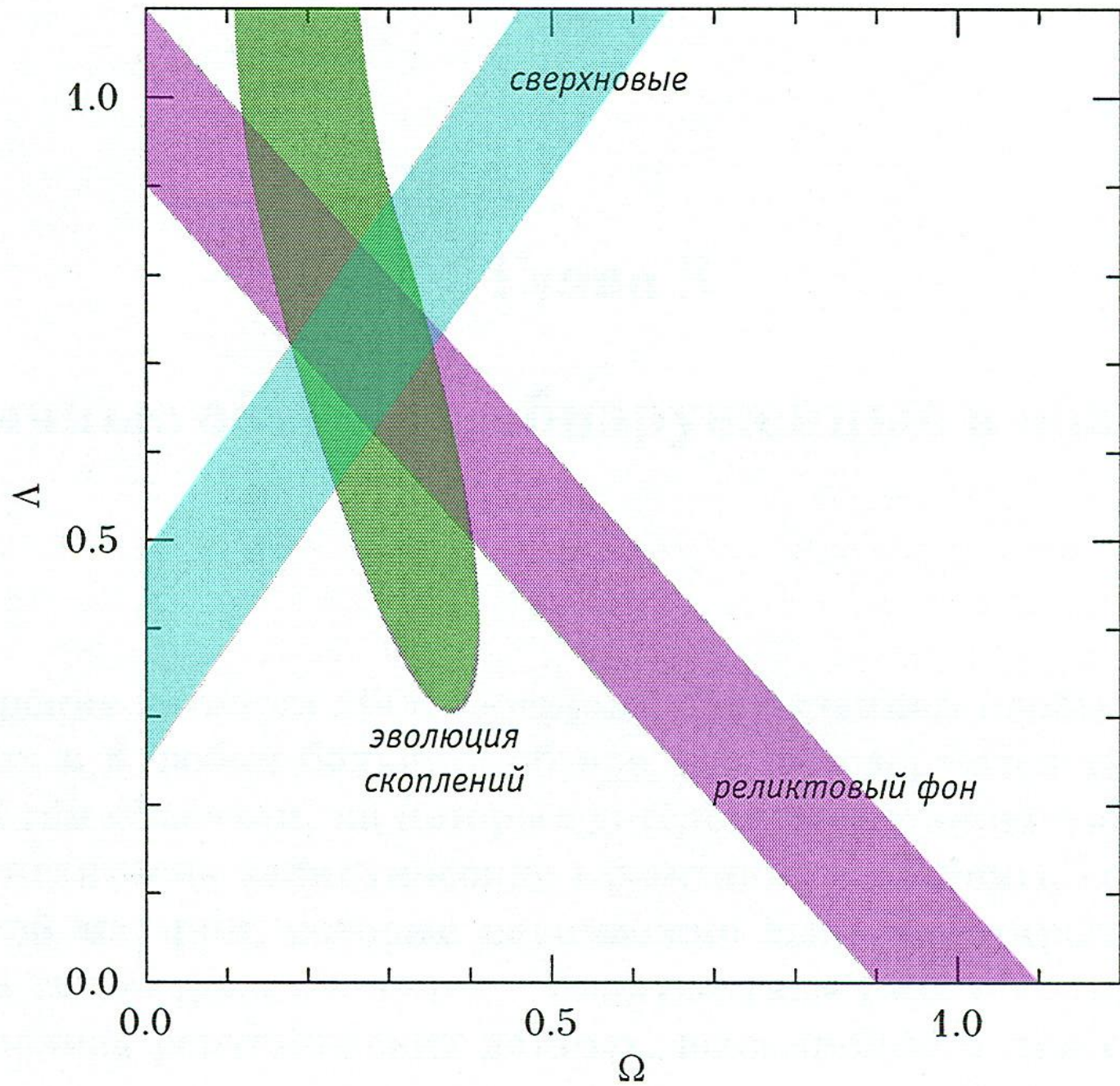
Изучая распределение скоплений галактик в зависимости от красного смещения, можно ограничить значения Ω и Λ , где Ω – вклад темной материи и барионного вещества, Λ – вклад темной энергии.



Credit: V. Springel et al. (MPA)

Computer simulation of the formation of structure in the Universe within a volume of 50 Mpc. The simulation starts at redshift $z = 6$, when the Universe was just a few percent of its present age and ends at the present age, $z = 0$. The rate at which structures grow in the Universe provides a way of measuring the strength of gravity.





Вывод:

Мы живем во Вселенной, темп расширения которой в настоящее время определяется темной энергией, а обычное вещество (элементарные частицы) вносит примерно 30% вклад в общую плотность энергии и на 90% состоит из небарионной материи (темной материи).

О природе темной энергии.

В отличие от темной материи, распределение которой коррелирует с распределением барионного вещества, темная энергия распределена равномерно в пространстве и не испытывает гравитационного сгущивания.

Темная энергия, в отличие от обычной материи обладает отрицательным давлением:

$$p = -w\varepsilon ,$$

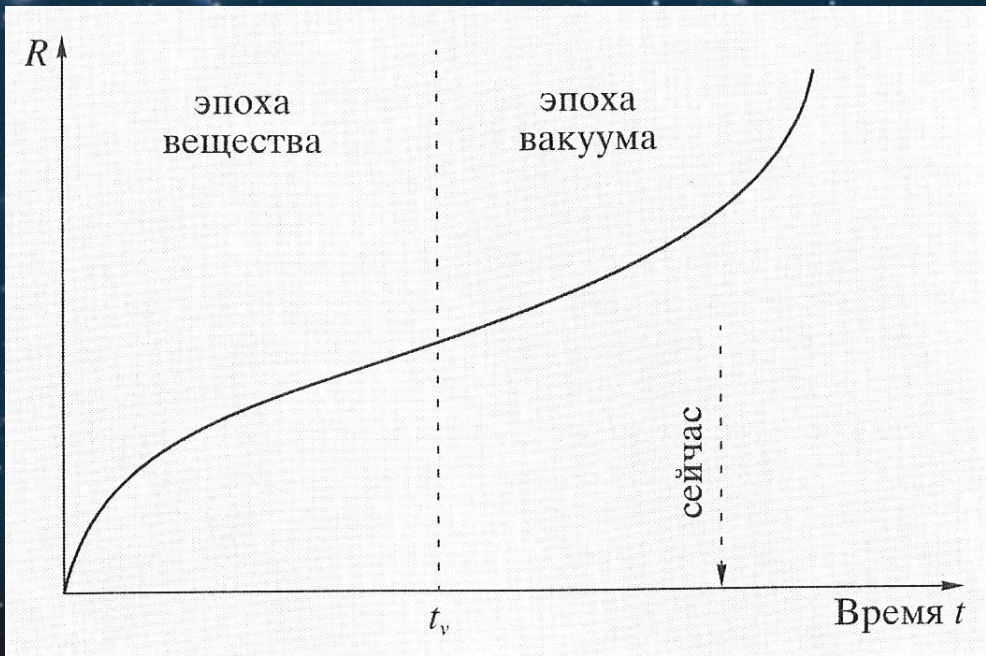
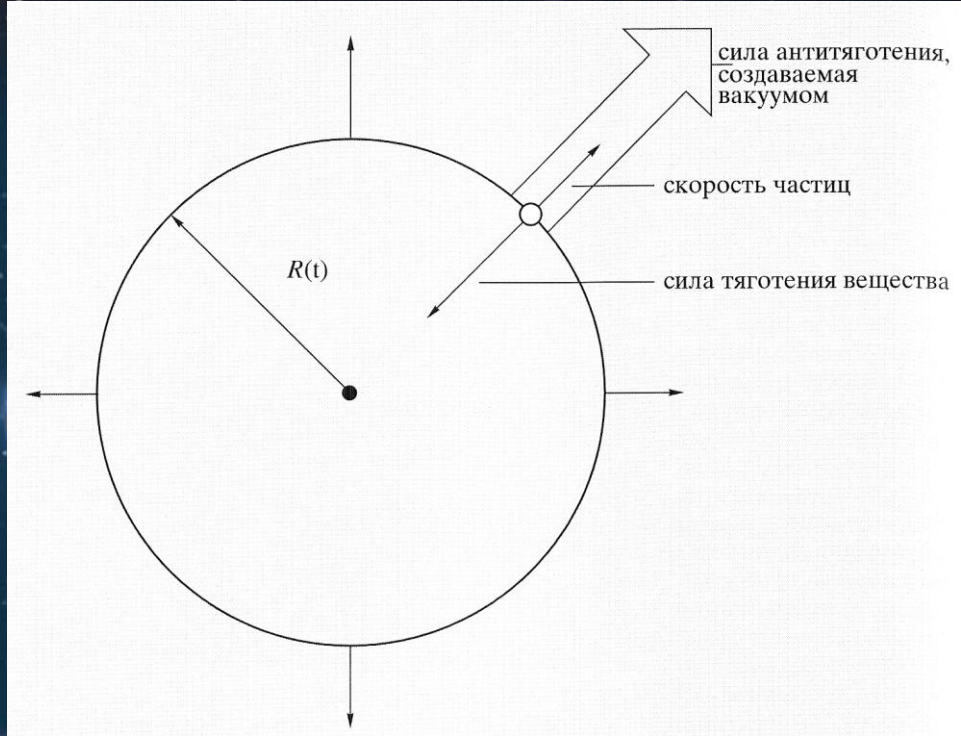
где $\varepsilon = \rho c^2$ плотность энергии. Как следует из наблюдений, коэффициент w близок к единице.

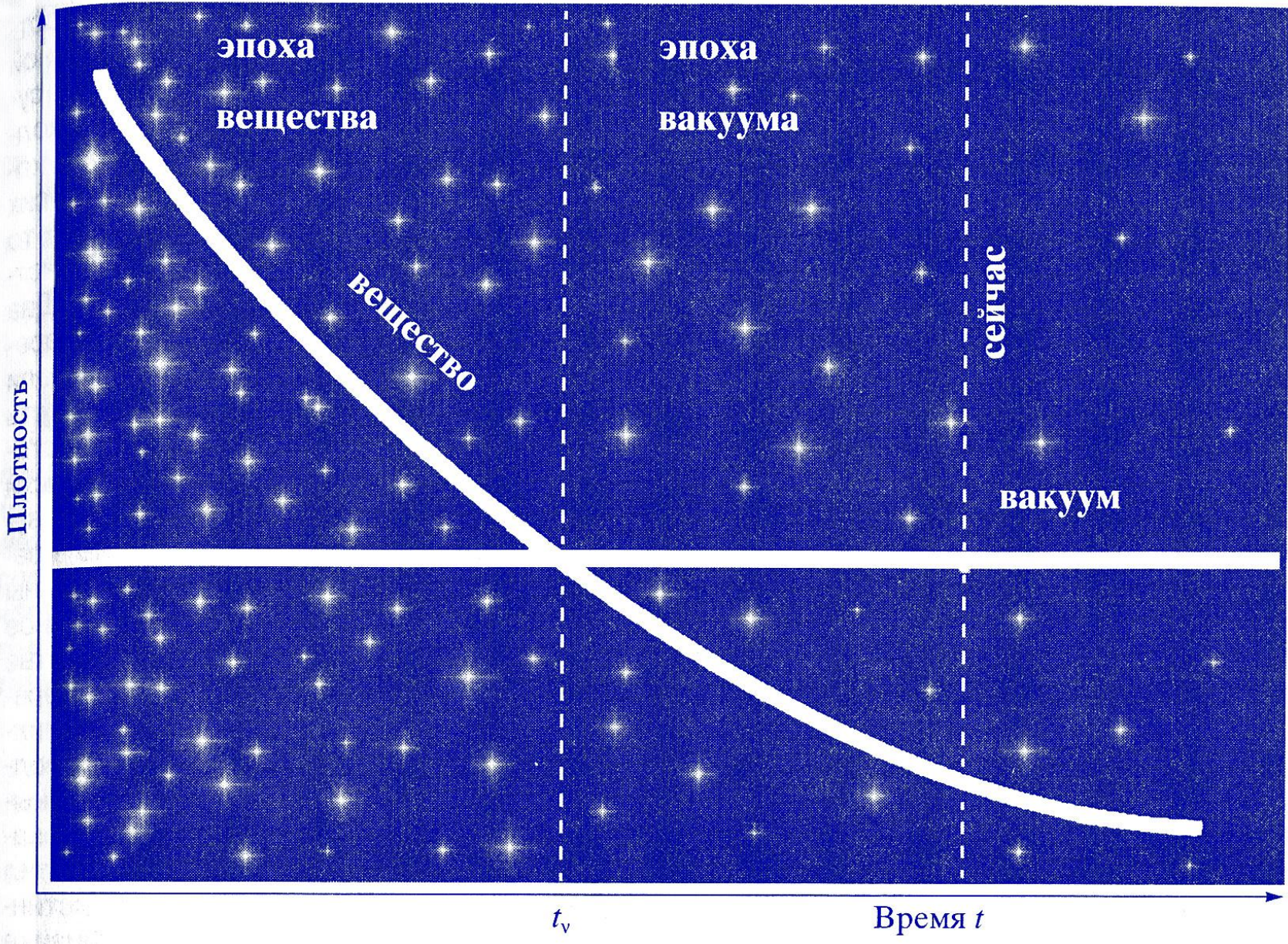
Согласно Общей теории относительности А.Эйнштейна (ОТО) тяготение создается не только плотностью среды ρ , но и ее давлением p в комбинации

$$\rho + \frac{3p}{c^2} .$$

В случае темной энергии, поскольку давление p отрицательно, эффективная гравитирующая энергия равна -2ρ и отрицательна (при положительной плотности ρ).

Поэтому темная энергия создает не тяготение, а антитяготение, то есть гравитационное отталкивание. Это приводит к ускоренному расширению Вселенной в нашу эпоху.





Чёрные дыры и кротовые норы





Фотонная сфера

Сингулярность

Горизонт событий



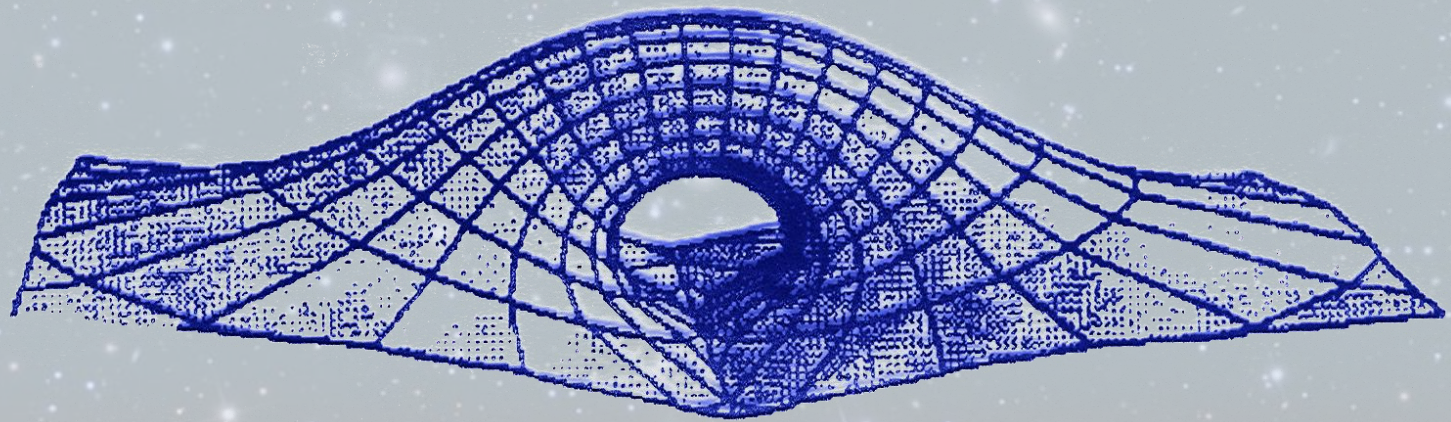
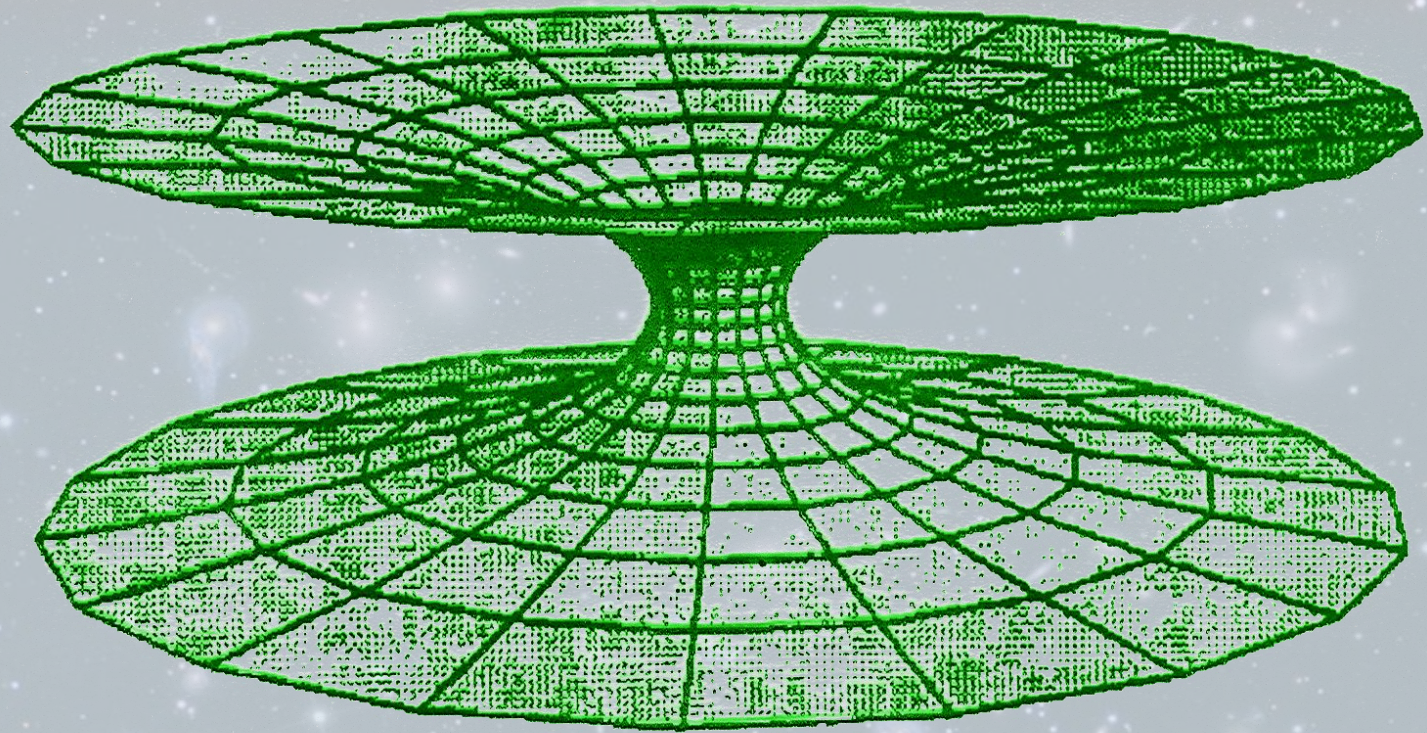
Эргосфера



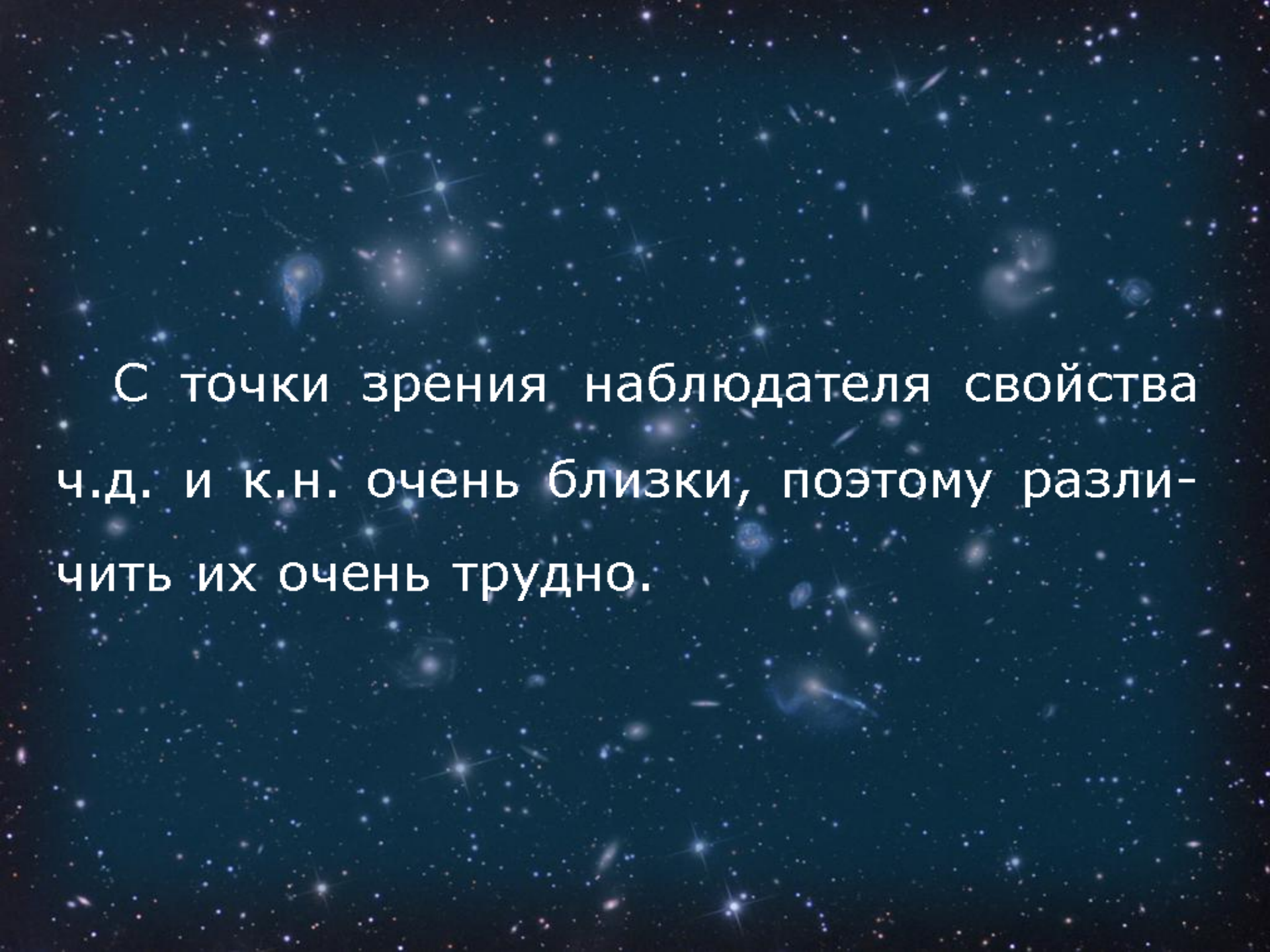
Ось вращения

Для обнаружения черной дыры (ч.д.) необходимо измерить массу объекта M , его радиус r и показать, что $r = r_g = \frac{2GM}{c^2}$.

Кроме того, необходимо показать, что объект не имеет наблюдаемой поверхности, а имеет лишь горизонт событий, радиус которого $r_h = r_g$ для невращающейся ч.д. и $r_h < r_g$ для вращающейся ч.д.



Для обнаружения кротовой норы (к.н.) необходимо найти массу объекта M , измерить его радиус r и показать, что $r \approx r_g = \frac{2GM}{c^2}$. Кроме того, необходимо показать, что объект не обладает наблюдаемой поверхностью, а также что у него нет горизонта событий.



С точки зрения наблюдателя свойства ч.д. и к.н. очень близки, поэтому различить их очень трудно.

К счастью, в силу различия метрики пространства – времени ч.д. и к.н. лучи света далеких звезд фона отклоняются в гравитационных полях ч.д. и к.н. по-разному. Поэтому ч.д. и к.н. звездных масс можно различить по эффектам гравитационного микролинзирования.

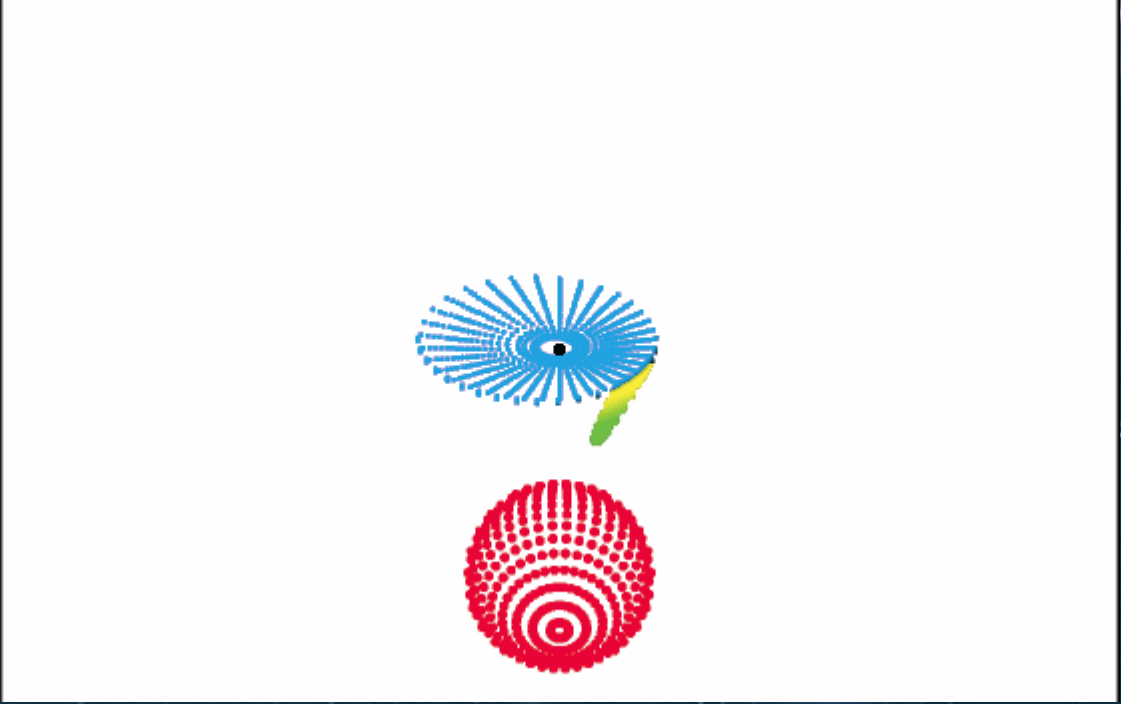
Кроме того, к.н. может обладать моно-
польным магнитным полем и наблюдае-
мой структурой на масштабах $r < r_g$.

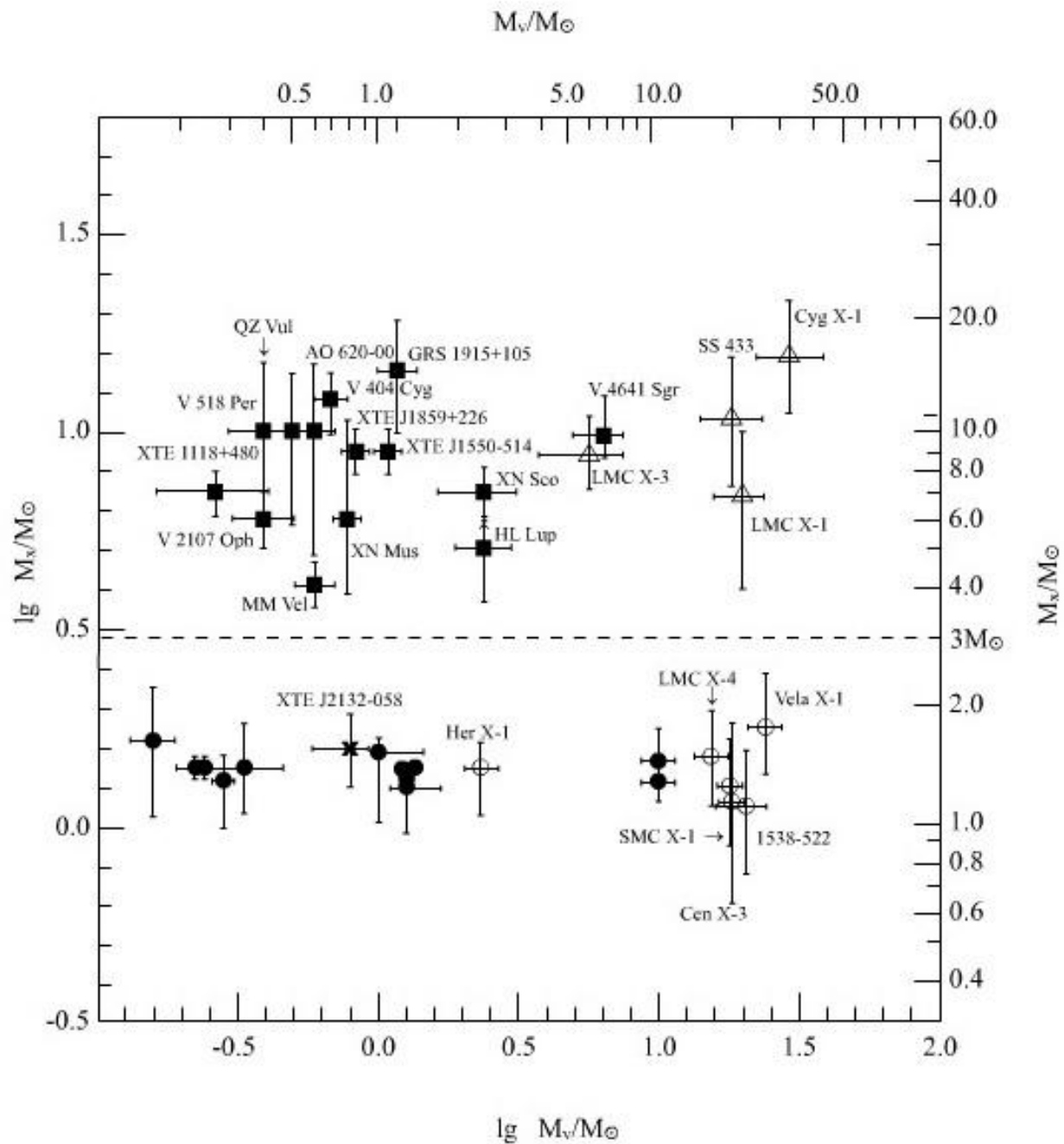
Наблюдения черных дыр

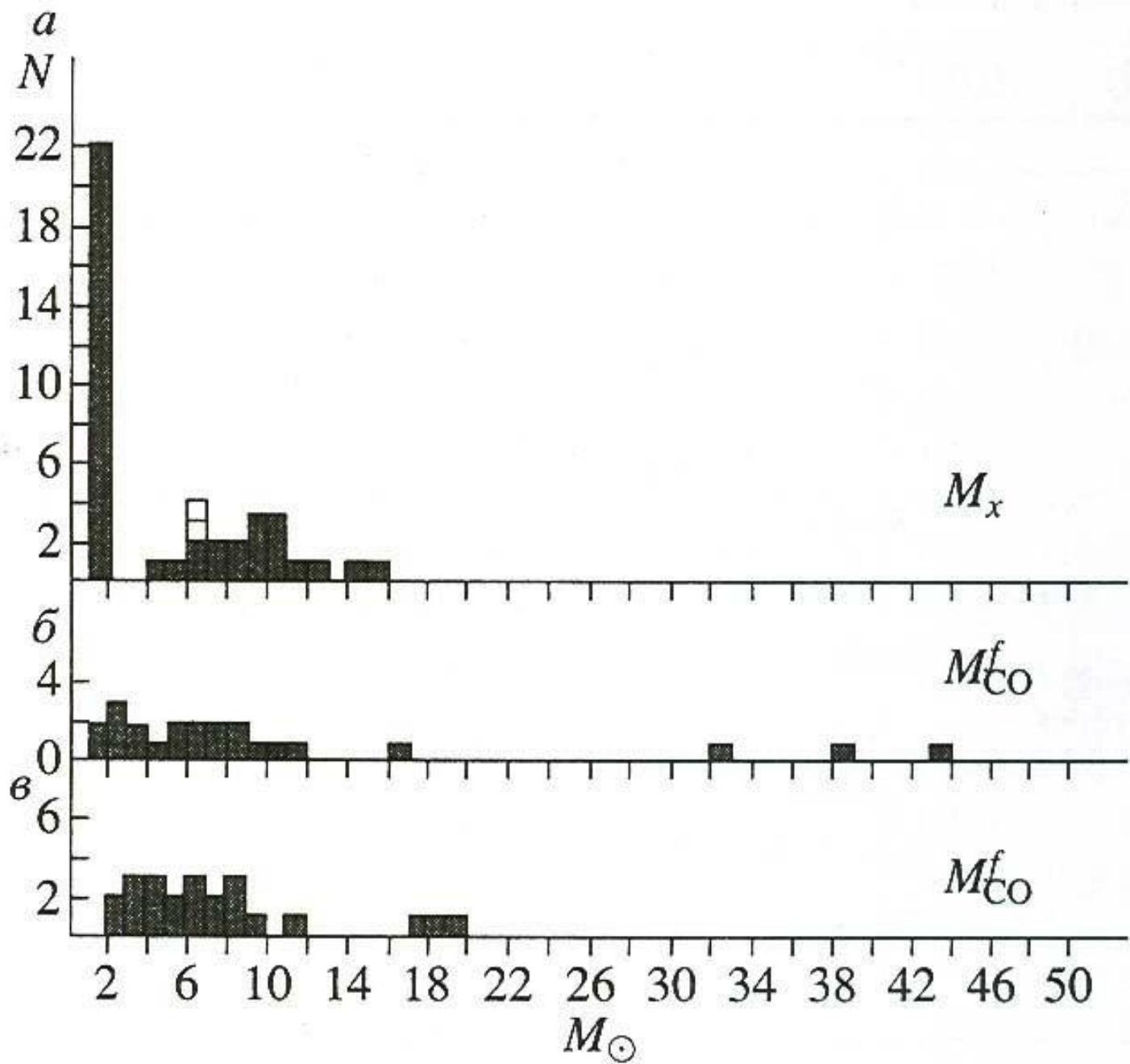
К настоящему времени открыто 20 ч.д. звездных масс ($M_x > 3M_\odot$) в двойных системах, более 300 сверхмассивных ч.д. в ядрах галактик ($M_x = 10^6 \div 10^9 M_\odot$) и 3 одиночные ч.д. звездных масс ($M_x = 6 \div 8M_\odot$) по эффектам гравитационного микролинзирования.

Ч.д. звездных масс открываются по их движению в двойных системах (измеряются их массы) и по быстрой ($\Delta t \leq 10^3$ сек) переменности рентгеновского излучения, формирующегося при аккреции вещества на них ($r < 10 \div 100 r_g$).

До сих пор не доказано наличие горизонтов событий у известных кандидатов в ч.д. Нужны специальные космические и наземные эксперименты (космические интерферометры, гравитационно-волновые телескопы и т.п.).







Сверхмассивные ч.д. отрываются в ядрах галактик по движению газа и звезд вблизи них.

Ч.д. в ядре нашей галактики
($M_x = 3.7 \cdot 10^6 M_{\odot}$).

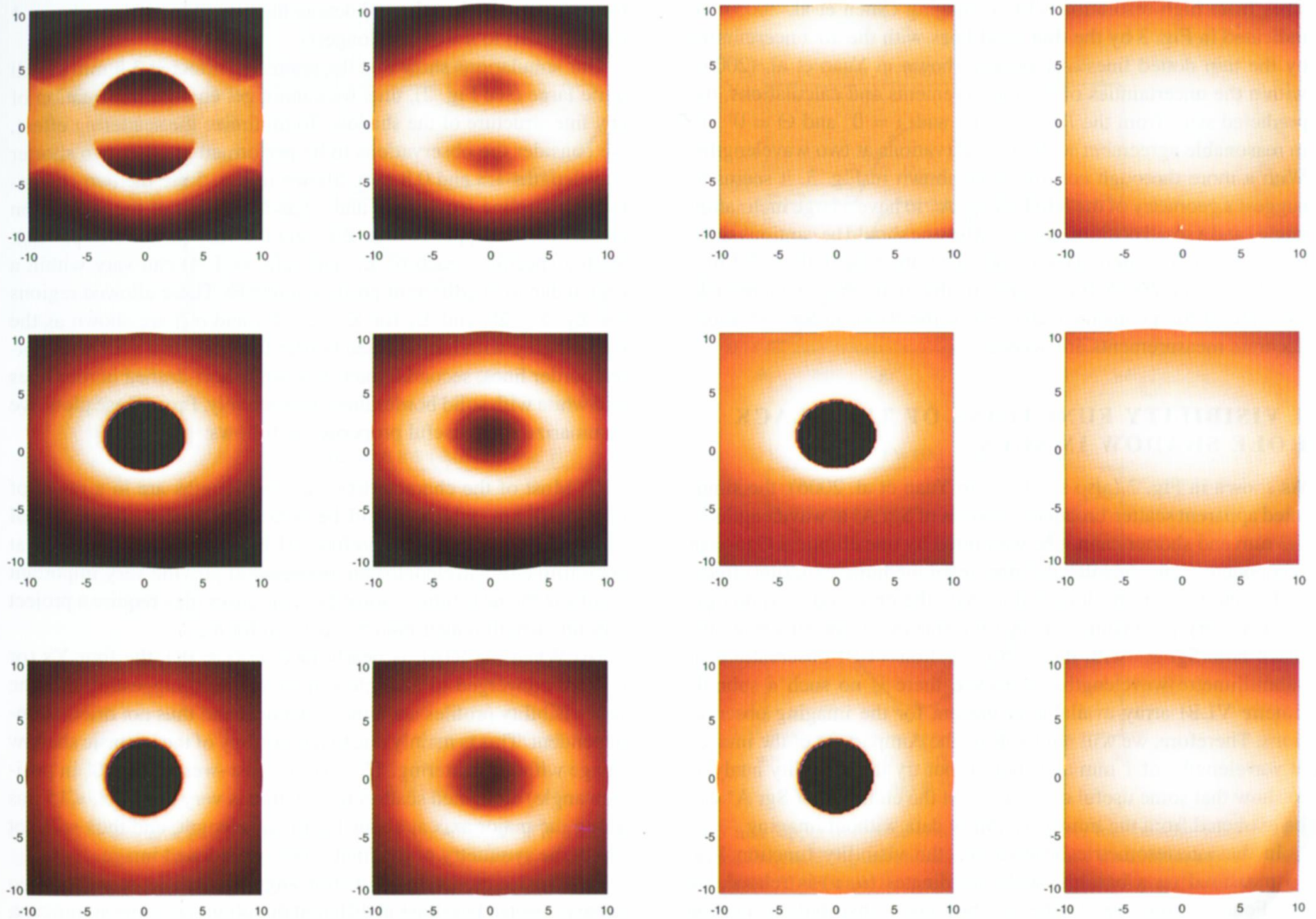


Figure 2. Simulated images of the RIAF of Sgr A* with $\Theta = 0^\circ$ and $i = \pi/2, \pi/4, 0$ (from top to bottom) at wavelengths of 1.3 mm (left two columns of panels) and 3.5 mm (right two columns of panels). For each of the two columns at two wavelengths, right-hand one is obtained by convolving the left-hand one (GR ray-tracing result) with the interstellar scattering. In each panel, the intensity is normalized to itself to show detailed structure. The units in the X- and Y-axes are gravitational radius r_g , which is 6×10^{11} cm or $5 \mu\text{as}$ for Sgr A* with $4 \times 10^6 M_\odot$ mass at 8 kpc distance.

NGC 6946 galaxy



Радиусы сверхмассивных ч.д. оцениваются путем прямых наблюдений с высоким угловым разрешением ($r < 13r_g$ для нашей Галактики на $\lambda = 3.5$ мм).

Сверхмассивные Ч.Д. > 300

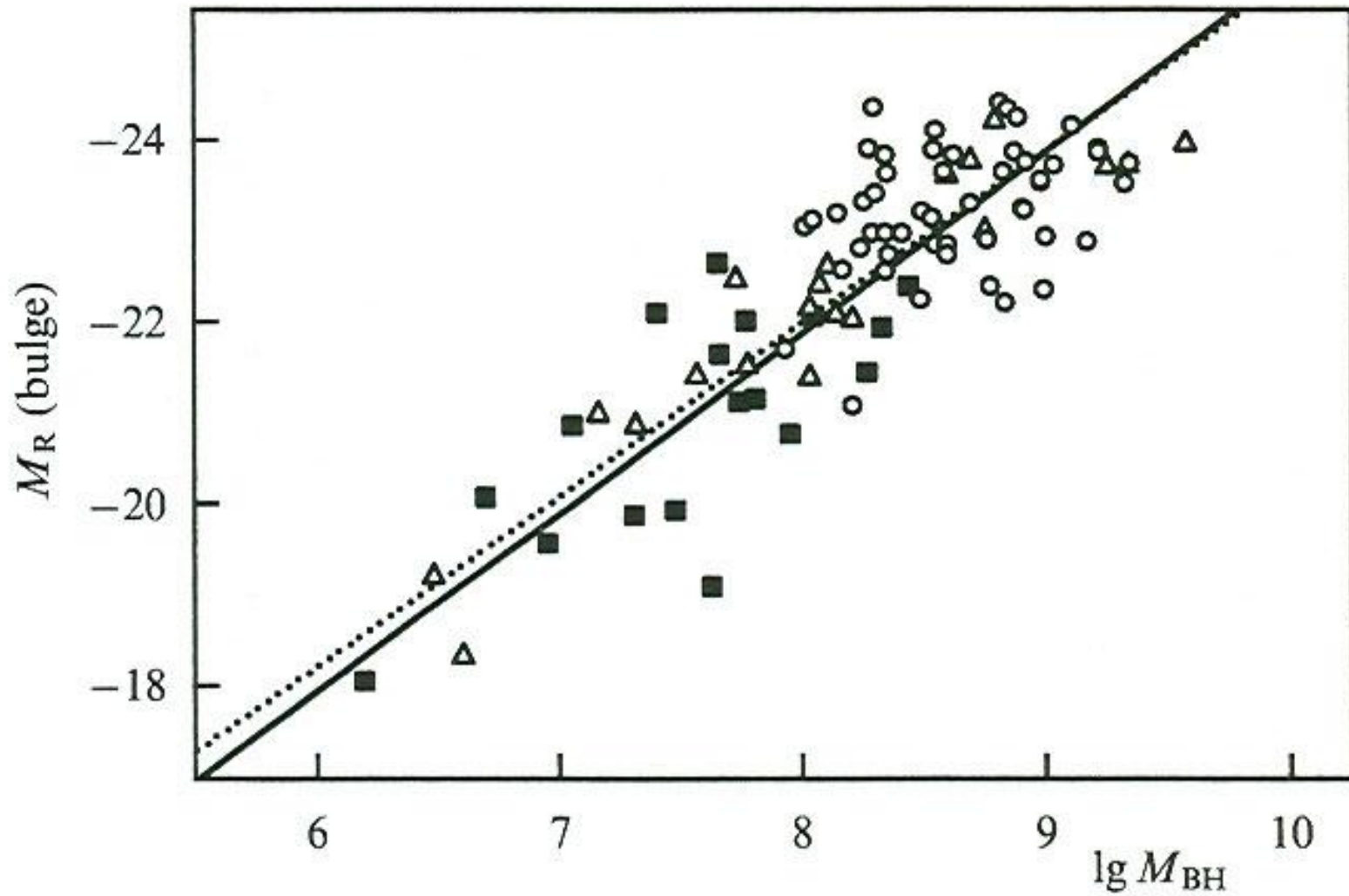
Корреляции:

$$M_x \approx 0.001 M_{\text{балдж}}$$

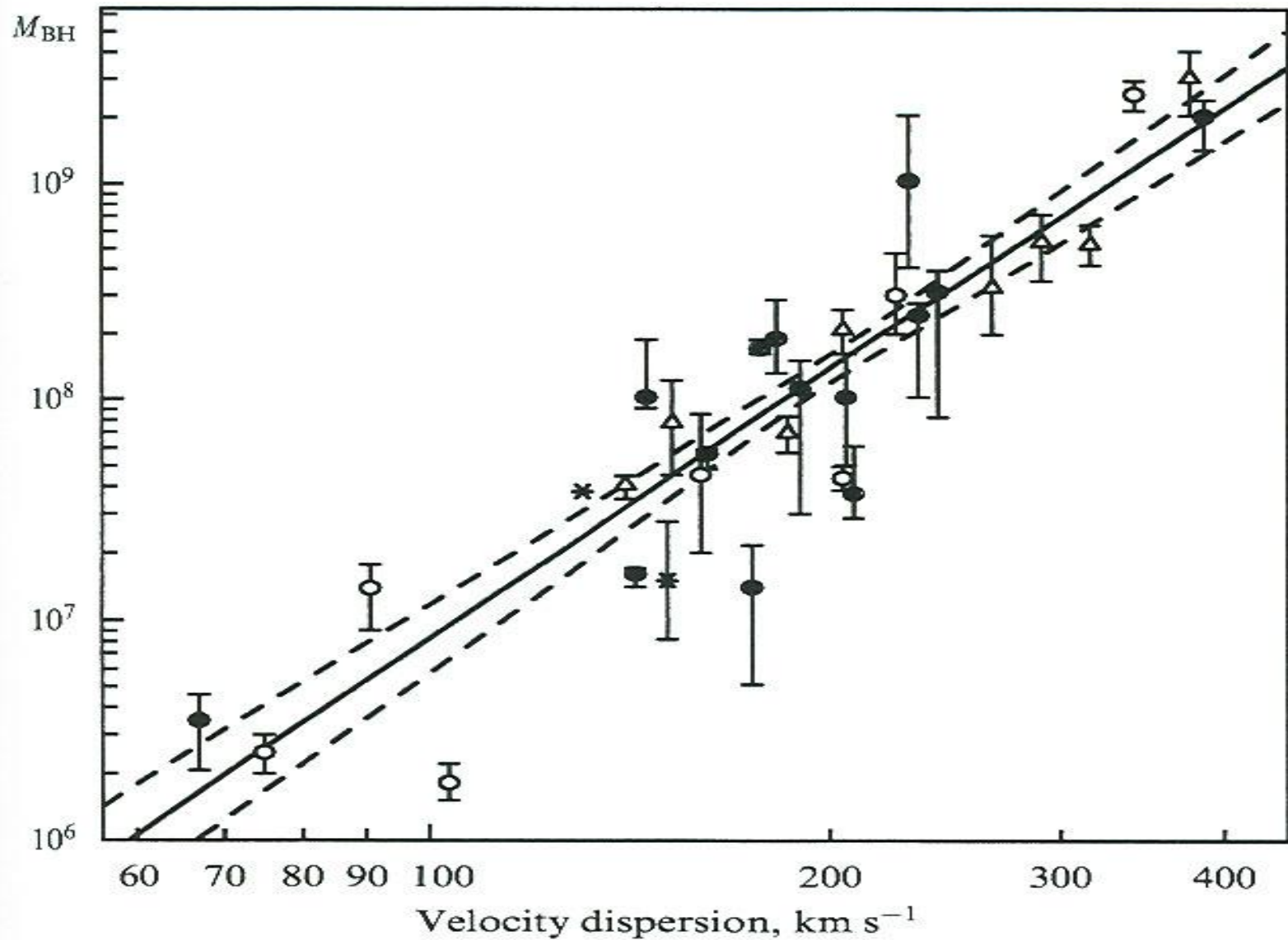
$$m_x \sim \sigma_{\text{балдж}}^4$$

$$m_x \sim M_{\text{гало}}^{1.27}$$

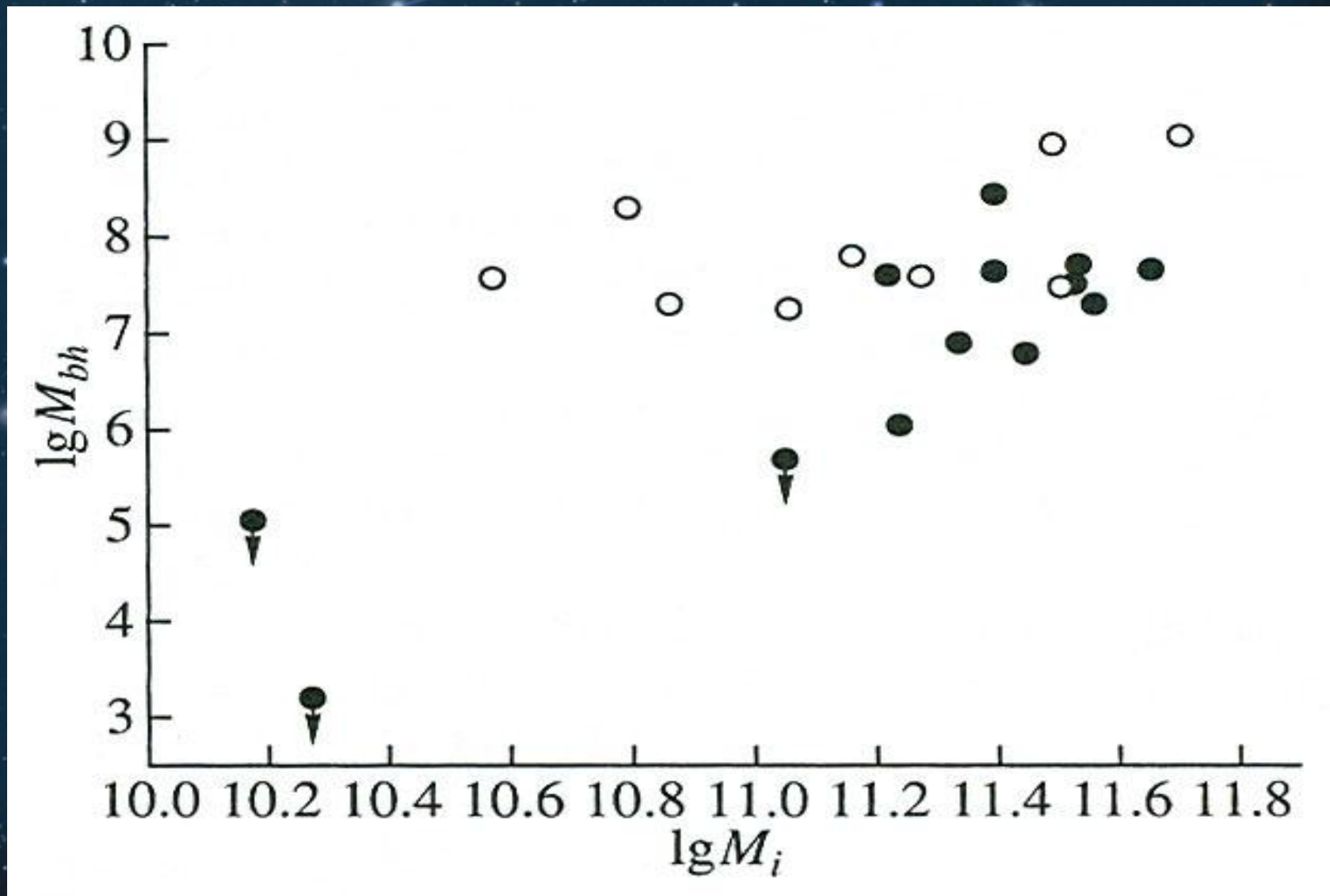
BH Mass $\sim M_{\text{bulge}}^{0.95}$



BH Mass $\sim \sigma^4$



open circles – high-mass bulge galaxies
filled circles – low-mass bulge galaxies



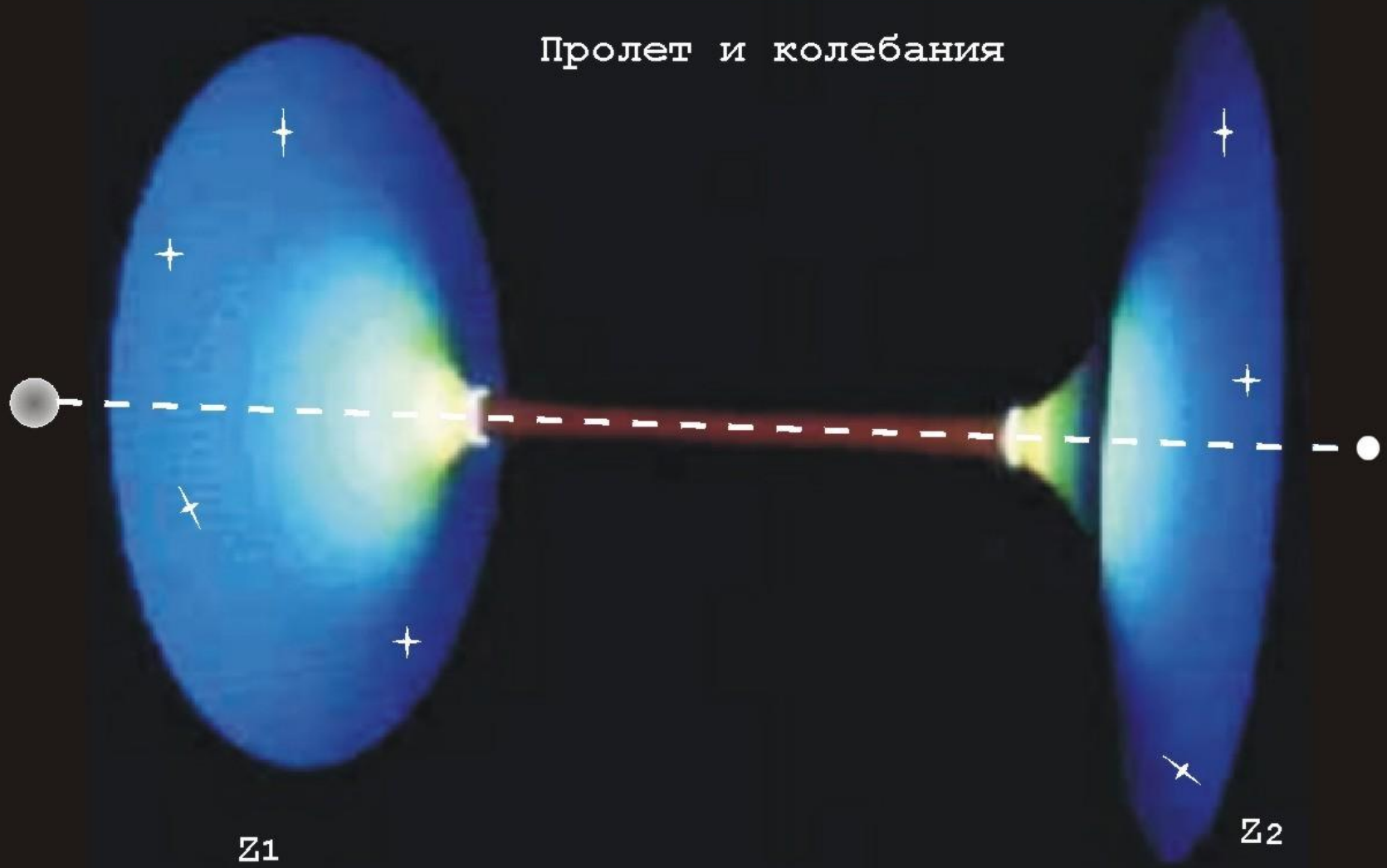
Поиски кротовых нор.
Кардашёв, Новиков, Шацкий,
АЖ, 2006.

10 характерных отличий наблюдательных проявлений к.н. (Кардашёв):

Отличия КН от ЧД

1. Нет горизонта событий (всё видно насквозь).
2. Излучение и частицы проходят в обе стороны.
3. Красное и синее смещение.
4. Сквозное и внешнее гравитационное линзирование.
5. Периодические радиальные орбиты.
6. Радиальное магнитное поле, может доминировать и на больших расстояниях.
7. Дипольное электрическое поле при вращении (односторонние выбросы, структура выбросов).
8. Нет эффекта Хокинга (минимальная масса КН, магнитные ЧД и монополи, эволюция КН).
9. Двойные системы (магнито-дипольное излучение, гравитационное излучение, слияние, γ -всплески).
10. Космологическая эволюция с ПКН и ПЧД.

Пролет и колебания



Z1

Z2

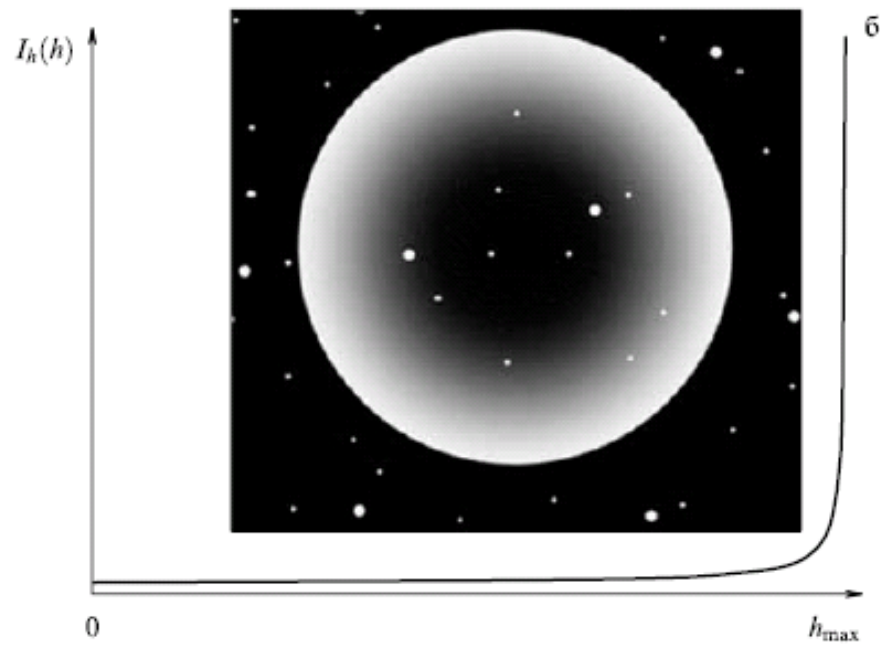
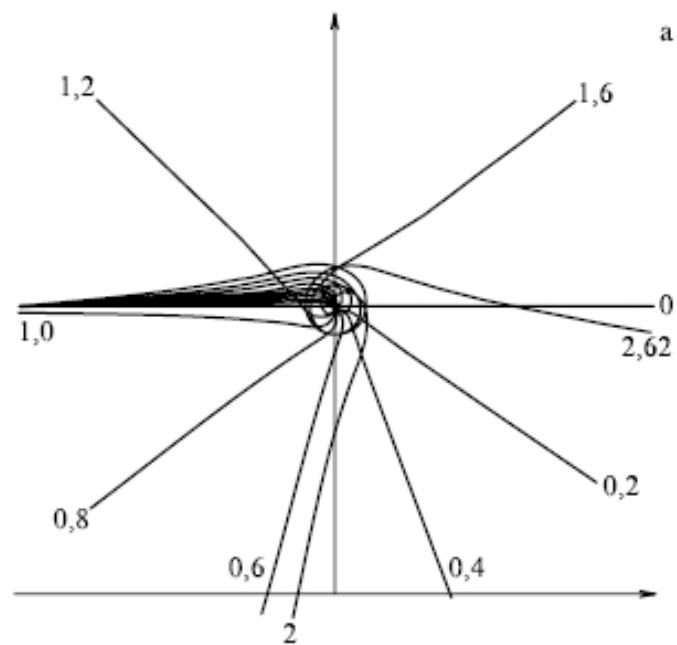


Рис. 3. (а) Отклонение фотонов, проходящих через горловину КН (числами показаны величины прицельных параметров). (б) Зависимость интенсивности света I_h , проходящего через горловину КН, от прицельного параметра h .

Масса объекта – гравитационной линзы пропорциональна квадрату длительности явления микролинзирования. Таким образом открыты 3 одиночные ч.д. звездных масс:

$$M_x = 6 \div 8 M_{\odot}.$$

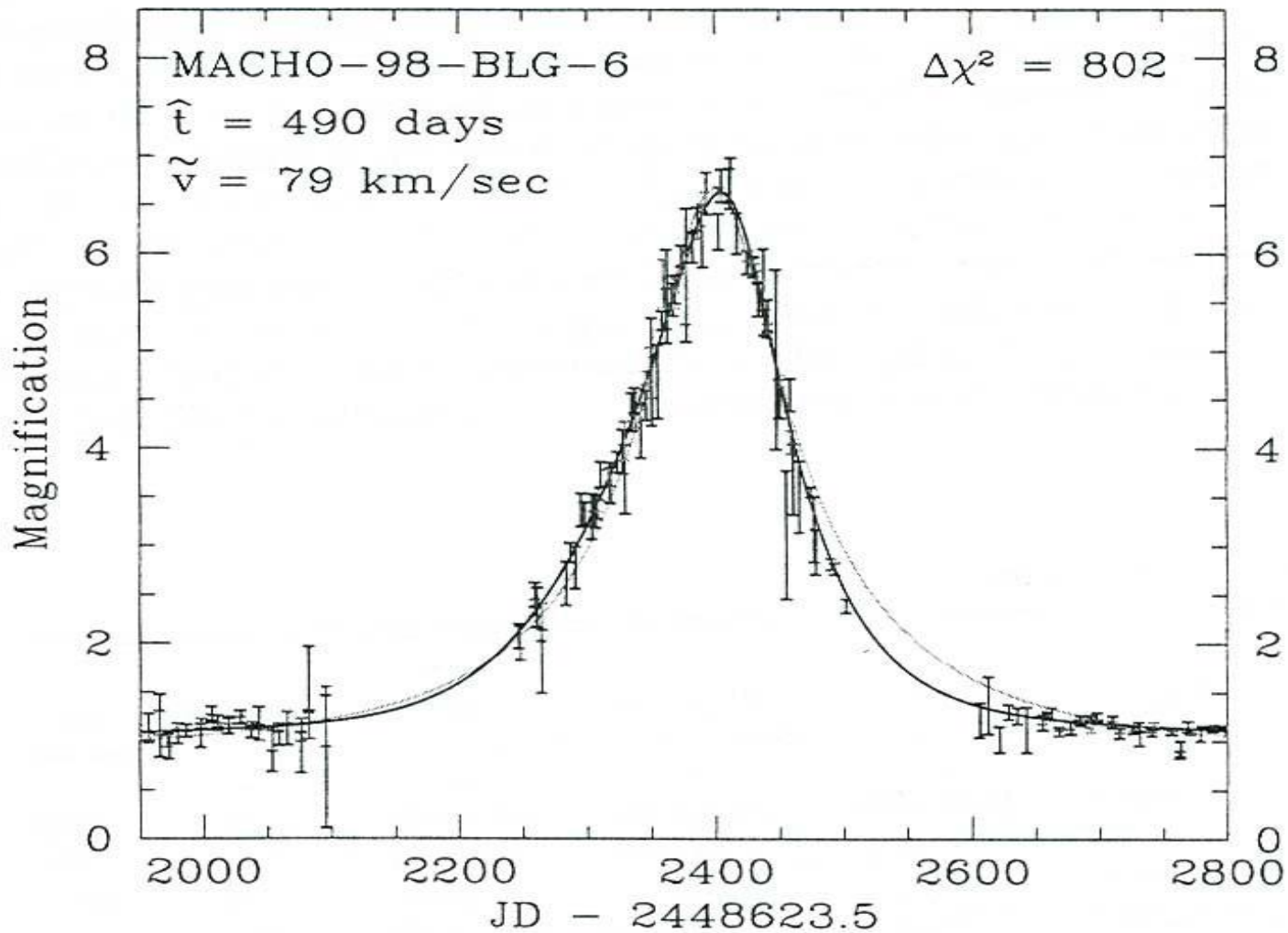


Fig. 16. MACHO-98-BLG-06 microlensing light curve (D.P.Bennett et al., 2002)

Кривые гравитационного микролинзирования, а также изменения цвета и поляризации излучения звезды фона (ненулевых угловых размеров) при микролинзировании для ч.д. и к.н. различаются (Богданов и Черепашук, 2003). Это дает возможность идентифицировать к.н.

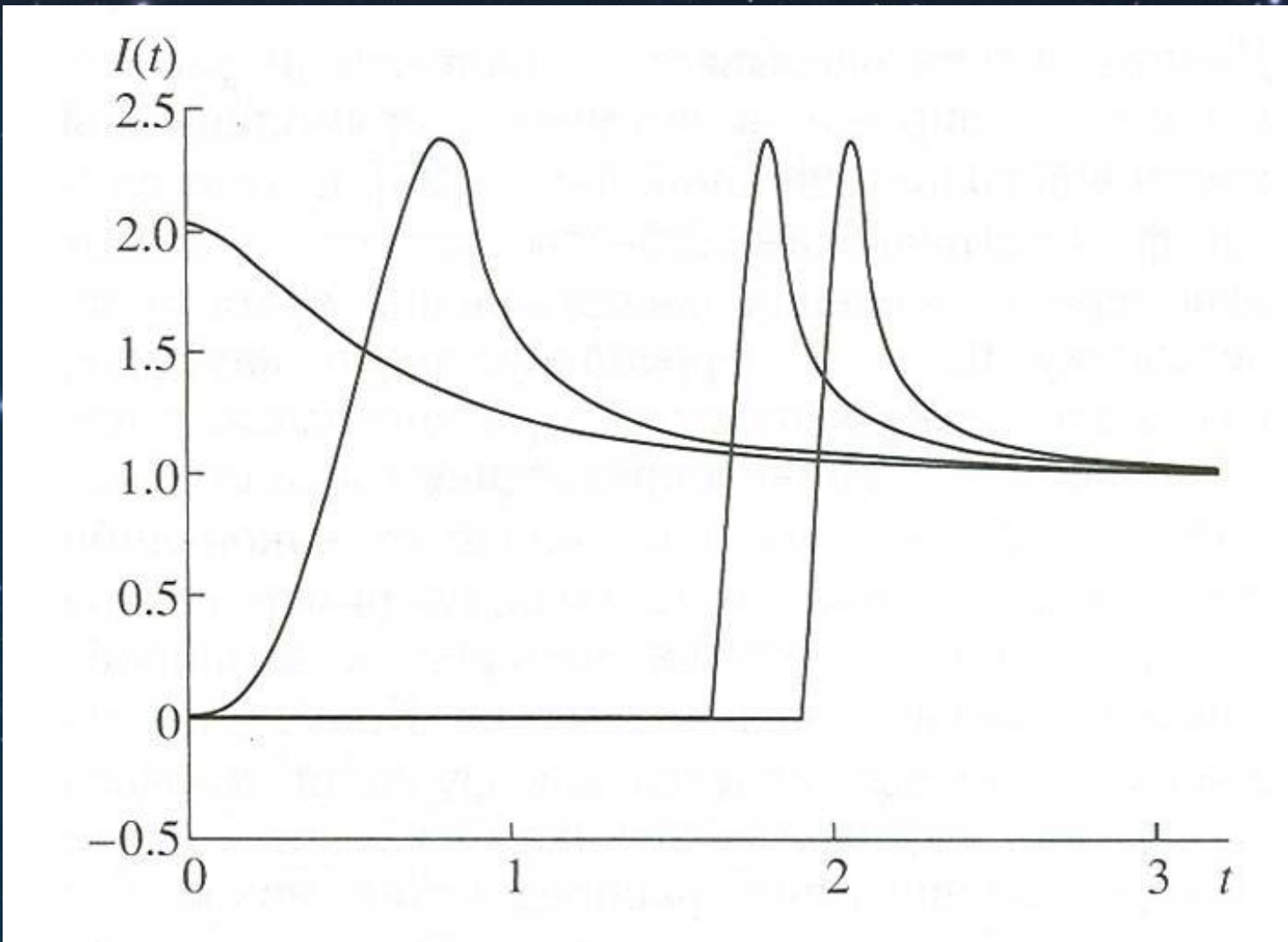


Fig. 19. Light curves due to microlensing of a star by a wormhole for different impact parameters: $p=2.1 \theta_E$, $1.9 \theta_E$, $1.0 \theta_E$, and 0

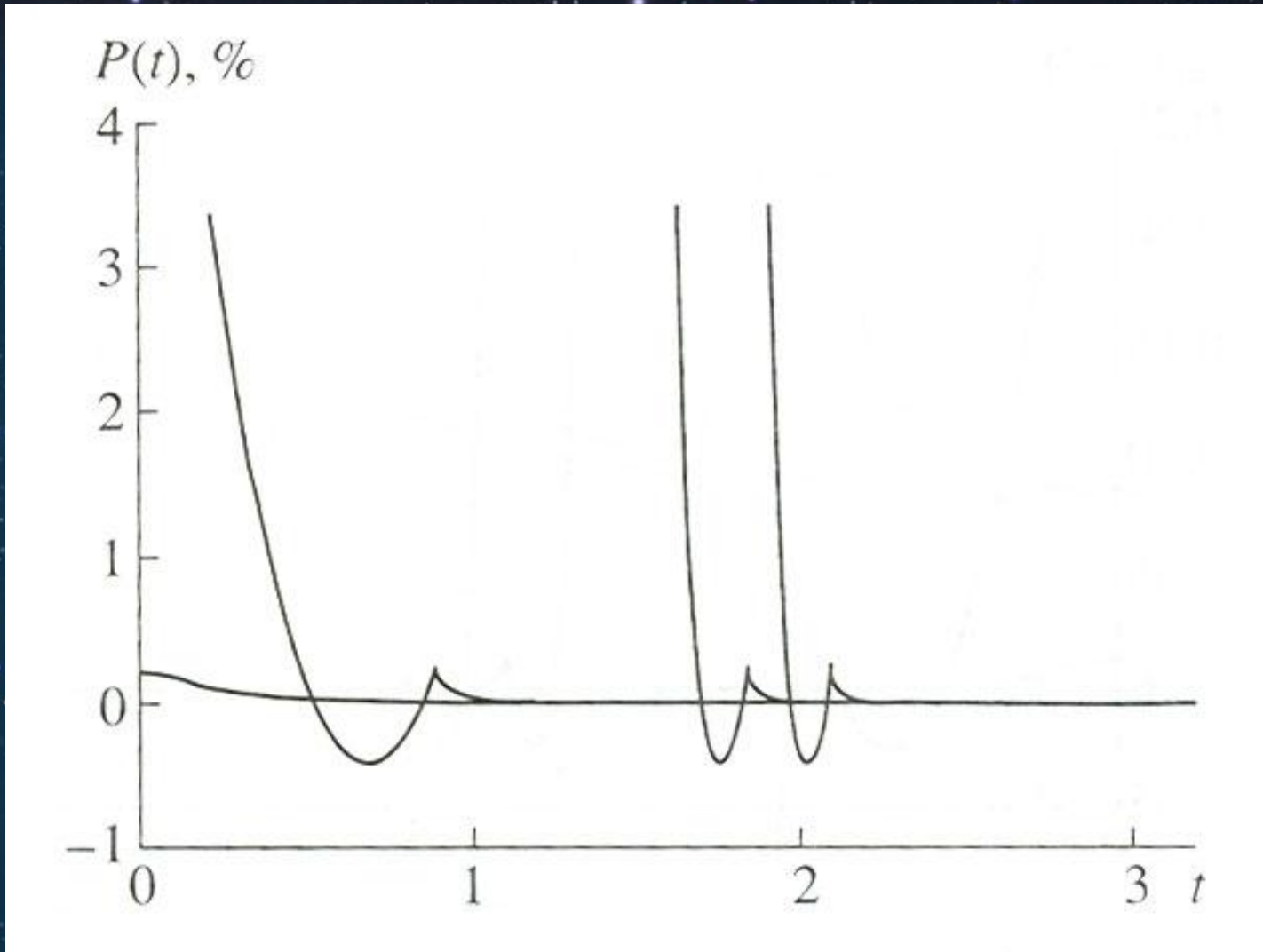


Fig.20. Changes of polarization degree during microlensing of a star by a wormhole

По эффектам гравитационного микролинзирования можно также идентифицировать другие компактные объекты, состоящие из экзотической материи (например, NUT – объекты, обладающие шварцшильдской метрикой с включением метрики магнитного монополя). См. недавнюю работу Богданова и Черепашука (АЖ, 2007, №6).

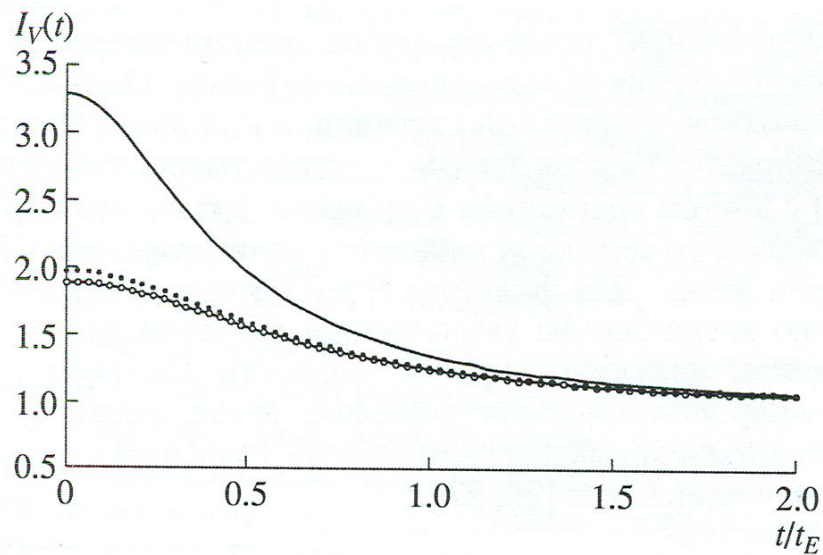


Рис. 1. Кривые линзирования звезды с радиусом $r = 0.01$ NUT-линзой с параметром $R = 0.5$ (сплошная линия) и $R = 0.3$ (точки) и линзой Шварцшильда (кружки).

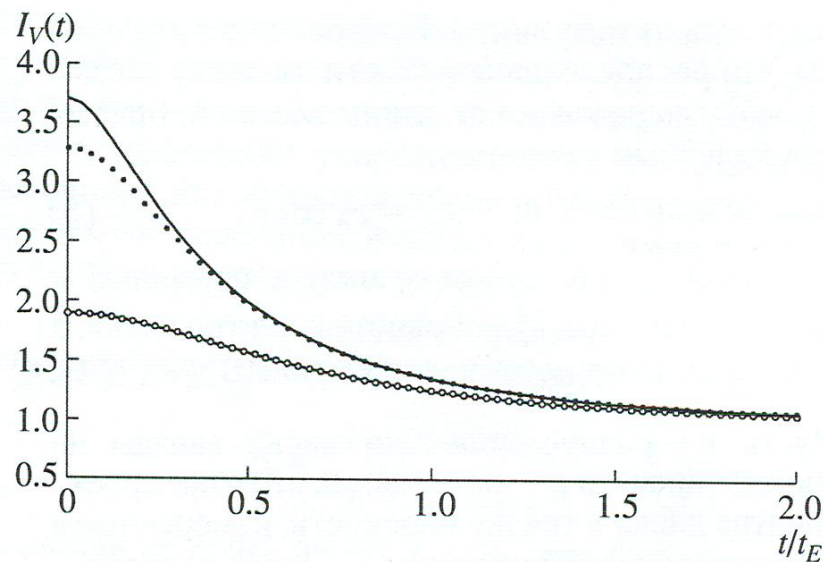


Рис. 2. Кривые линзирования NUT-линзой с параметром $R = 0.5$ точечного источника (точки) и звезды с радиусом $r = 0.10$ (сплошная линия). Показана также кривая линзирования этой звезды линзой Шварцшильда (кружки).

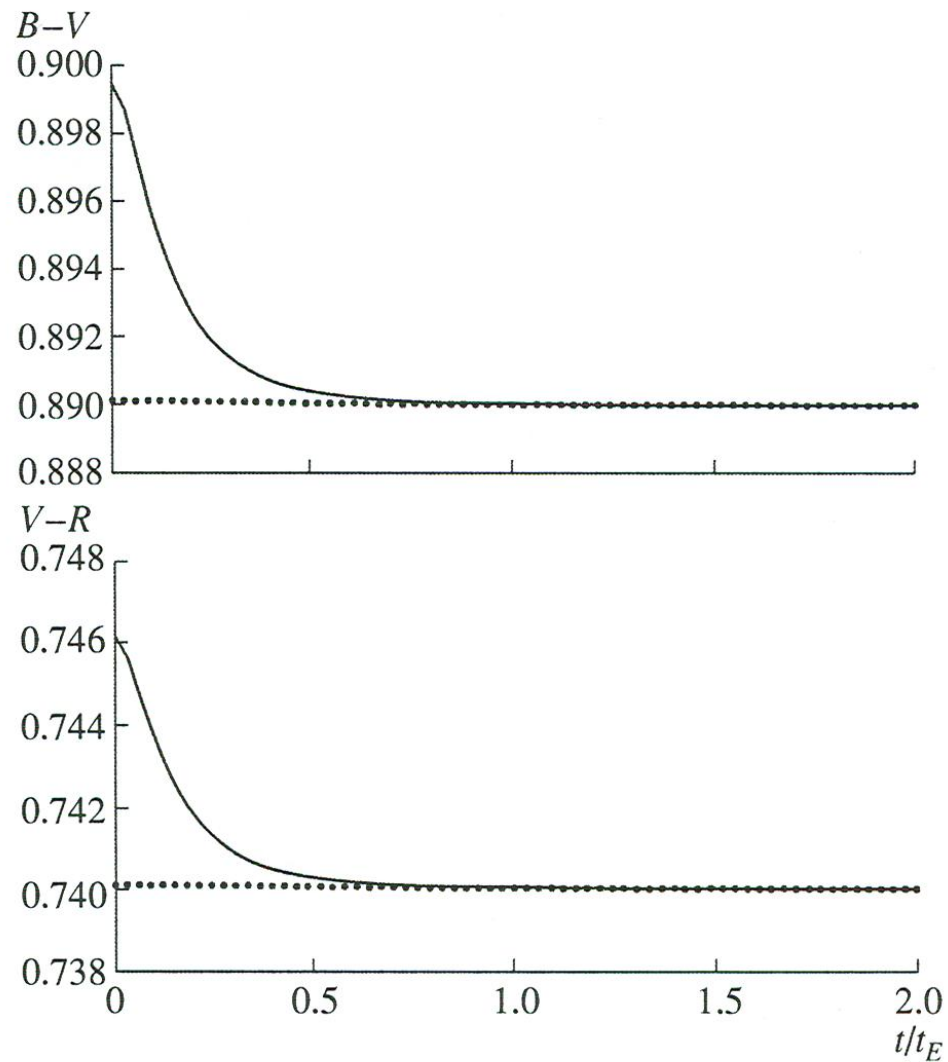
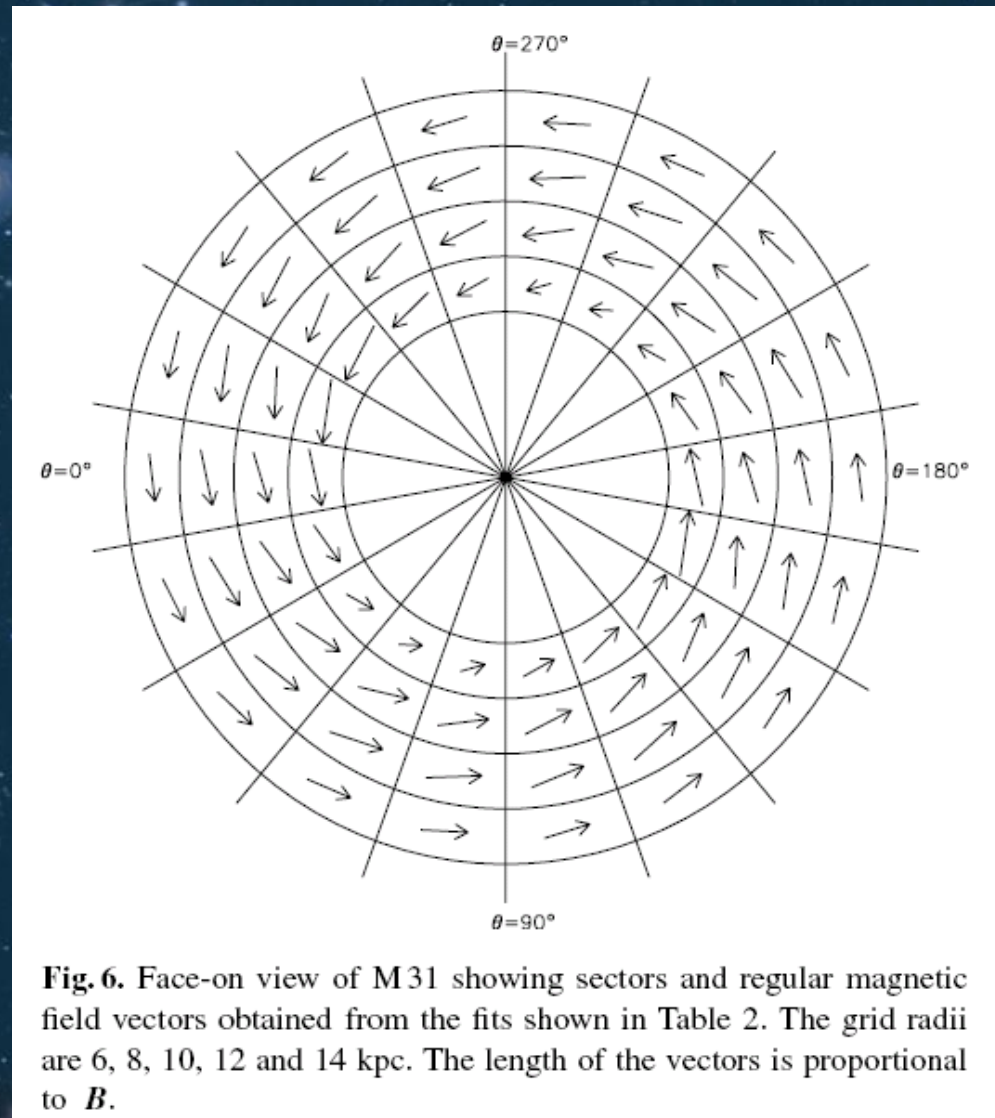


Рис. 3. Кривые изменения показателей цвета $B - V$ и $V - R$ при линзировании звезды с радиусом $r = 0.10$ NUT-линзой с параметром $R = 0.5$ (сплошная линия) и линзой Шварцшильда (точки).

Поскольку к.н. не имеет горизонта событий, она может обладать наблюдаемой структурой на масштабах, меньших r_g . Это дает возможность идентифицировать сверхмассивные к.н. с использованием космических интерферометров сверхвысокого углового разрешения ($\sim 10^{-7} \div 10^{-9}$ секунды дуги).

Космические проекты МАХИМ, Радиоас-
трон, Миллиметрон. Угловой размер гра-
витационного радиуса ядра нашей галак-
тики ($M_x = 3.7 \cdot 10^{-6} M_{\odot}$) равен $\sim 10^{-5}$ сек.
дуги, для галактики Андромеда $\sim 10^{-6}$
сек. дуги и т.п. К.н. может обладать мо-
нопольным магнитным полем.

A.Fletcher et al., A&A, 414, 53-67 (2004)



astro-ph/0601357, Pulsar rotation measures and the large-scale structure of Galactic magnetic field

J.L.Han, R.N.Manchester, A.G.Lyne, G.J.Qiao, W.van Straten, *Astrophys.J.* 642, 868-881, 2006.

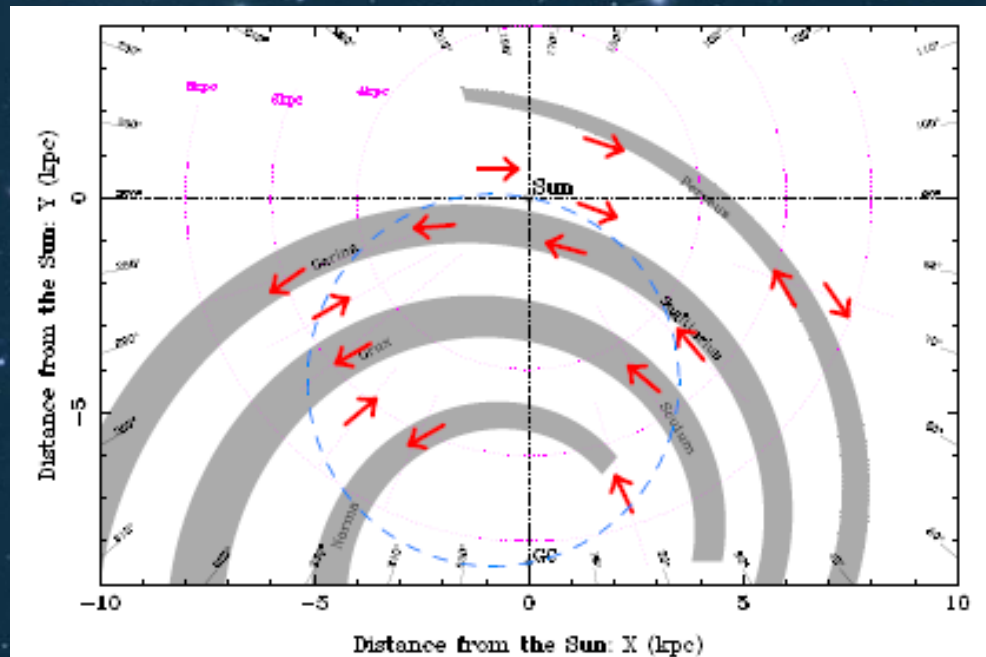


FIG. 12.— Global pattern of magnetic field directions inferred from RM-DM fits to the pulsar data and assuming an overall spiral pattern for the large-scale field. Field directions in the local region ($< 3\text{kpc}$ from the Sun) and in the Perseus arm were taken from previous studies (e.g. Han & Qiao 1994; Indrani & Deshpande 1998) (see text). The dashed circle is the locus of tangential points for equiangular spirals of pitch angle -11° .

Для $R \gg R_0$ $H = G^{0.5} M/R^2$.

Если $M = 3 \cdot 10^9 M_\odot$ и $R = 1$ кпс,

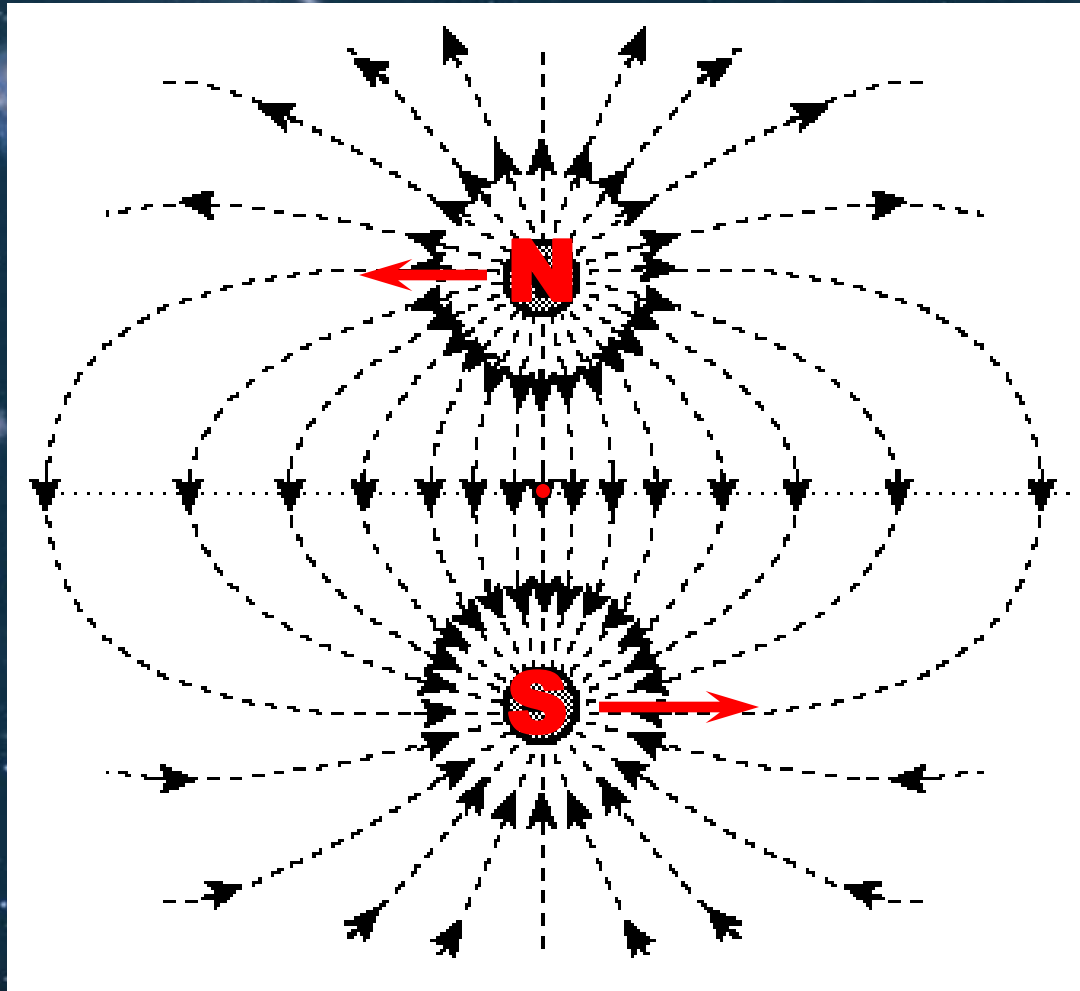
то $H = 1,5 \cdot 10^{-4}$ Гс (квазар).

Если $M = 3 \cdot 10^6 M_\odot$ и $R = 300$ пс,

то $H = 1,5 \cdot 10^{-4}$ Гс (Sgr A*).

Обе оценки близки к наблюдениям.

Двойная система – два входа в магнитный тоннель



- $E = GM^2/(2d)$
- $T = \pi d^{3/2}/(GM)^{1/2}$
- $V = [GM/(2d)]^{1/2}$
- $-dE/dt = 2^5 G^3 M^4 / (3c^3 d^5) +$
- $+ 2^9 G^4 M^5 / (5c^5 d^5)$
- $t_{em} = E / (-dE/dt)$
- $d = [2^6 G^2 M^2 t_{em} / (3c^3)]^{1/3}$
- $T = [2^6 \pi^2 GM t_{em} / (3c^3)]^{1/2}$
- $E_{cr} = (v/c) H_0 = 4.4 \cdot 10^{13}$
- $M_{cr} = [3c^{21} / (2^3 G^8 t_{em} E_{cr}^6)]^{1/5}$
- $T_{em} = 13 \cdot 10^9$ лет,
- $M_{cr} = 160 M_{\odot}$

A View through Faraday's Fog: Parsec-Scale Rotation Measures in Active Galactic Nuclei, Zavala, R. T.; Taylor, G. B.,
 The Astrophysical Journal, V. 589, pp. 126-146, 2003.
 Q B2005+403, $z=1.74$, $F_{15}=2.51$ Jy.

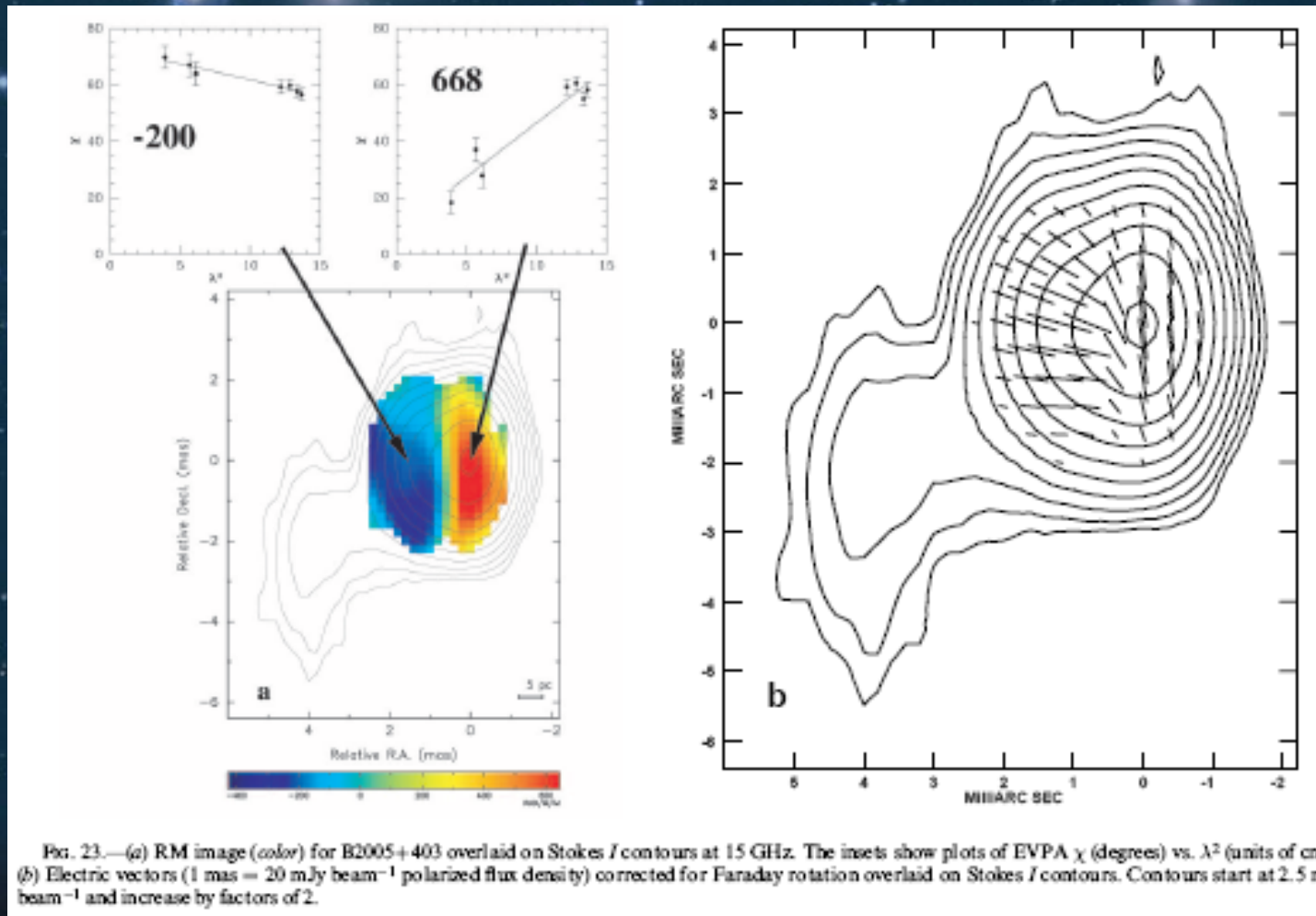
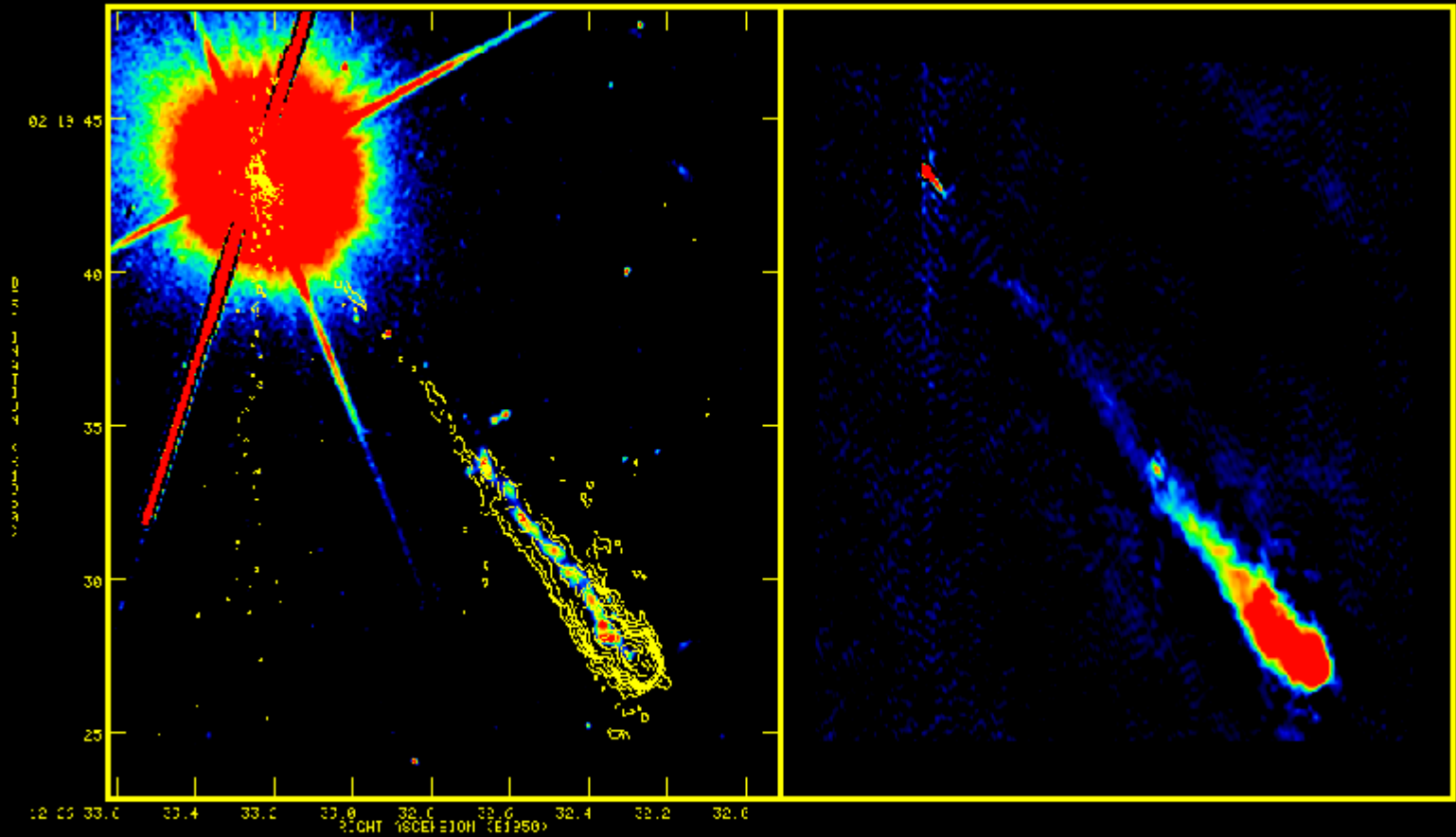


FIG. 23.—(a) RM image (color) for B2005+403 overlaid on Stokes I contours at 15 GHz. The insets show plots of EVPA χ (degrees) vs. λ^2 (units of cm²) corrected for Faraday rotation overlaid on Stokes I contours. Contours start at 2.5 mJy beam⁻¹ and increase by factors of 2.

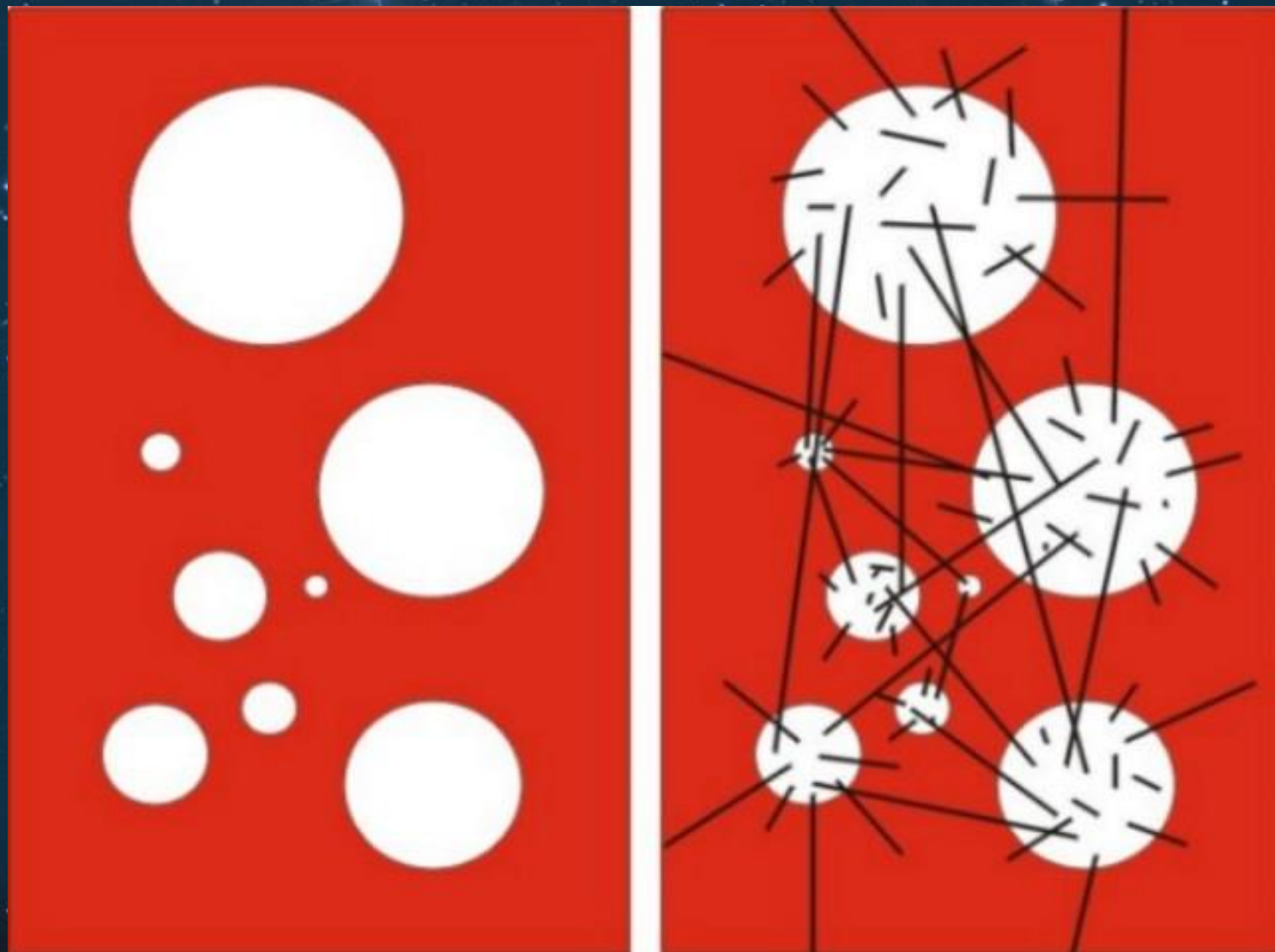
3C273

HST WFPC2 / MERLIN

MERLIN 18cm



Первичные магнитные кротовые норы в «Многомире» («Multiverse»)



Параметры кротовых нор

$2M_0$ (г)	r_0 (см)	H_0 (Гц)	ρ_0 (г/см ³)	v_G (Гц)	v_c (Гц)	v_H (Гц)
1	2	3	4	5	6	7
$6 \cdot 10^{42}$ (= $3 \cdot 10^9 M_{\square}$) квazar	$4.5 \cdot 10^{14}$	$7.8 \cdot 10^9$	$2.7 \cdot 10^{-3}$	$7.6 \cdot 10^{-6}$ (1.5 дня)	$1.2 \cdot 10^{-6}$ (10 дней)	$2.2 \cdot 10^{16}$
10^{39} (= $5 \cdot 10^5 M_{\square}$) рождение пар e^{\pm}	$7.4 \cdot 10^{10}$	$4.4 \cdot 10^{13}$	$9.7 \cdot 10^4$	0.045 (22 сек)	$6.9 \cdot 10^{-3}$ (2.4 мин)	$1.3 \cdot 10^{20}$
$2 \cdot 10^{33}$ (= $1 M_{\square}$) Солнце	$1.5 \cdot 10^5$	$2.3 \cdot 10^{19}$	$2.4 \cdot 10^{16}$	$2.3 \cdot 10^4$	$3.5 \cdot 10^3$	$6.6 \cdot 10^{25}$
$6 \cdot 10^{27}$ (= $1 M_{\otimes}$) Земля	0.45	$7.8 \cdot 10^{24}$	$2.7 \cdot 10^{27}$	$7.6 \cdot 10^9$	$1.2 \cdot 10^9$	$2.2 \cdot 10^{31}$
$5 \cdot 10^{10}$ позитроний	$3.5 \cdot 10^{-18}$	10^{42}	$4.4 \cdot 10^{61}$	$9.7 \cdot 10^{26}$	$1.5 \cdot 10^{26}$	$2.7 \cdot 10^{48}$
$1.8 \cdot 10^3$ рождение пар μ^{\pm}	$1.3 \cdot 10^{-25}$	$2.6 \cdot 10^{49}$	$3.0 \cdot 10^{76}$	$2.6 \cdot 10^{34}$	$4.0 \cdot 10^{33}$	$7.3 \cdot 10^{55}$
$2 \cdot 10^{-5}$ Планковская масса	$1.5 \cdot 10^{-33}$	$2.3 \cdot 10^{57}$	$2.4 \cdot 10^{92}$	$2.3 \cdot 10^{42}$	$3.5 \cdot 10^{41}$	$6.6 \cdot 10^{63}$

Двойные системы входов в магнитный тоннель

$M=2M_0$ (г)	Mc^2 (эрг)	E (эрг)	$-(dE/dt)_{em}$ (эрг/сек)	d (см)	T (сек)
$6 \cdot 10^{42}$ ($3 \cdot 10^9 M_{\odot}$)	$5.4 \cdot 10^{61}$	$3.2 \cdot 10^{58}$	$8.0 \cdot 10^{40}$	$3.7 \cdot 10^{19}$	$1.1 \cdot 10^{12}$
$3.2 \cdot 10^{35}$ ($160 M_{\odot}$)	$2.9 \cdot 10^{56}$	$6.6 \cdot 10^{48}$	$1.7 \cdot 10^{31}$	$5.2 \cdot 10^{14}$	$2.6 \cdot 10^8$
$2 \cdot 10^{33}$ ($1 M_{\odot}$)	$1.8 \cdot 10^{54}$	$7.4 \cdot 10^{45}$	$1.8 \cdot 10^{28}$	$1.8 \cdot 10^{13}$	$2.0 \cdot 10^7$
$4.8 \cdot 10^{18}$	$4.3 \cdot 10^{39}$	$2.4 \cdot 10^{26}$	$5.9 \cdot 10^8$	$3.2 \cdot 10^3$	1
$1.8 \cdot 10^3$	$1.6 \cdot 10^{24}$	$6.4 \cdot 10^5$	$1.6 \cdot 10^{-12}$	$1.7 \cdot 10^{-7}$	$1.9 \cdot 10^{-8}$

The Regular Magnetic Fields of M 31 and M 33, From Radio Polarization Observations

Andrew Fletcher¹, Rainer Beck², Elly M. Berkhuijsen², Anvar Shukurov¹

The interstellar medium in M31 and M33. Proceedings 232. WE-Heraeus Seminar, 22-25 May 2000, Bad Honnef, Germany. Edited by Elly M. Berkhuijsen, Rainer Beck, and Rene A. M. Walterbos. Shaker, Aachen, 2000, p. 201-204

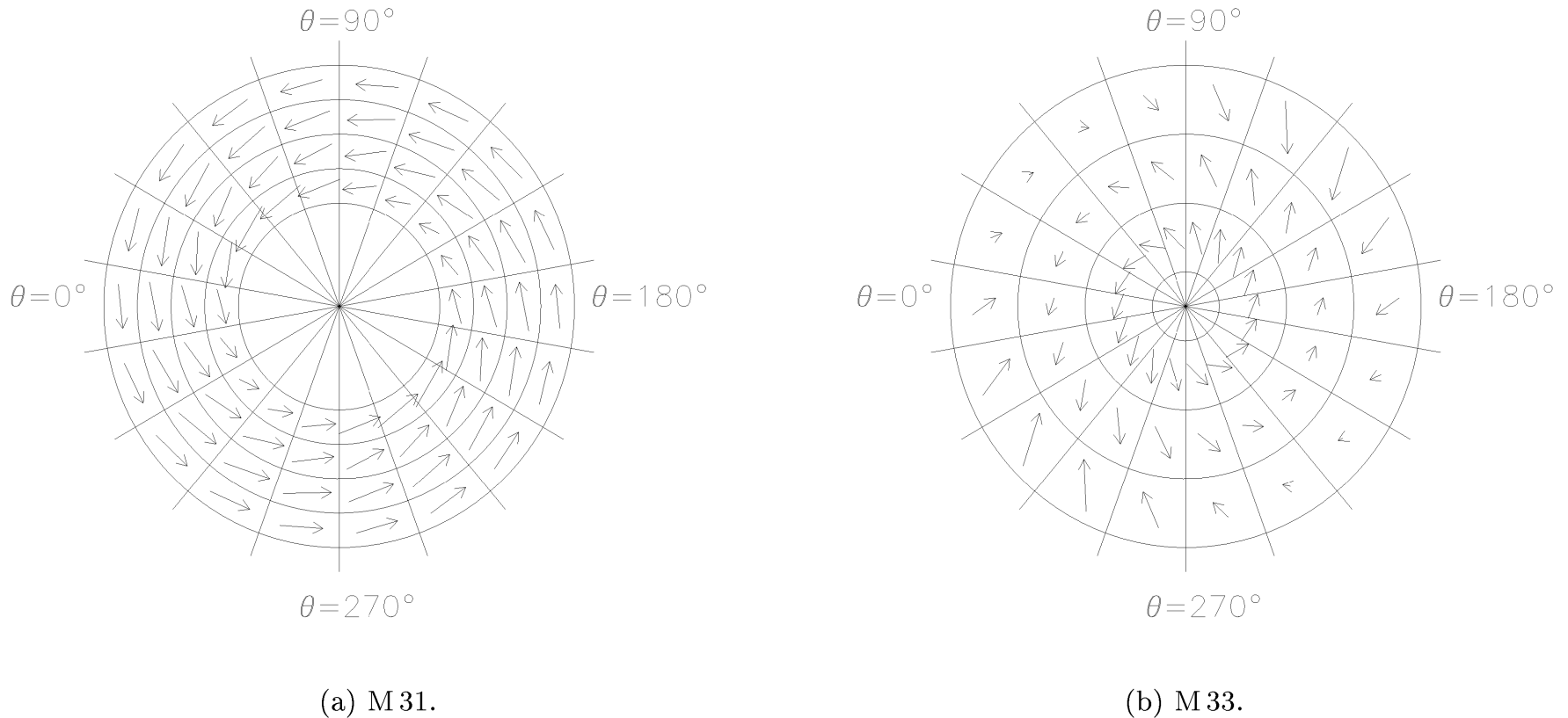


Fig. 1. Face-on view of galaxies showing sectors and regular magnetic field vectors obtained from the fits. The grid radii are 6, 8, 10, 12 and 14 kpc in M 31 and 1, 3, 5 and 7 kpc in M 33. The length of the vectors is proportional to B .

Patrick Dineen, Peter Coles,

A Faraday Rotation Template for
the Galactic Sky, MNRAS, 362
(2005) 403-410;

astro-ph/0410636 v2

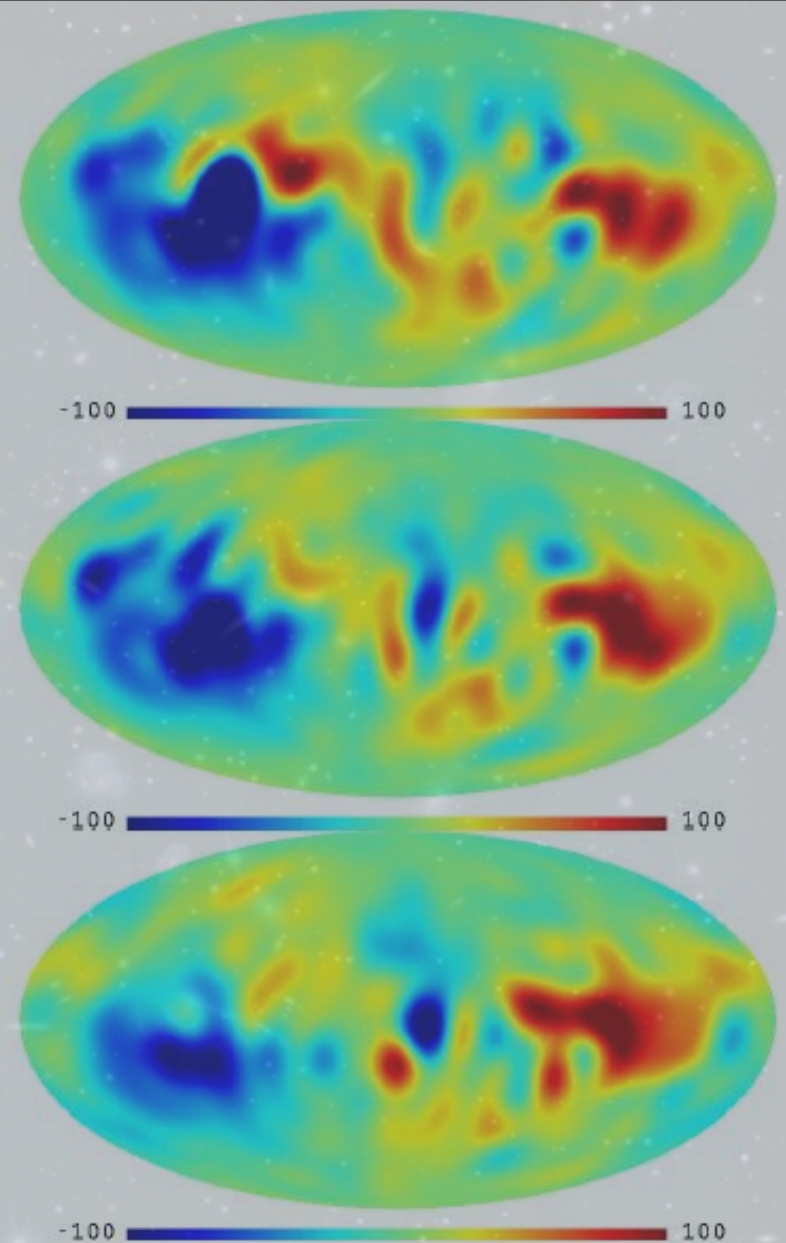
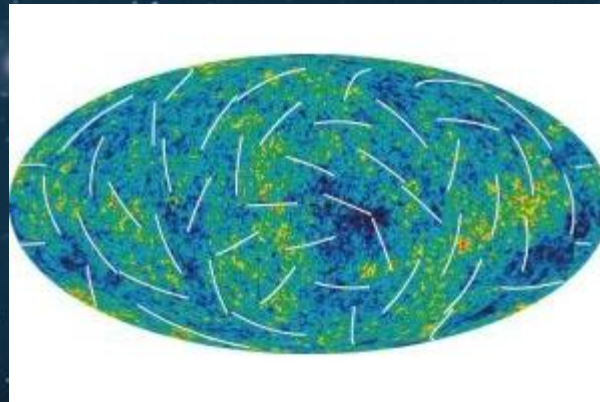


Figure 5. RM maps with identical temperature-colour scaling ($l_{\max} = 16$). From *top to bottom*: S81, B88 and F01 catalogues.

Ellipsoidal Universe Can Solve the Cosmic Microwave Background Quadrupole Problem

L. Campanelli,^{1,2} P. Cea,^{1,4} and L. Tedesco^{3,4}

Учёные из Италии предположили, что Вселенная может иметь вытянутую, а не правильную сферическую, форму. Вселенная могла растянуться в эллипсоид под действием магнитного поля, распределенного по ней, или из-за дефектов в структуре пространства-времени. Предположение было сделано на основе данных, собранных космическим аппаратом NASA WMAP.



astro-ph/0411687 , The Galactic Centre region, Subhashis Roy,
Bull.Astron.Soc.India, 32, 205-213, 2004.

Abstract. We have observed the central $45'$ region of the Galaxy at 620 MHz band of the Giant Metrewave Radio Telescope (GMRT) in radio continuum, and measured the polarisation properties of 64 small diameter background extragalactic sources seen through the $-6^\circ < l < 6^\circ$, $-2^\circ < b < 2^\circ$ region with the Australia Telescope Compact Array (ATCA) and the Very Large Array (VLA). Our 620 MHz observations show that Sgr A* is located behind the HII region Sgr A West. Using the ATCA and the VLA observations, we measured the Faraday rotation measure (RM) of the polarised sources. The measured RMs are mostly positive, and show no reversal of sign across the rotation axis of the Galaxy. This rules out any circularly symmetric model of magnetic field in the region. We estimate the magnetic field strength in the region to be $\sim 10\mu\text{G}$, which raises doubts against an all pervasive mG field in the central few hundred pc of the Galaxy.

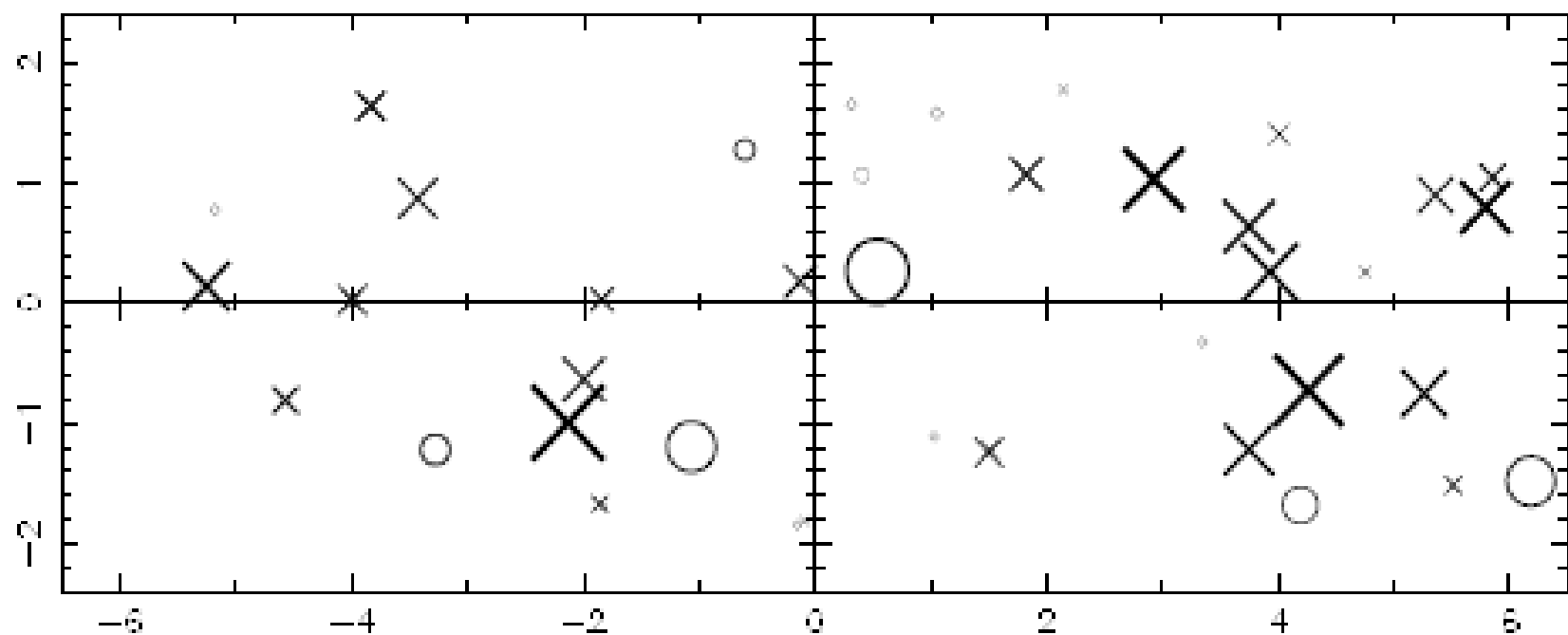


Figure 5. The plot of the RM towards various sources as a function of the Galactic longitude and latitude. The cross symbol (\times) indicates positive RM and the circle (\bigcirc) negative RMs, where the symbol size increases linearly with $|RM|$.

gives rise to the bisymmetric spiral configuration of the magnetic field in galaxies. In our Galaxy, the magnetic field configuration has been suspected to be bisymmetric (Simard-Normandin & Kronberg 1980), in which case, the field does not undergo a reversal of sign across the centre. Our observations support the bisymmetric spiral configuration in the inner parts of our Galaxy.

Faraday Rotation Measures
in the Parsec-Scale Jets of
the Radio Galaxies M87, 3C
111, and 3C 120,
Zavala, R. T., Taylor, G. B.,
The Astrophysical Journal,
Volume 566, Issue 1, pp.
L9-L12, 2002.

M87

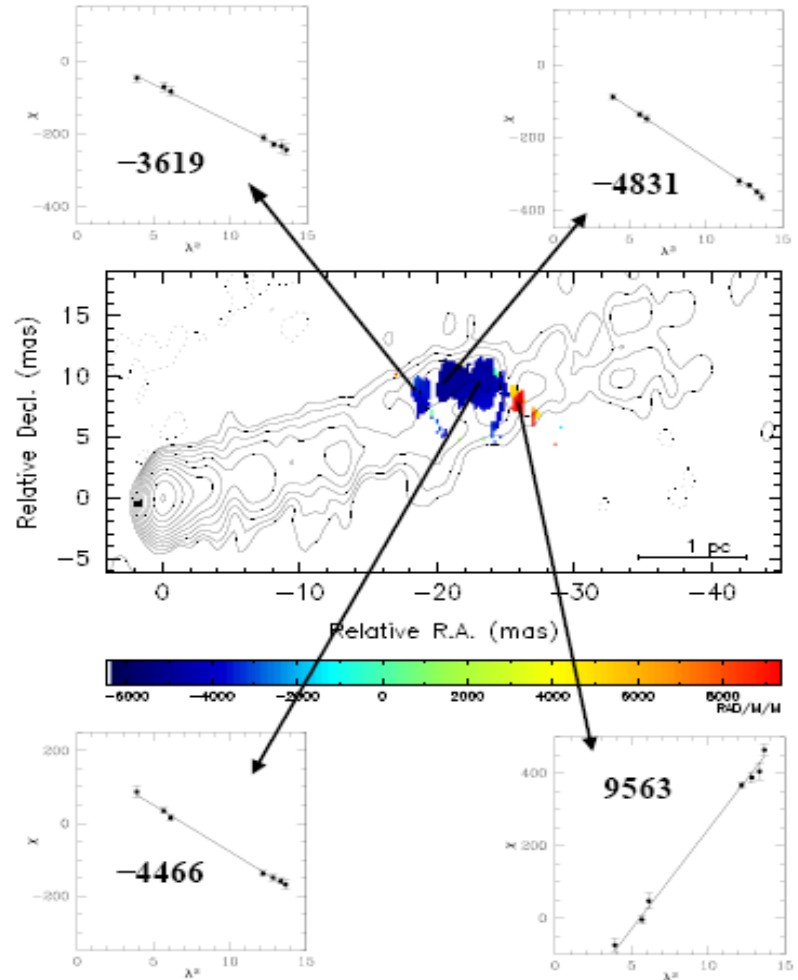


Fig. 2.— RM image of M87 from data at 8 to 15 GHz, with contours of total intensity at 8 GHz overlaid. The restoring beam has dimensions 1.0×2.7 milliarcsec at position angle 0° . The colorbar ranges from -6300 to $+9300$ rad m^{-2} . Contours start at 1 mJy/beam and increase by factors of 2.

Cluster Magnetic Fields, Carilli, C. L.; Taylor, G. B. Annual Review of Astronomy and Astrophysics, Vol. 40, p. 319-348, 2002.

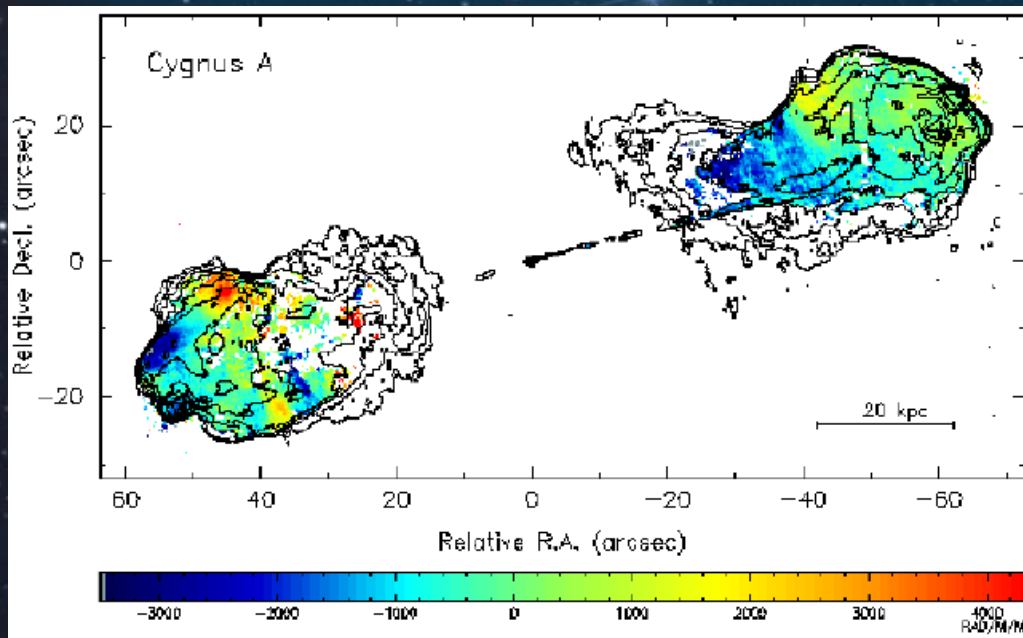


Figure 2: The RM distribution in Cygnus A based on multi-frequency, multi-configuration VLA observations. The resolution is $0.35''$ (Dreher et al. 1987). The colorbar indicates the range in RMs from -3400 to $+4300$ rad m^{-2} . Note the undulations in RM on scales of 10–30 kpc. Contours are overlaid from a 5 GHz total intensity image. The RM was solved for by fitting for the change in polarization angle with frequency on a pixel-by-pixel basis (see Fig. 5).

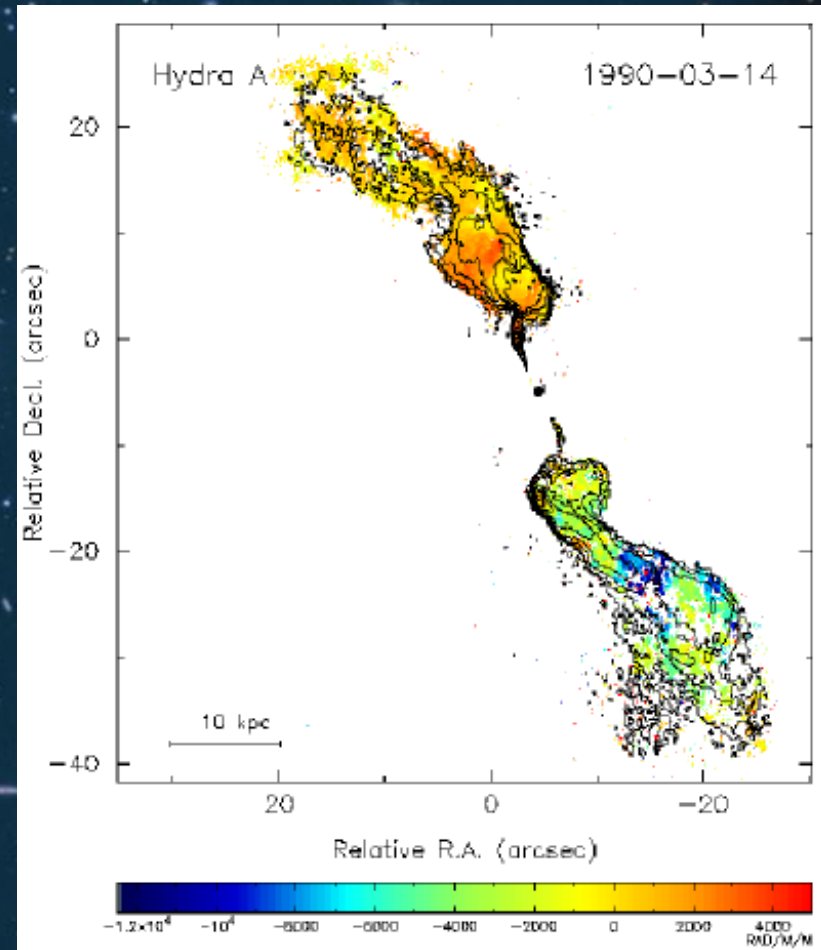


Figure 4: The RM distribution in Hydra A at a resolution of $0.3''$ (Taylor & Perley 1993) with total intensity contours overlaid. Multi-configuration VLA observations were taken at 4 widely spaced frequencies within the 8.4 GHz band, and a single frequency in the 15 GHz band. The colorbar indicates the range in RMs from -12000 to $+5000$ rad m^{-2} .

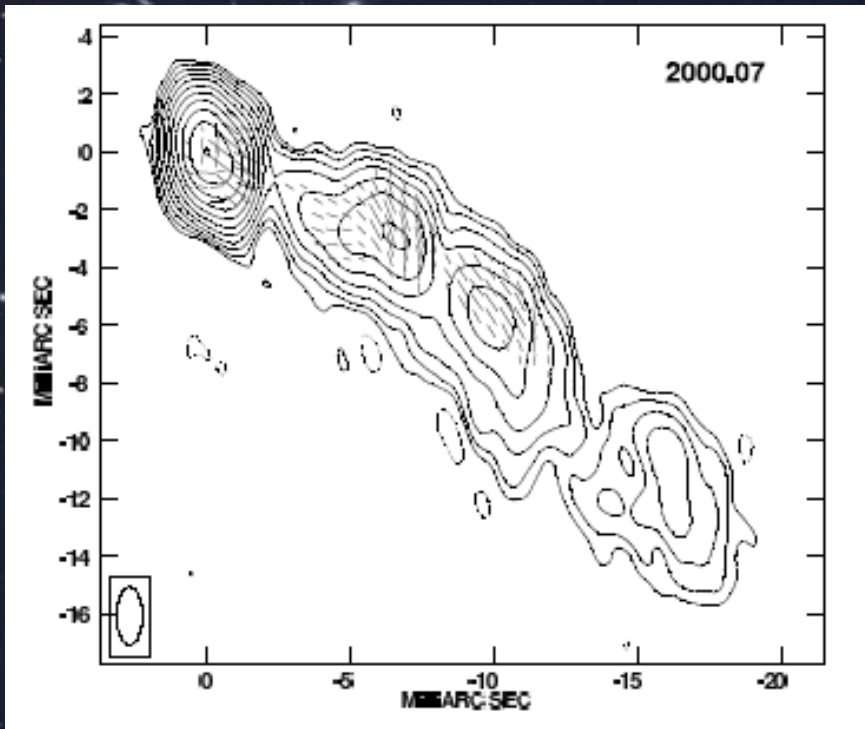
Faraday Rotation Measure Gradients from a Helical Magnetic Field in 3C 273

R.T. Zavala¹ and G.B. Taylor^{2,3}

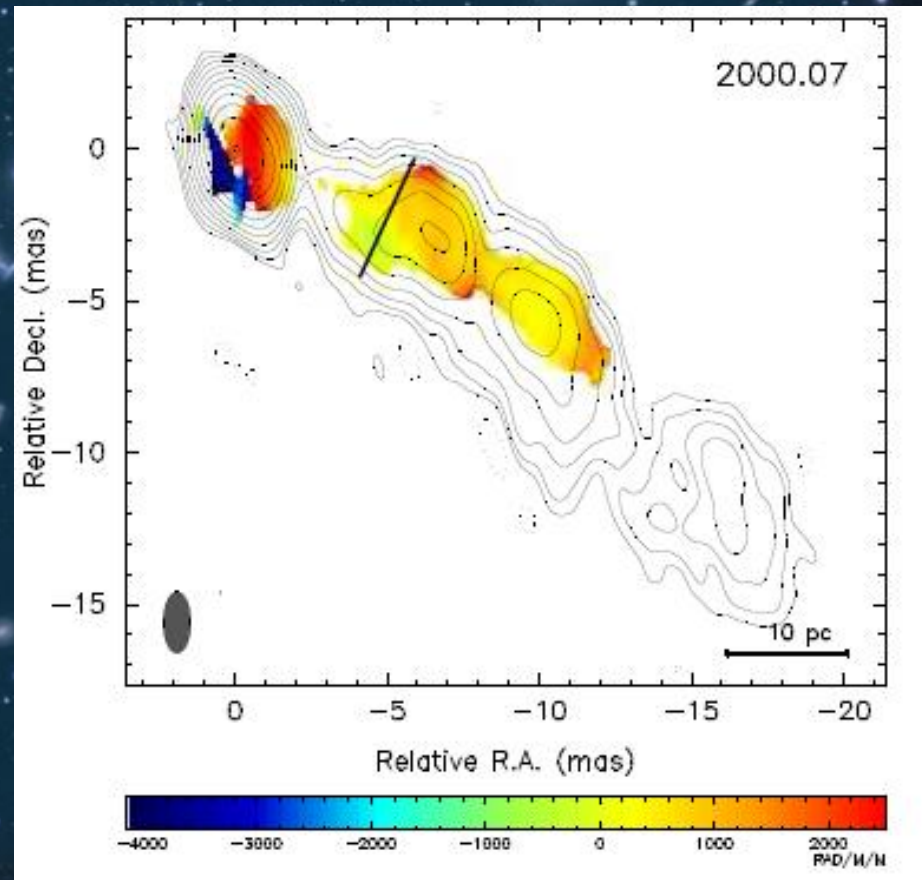
bzavala@nofs.navy.mil; gtaylor@nrao.edu

ABSTRACT

Using high frequency (12-22 GHz) VLBA observations we confirm the existence of a Faraday rotation measure gradient of $\sim 500 \text{ rad m}^{-2} \text{ mas}^{-1}$ transverse to the jet axis in the quasar 3C 273. The gradient is seen in two epochs spaced roughly six months apart. This stable transverse rotation measure gradient is expected if a helical magnetic field wraps around the jet. The overall order to the magnetic field in the inner projected 40 parsecs is consistent with a helical field. However, we find an unexpected increase in fractional polarization along the edges of the source, contrary to expectations. This high fractional polarization rules out internal Faraday rotation, but is not readily explained by a helical field. After correcting for the rotation measure, the intrinsic magnetic field direction in the jet of 3C 273 changes from parallel to nearly perpendicular to the projected jet motion at two locations. If a helical magnetic field causes the observed rotation measure gradient then the synchrotron emitting electrons must be separate from the helical field region. The presence or absence of transverse rotation measure gradients in other sources is also discussed.



3C273



A View through Faraday's Fog. II. Parsec-Scale Rotation Measures in 40 Active Galactic Nuclei,

Zavala, R. T.; Taylor, G. B.,
 The Astrophysical Journal, V. 612, pp. 749-779, 2004.
 BL/Q 3C446, $z=1.40$, $F_{15}=3.92$ Jy.

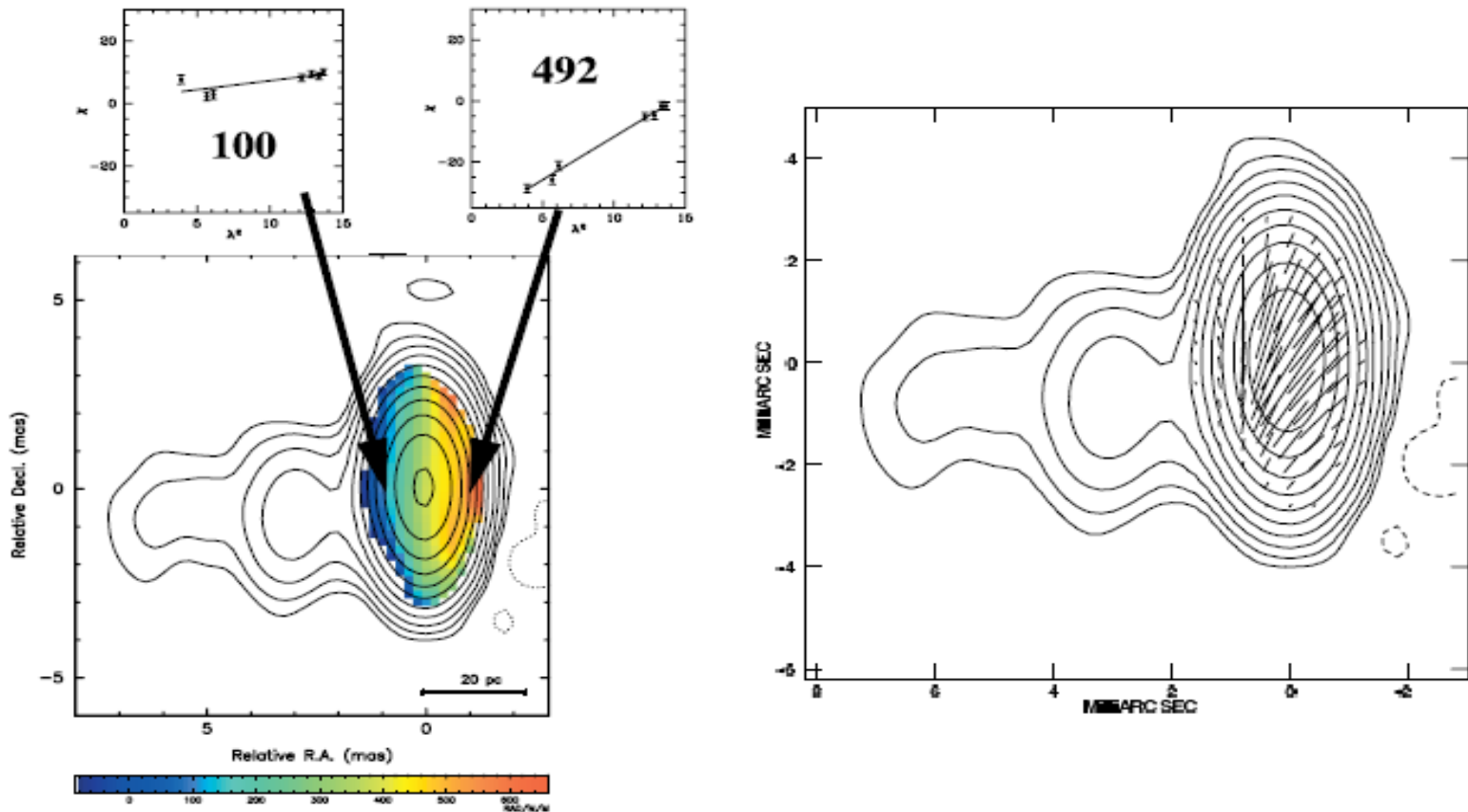


FIG. 33.—*Left:* RM image (color) for 3C 446 overlaid on Stokes I contours at 15 GHz. The inset is a plot of EVPA χ (degrees) vs. λ^2 (cm^2). *Right:* Electric vectors (1 mas = $200 \text{ mJy beam}^{-1}$ polarized flux density) corrected for Faraday rotation overlaid on Stokes I contours. Contours start at $5.1 \text{ mJy beam}^{-1}$ and increase by factors of 2.

A View through Faraday's Fog: Parsec-Scale Rotation Measures in Active Galactic Nuclei, Zavala, R. T.; Taylor, G. B., The Astrophysical Journal, V. 589, pp. 126-146, 2003. BL Lac, $z=0.07$, $F_{15}=3.23$ Jy.

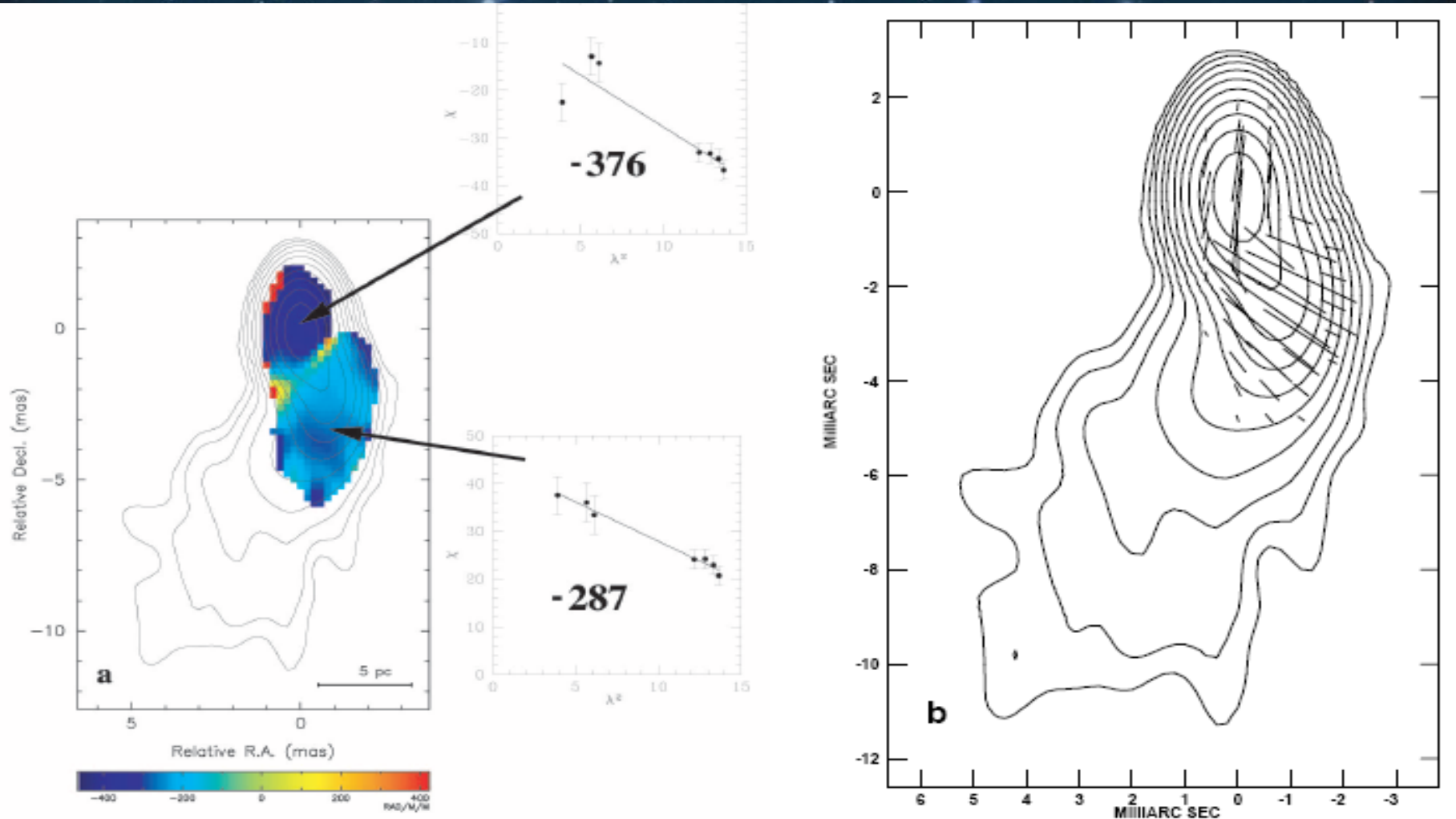


FIG. 25.—(a) RM image (color) for BL Lac overlaid on Stokes I contours at 15 GHz. The insets show plots of EVPA χ (degrees) vs. λ^2 (units of cm^2). (b) Electric vectors (1 mas = 25 mJy beam^{-1} polarized flux density) corrected for Faraday rotation overlaid on Stokes I contours. Contours start at 2.2 mJy beam^{-1} and increase by factors of 2.

A FARADAY ROTATION SEARCH FOR MAGNETIC FIELDS IN LARGE SCALE STRUCTURE

YONGZHONG XU¹, PHILIPP P. KRONBERG², SALMAN HABIB¹, AND QUENTIN W. DUFTON²

¹The University of California, Los Alamos National Laboratory, MS B285, Los Alamos NM 87545 and

²The University of California, Los Alamos National Laboratory, MS C305, Los Alamos NM 87545

Draft version September 9, 2006

ABSTRACT

Faraday rotation of radio source polarization provides a measure of the integrated magnetic field along the observational lines of sight. We compare a new, large sample of Faraday rotation measures (RMs) of polarized extragalactic sources with galaxy counts in Hercules and Perseus-Pisces, two nearby superclusters. We find that the average of RMs in these two supercluster areas are larger than in control areas in the same galactic latitude range. This is the first RM detection of magnetic fields that pervade a supercluster volume, in which case the fields are at least partially coherent over several megaparsecs. Even the most conservative interpretation of our observations, according to which Milky Way RM variations mimic the background supercluster galaxy overdensities, puts constraints on the IGM magneto-ionic “strength” in these two superclusters. We obtain an approximate typical upper limit on the field strength of about $\sim 0.3 \mu\text{G} \ell / (500 \text{ kpc})$, when we combine our RM data with fiducial estimates of electron density from the environments of giant radio galaxies, and of the warm-hot intergalactic medium (WHIM).

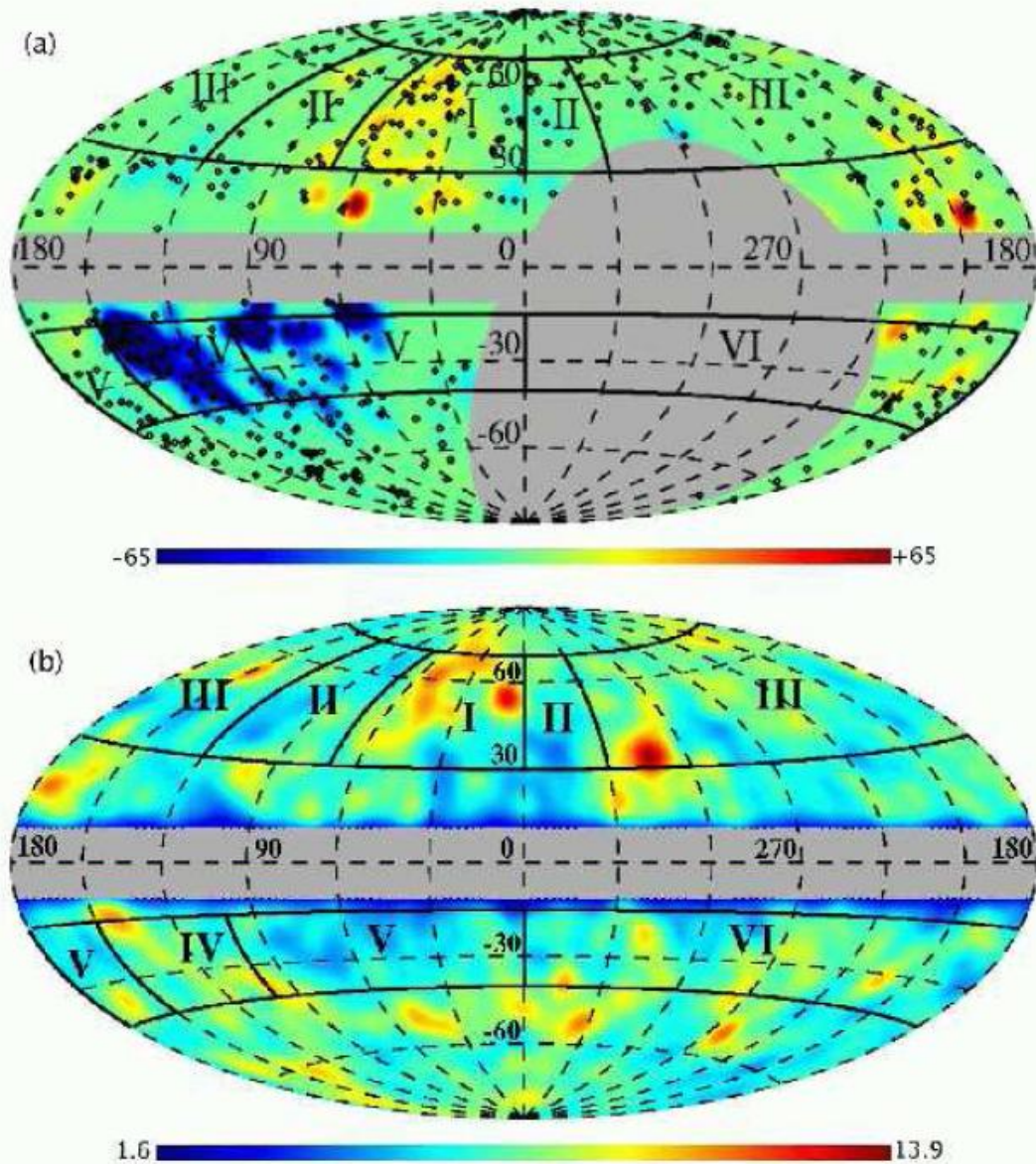


FIG. 1.— (a) All-sky plot of the extragalactic source SRM distribution. The square black points show the positions of individual S sources. The color map shows SRM variations Gaussian-smoothed to 7 degrees in an Aitoff projection of galactic coordinates. The color range from blue to red signifies a range of SRM values from -65 rad m^{-2} to 65 rad m^{-2} . The excluded areas (see text) are for $|b| > 30^\circ$ and $\delta \leq -25^\circ$. (b) The 2MASS galaxy column density Gaussian-smoothed to 7 degrees in the same coordinates as in (a). The Hercules and Perseus-Pisces superclusters lie in the high density parts labeled I and IV, respectively. Labels II, III and V indicate the RM comparison zones (see subsection 3.1, and table 1).