

# Темная Материя. Современный статус.

*Иванчик  
Александр Владимирович*

2012

# Эра прецизионной космологии

## Precision Cosmology

$$\Omega_{\text{tot}} = 1.02^{+0.02}_{-0.02}$$

$$w < -0.78 \text{ (95\% CL)}$$

$$\Omega_{\Lambda} = 0.73^{+0.04}_{-0.04}$$

$$\Omega_b h^2 = 0.0224^{+0.0009}_{-0.0009}$$

$$\Omega_b = 0.044^{+0.004}_{-0.004}$$

$$n_b = 2.5 \times 10^{-7} {}^{+0.1 \times 10^{-7}}_{-0.1 \times 10^{-7}} \text{ cm}^{-3}$$

$$\Omega_m h^2 = 0.135^{+0.008}_{-0.009}$$

$$\Omega_m = 0.27^{+0.04}_{-0.04}$$

$$\Omega_{\nu} h^2 < 0.0076 \text{ (95\% CL)}$$

$$m_{\nu} < 0.23 \text{ eV (95\% CL)}$$

$$T_{\text{cmb}} = 2.725^{+0.002}_{-0.002} \text{ K}$$

$$n_{\gamma} = 410.4 {}^{+0.9}_{-0.9} \text{ cm}^{-3}$$

$$\eta = 6.1 \times 10^{-10} {}^{+0.3 \times 10^{-10}}_{-0.2 \times 10^{-10}}$$

$$\Omega_b \Omega_m^{-1} = 0.17^{+0.01}_{-0.01}$$

$$\sigma_8 = 0.84 {}^{+0.04}_{-0.04} \text{ Mpc}$$

$$\sigma_8 \Omega_m^{0.5} = 0.44 {}^{+0.04}_{-0.05}$$

$$A = 0.833 {}^{+0.086}_{-0.083}$$

$$n_s = 0.93 {}^{+0.03}_{-0.03}$$

$$dn_s/d \ln k = -0.031 {}^{+0.016}_{-0.018}$$

$$r < 0.71 \text{ (95\% CL)}$$

$$z_{\text{dec}} = 1089 {}^{+1}_{-1}$$

$$\Delta z_{\text{dec}} = 195 {}^{+2}_{-2}$$

$$h = 0.71 {}^{+0.04}_{-0.03}$$

$$t_0 = 13.7 {}^{+0.2}_{-0.2} \text{ Gyr}$$

$$t_{\text{dec}} = 379 {}^{+8}_{-7} \text{ kyr}$$

$$t_r = 180 {}^{+220}_{-80} \text{ Myr (95\% CL)}$$

$$\Delta t_{\text{dec}} = 118 {}^{+3}_{-2} \text{ kyr}$$

$$z_{\text{eq}} = 3233 {}^{+194}_{-210}$$

$$\tau = 0.17 {}^{+0.04}_{-0.04}$$

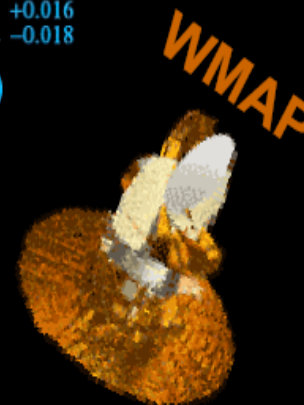
$$z_r = 20 {}^{+10}_{-9} \text{ (95\% CL)}$$

$$\theta_{\Lambda} = 0.598 {}^{+0.002}_{-0.002}$$

$$d_{\Lambda} = 14.0 {}^{+0.2}_{-0.3} \text{ Gpc}$$

$$l_{\Lambda} = 301 {}^{+1}_{-1}$$

$$r_s = 147 {}^{+2}_{-2} \text{ Mpc}$$



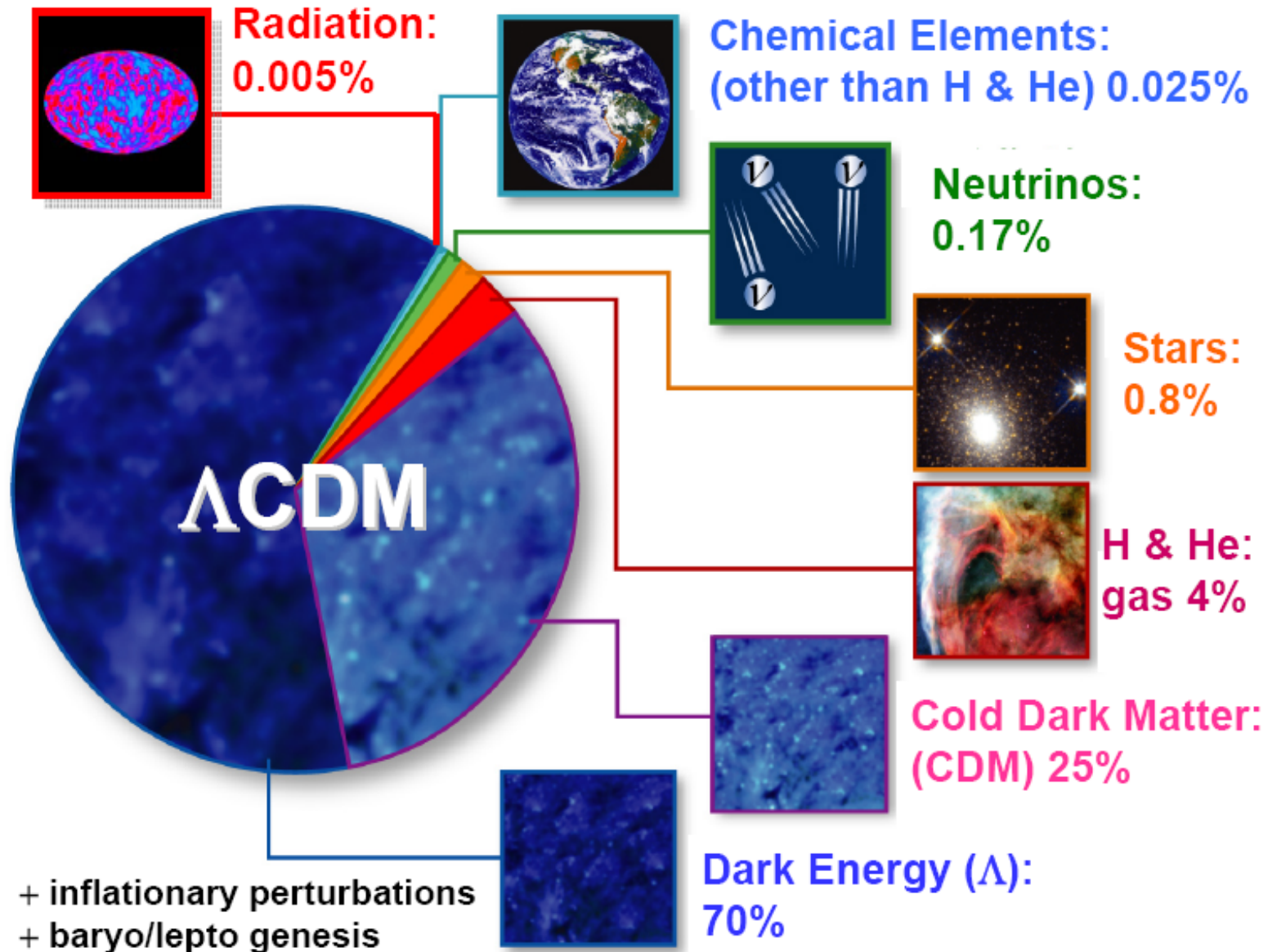
**Темная Энергия**  
(Dark Energy)

**Темная Материя**  
(Dark Matter)

**Темные Эпохи**  
(Dark Ages)

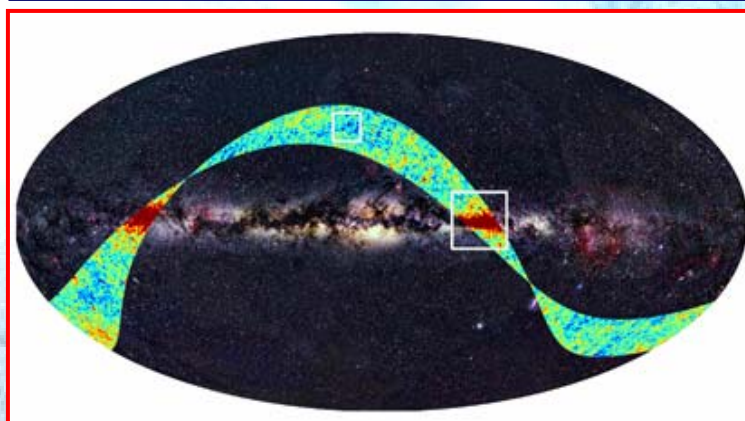
**Пропавшие барионы**  
(Missing baryons)

# Формы материи во Вселенной





# Космическая миссия «Планк»



# Космическая миссия «Планк»

## Основные задачи:

1. Исследование анизотропии реликтового излучения (интенсивности и **поляризации**) с повышенной чувствительностью и угловым разрешением
2. Проверка моделей инфляции для ранней Вселенной.
3. Определение постоянной Хаббла.
4. Измерение эффекта Сюняева-Зельдовича.

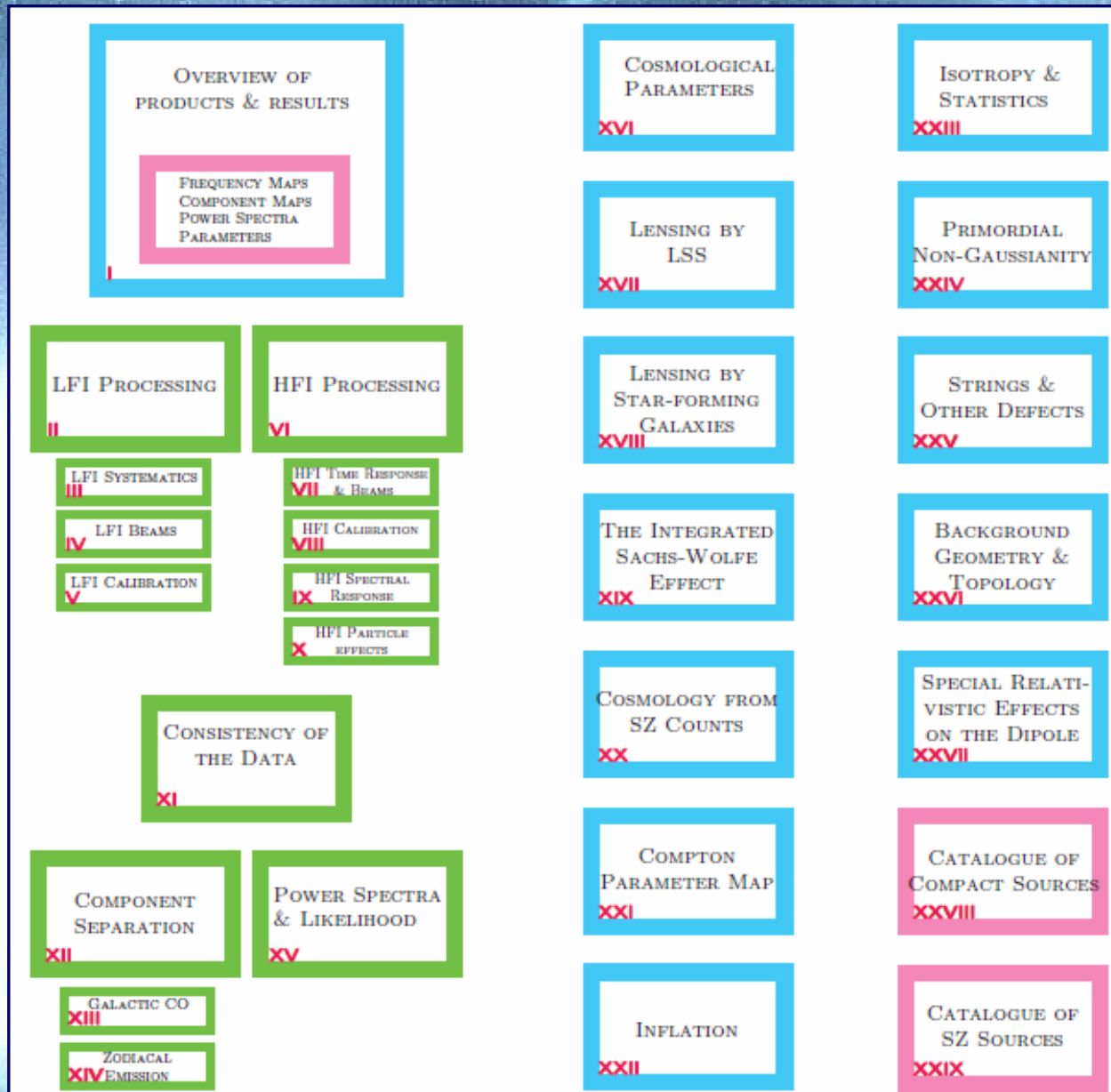
# Основные результаты Планка

20 марта  
2013

29 статей

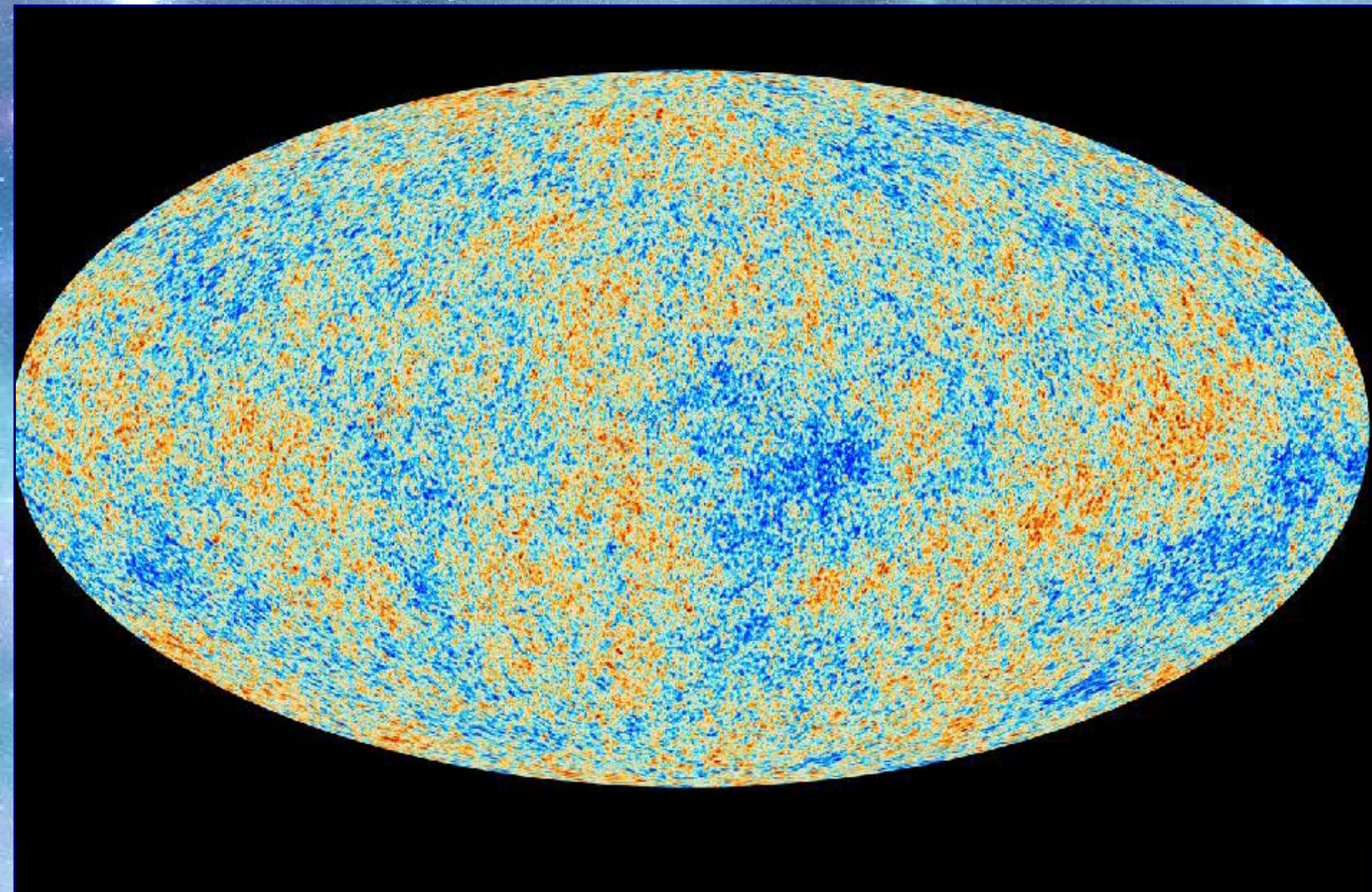
~ 40-60 стр.

169 - 267 со-авторов





# Основные результаты Планка

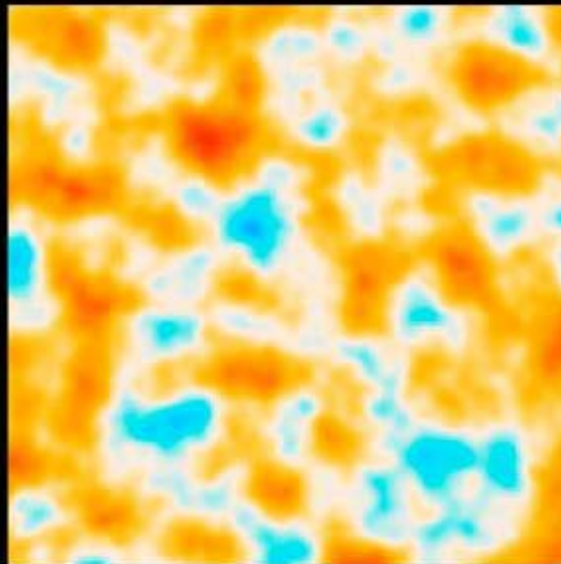
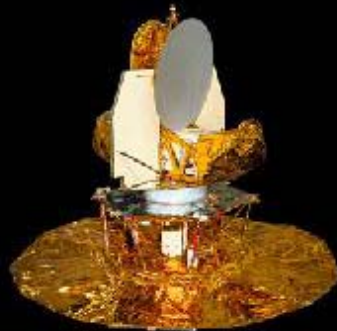




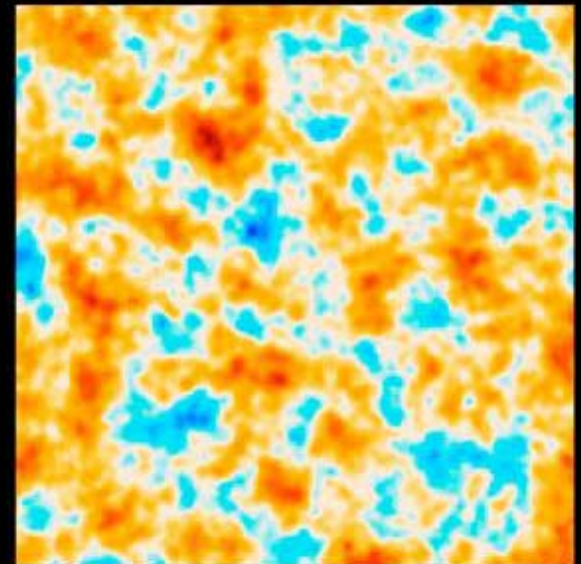
# Сравнение с предшествующими экспериментами



COBE

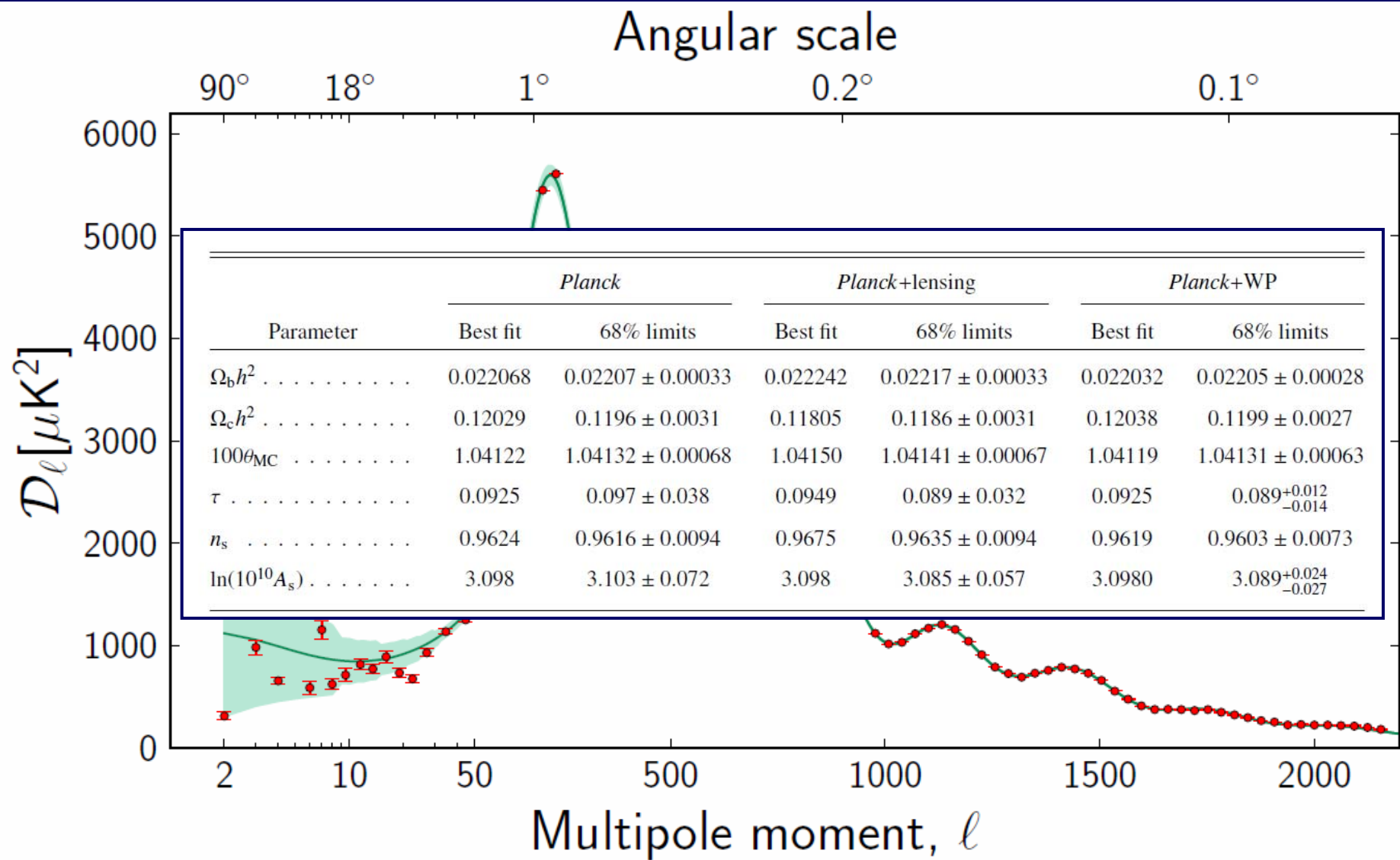


WMAP



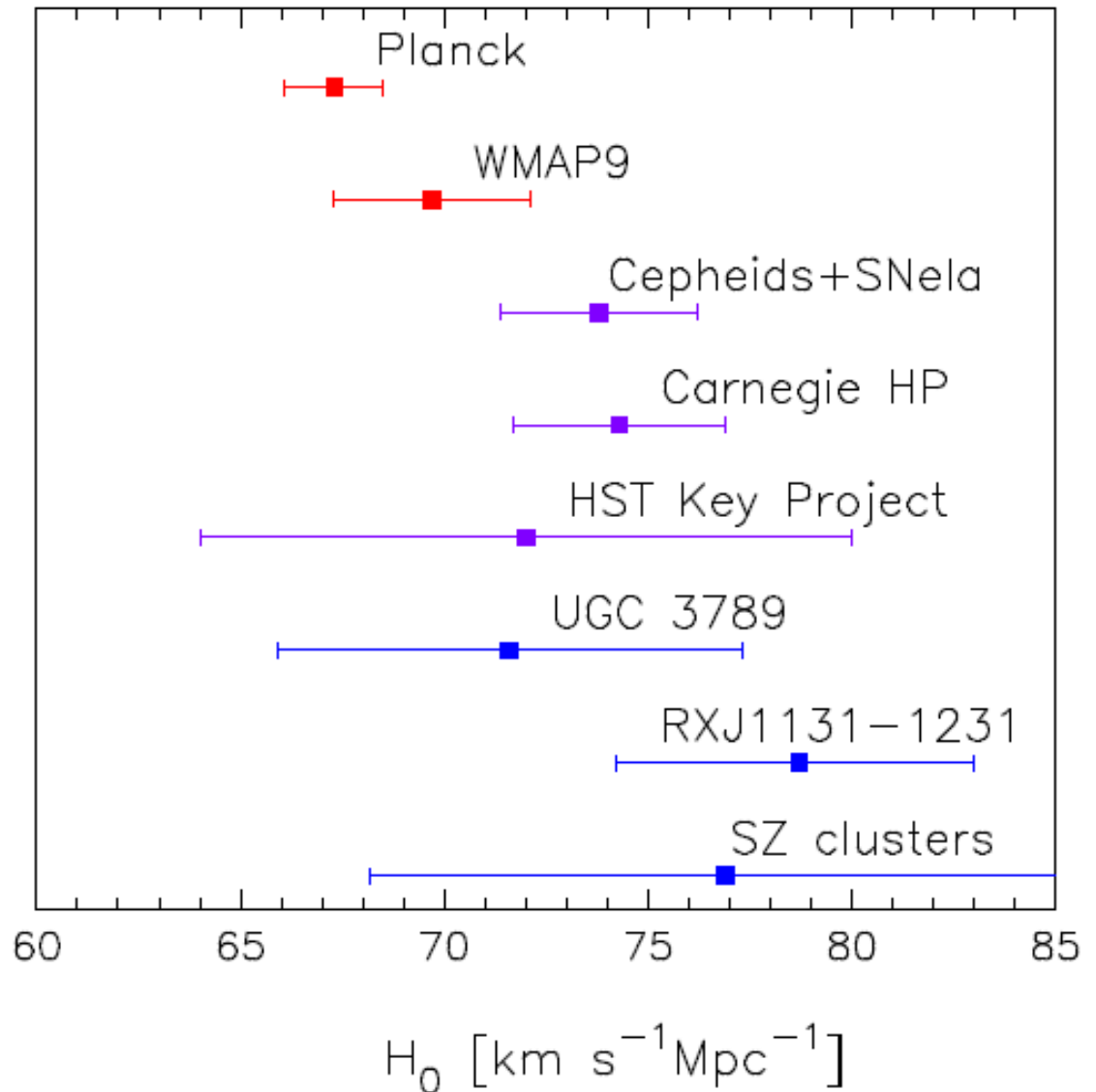
Planck

# 6-параметрическая $\Lambda$ CDM



# Постоянная Хаббла

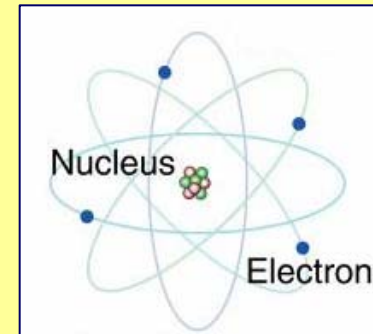
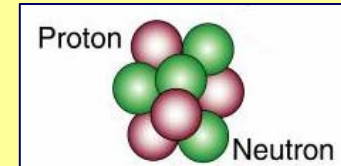
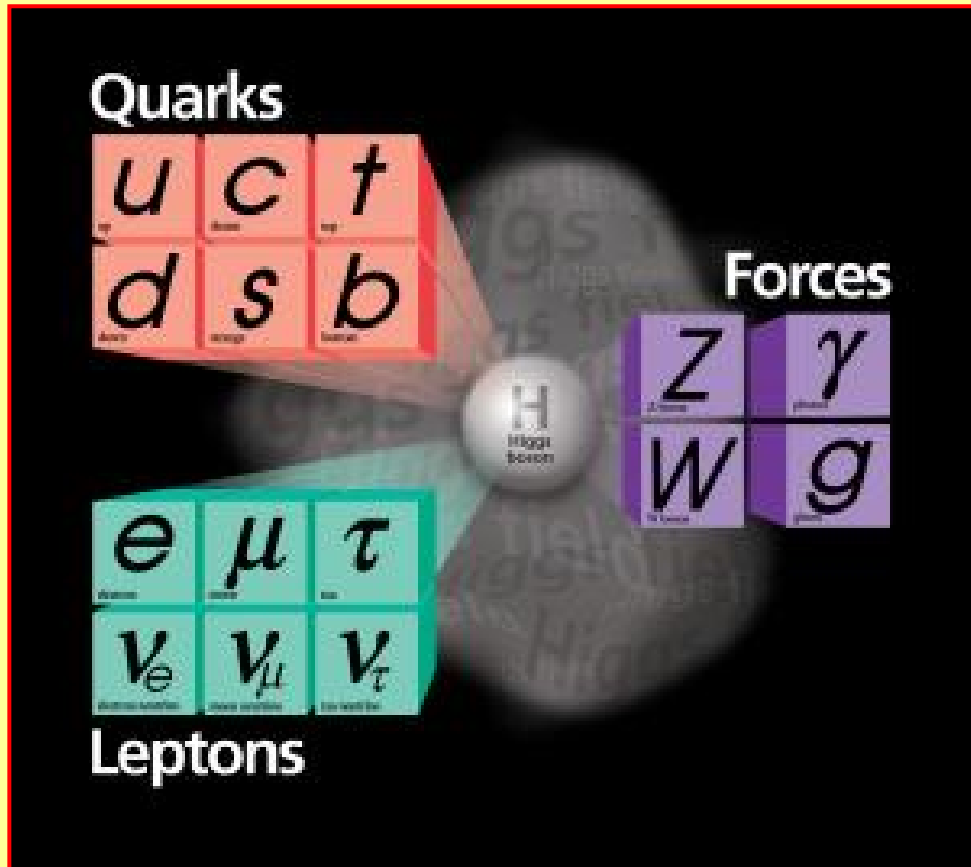
$$H_0 = 67.3 \pm 1.2 \text{ км/с/Мпк}$$





# Стандартная Материя

(протоны, нейтроны, атомы, молекулы)

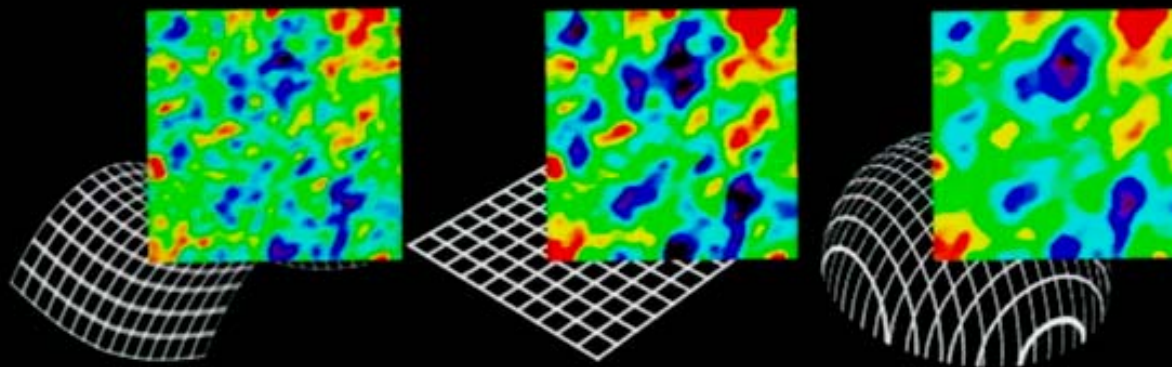
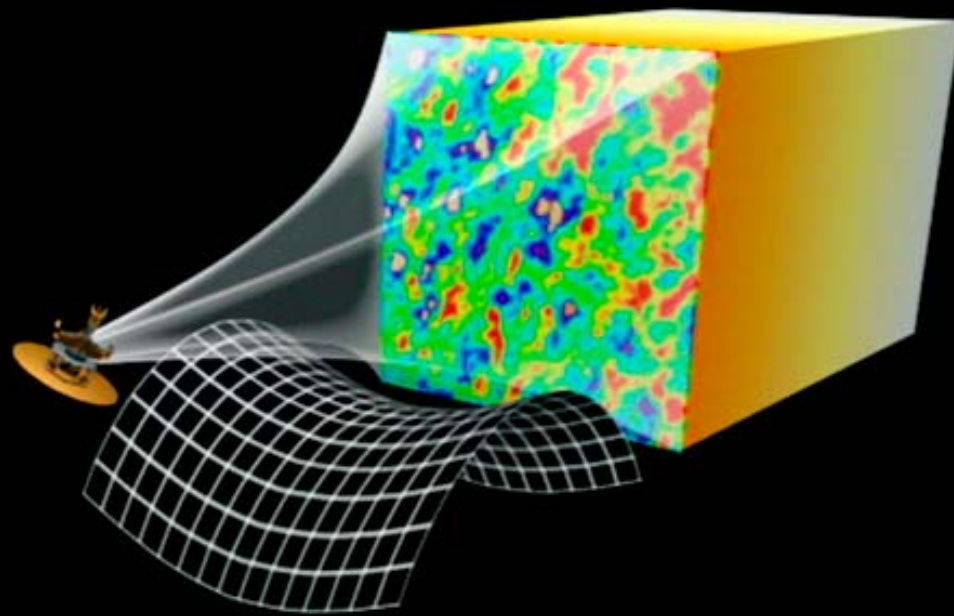


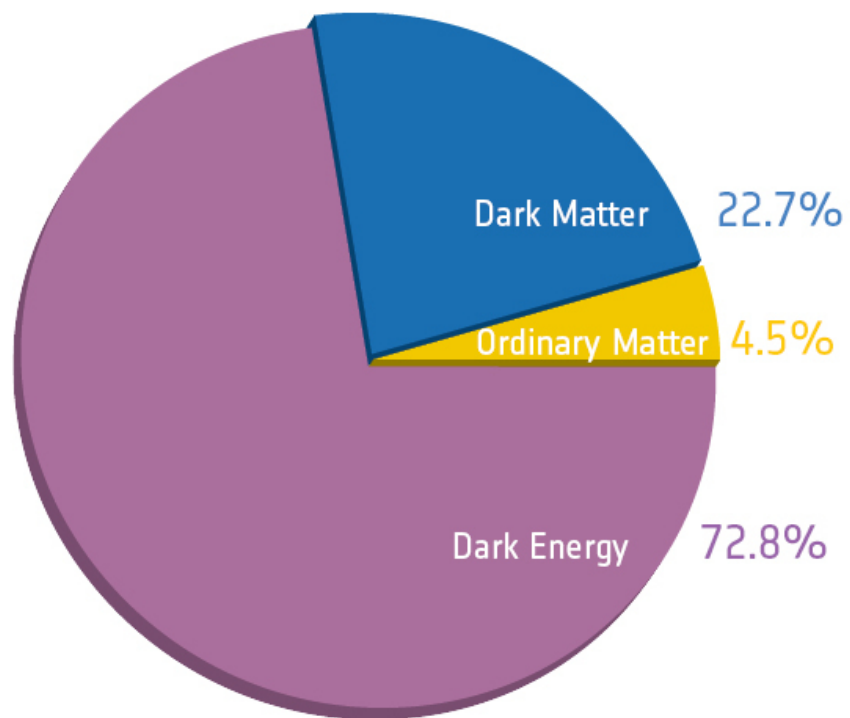
$$\Omega_b \approx 4.5 \rightarrow 4.9\%$$

# Топология Вселенной

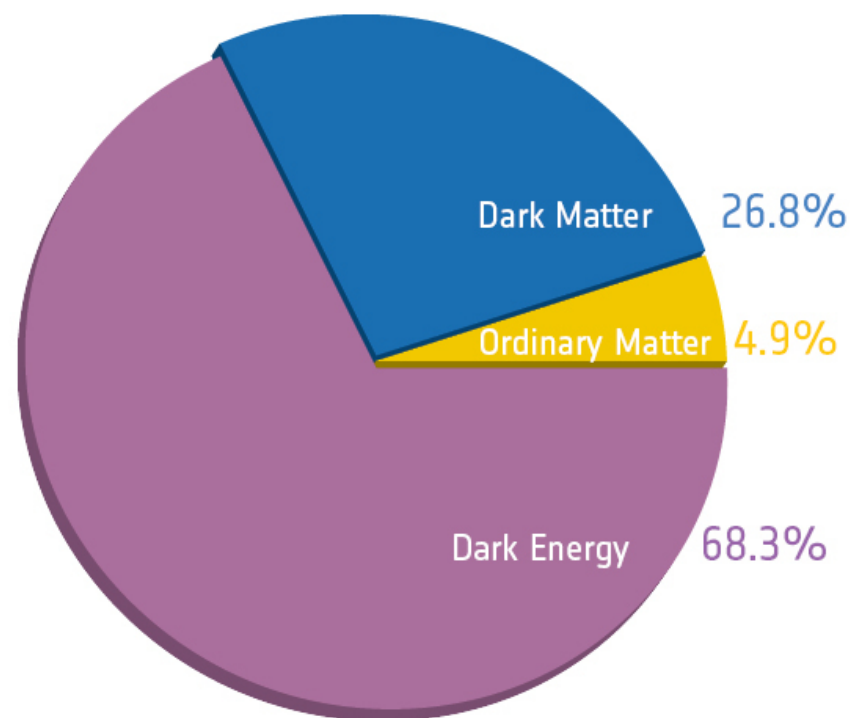
$$\Theta = (1.0415 \pm 0.0006) \times 10^{-2}$$

$$\Omega_{\text{tot}} \approx 1.001 \pm 0.006$$





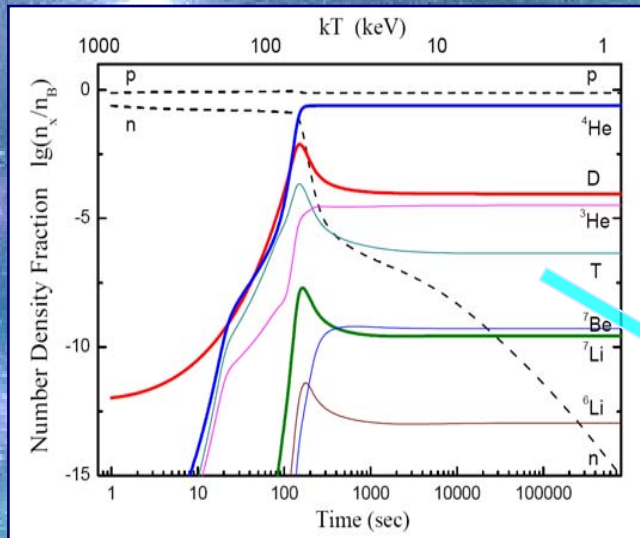
Before Planck



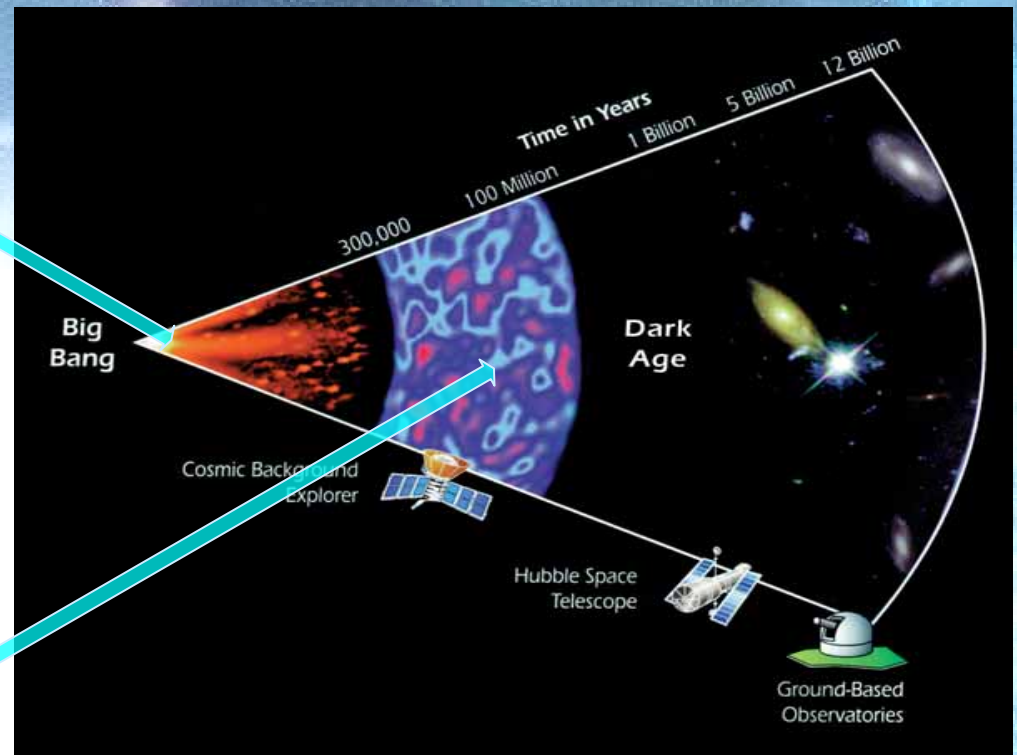
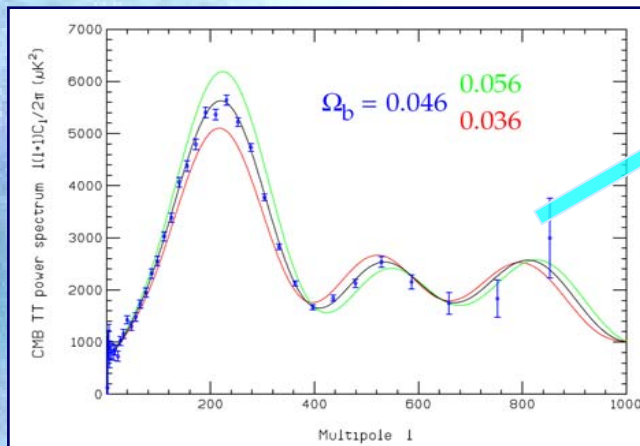
After Planck



# Темная материя (26%) небарионная !!!



4%



# Темная Материя

## Астрономические наблюдения

1. Динамика скоплений
2. Кривые вращения галактик
3. Гравитационное линзирование

Фриц  
Цвикки

1937г.



## Физическая природа ?

MOND

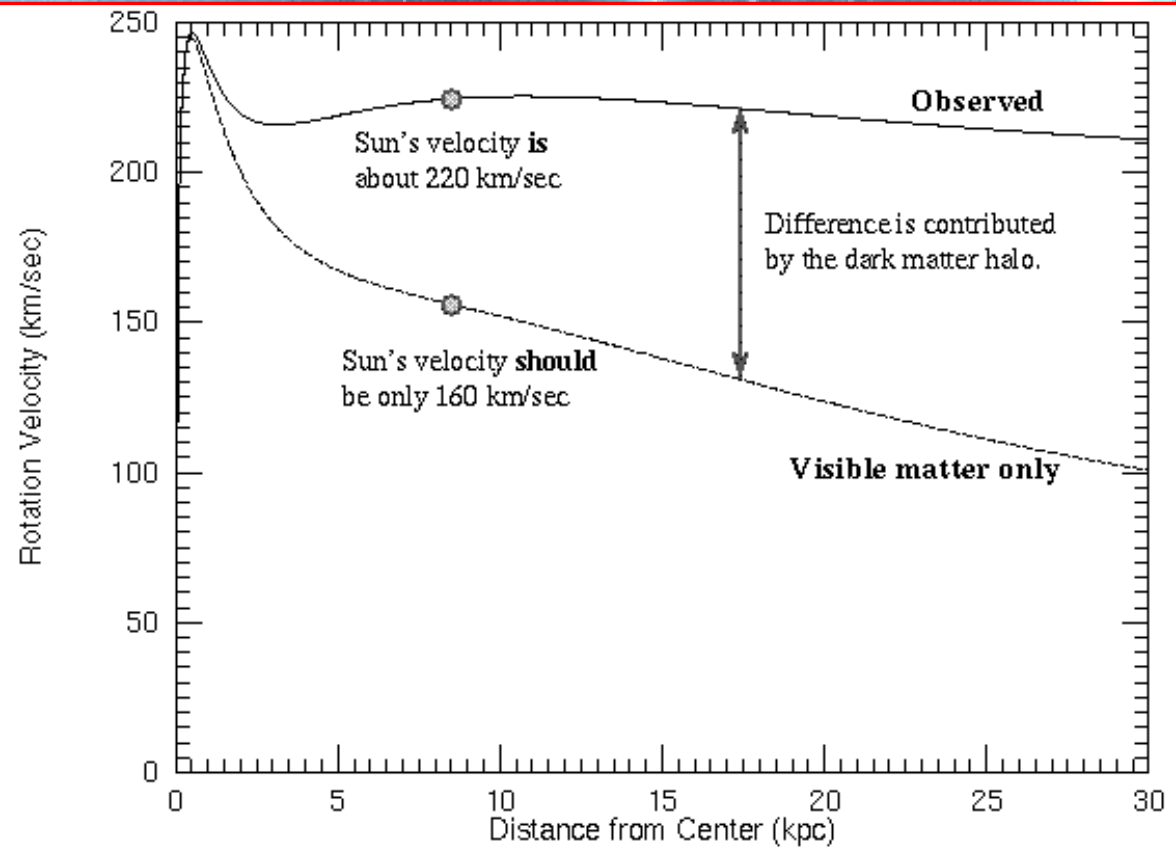
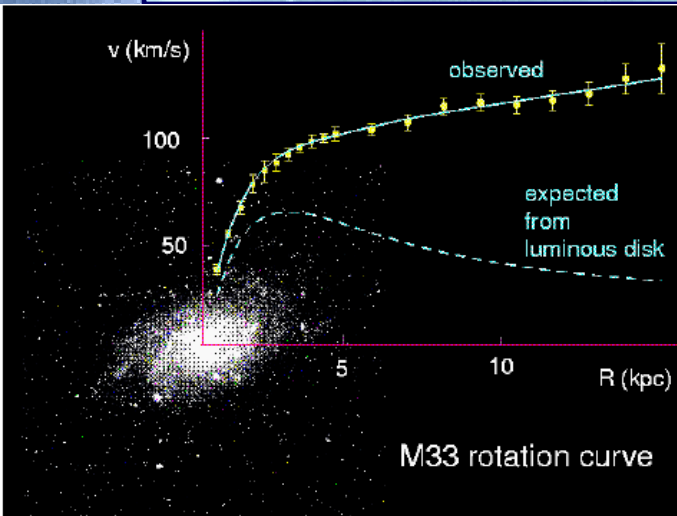
(Модифицированная  
Ньютоновская динамика)

или

Реликтовые  
Частицы

(за рамками стандартной  
модели)

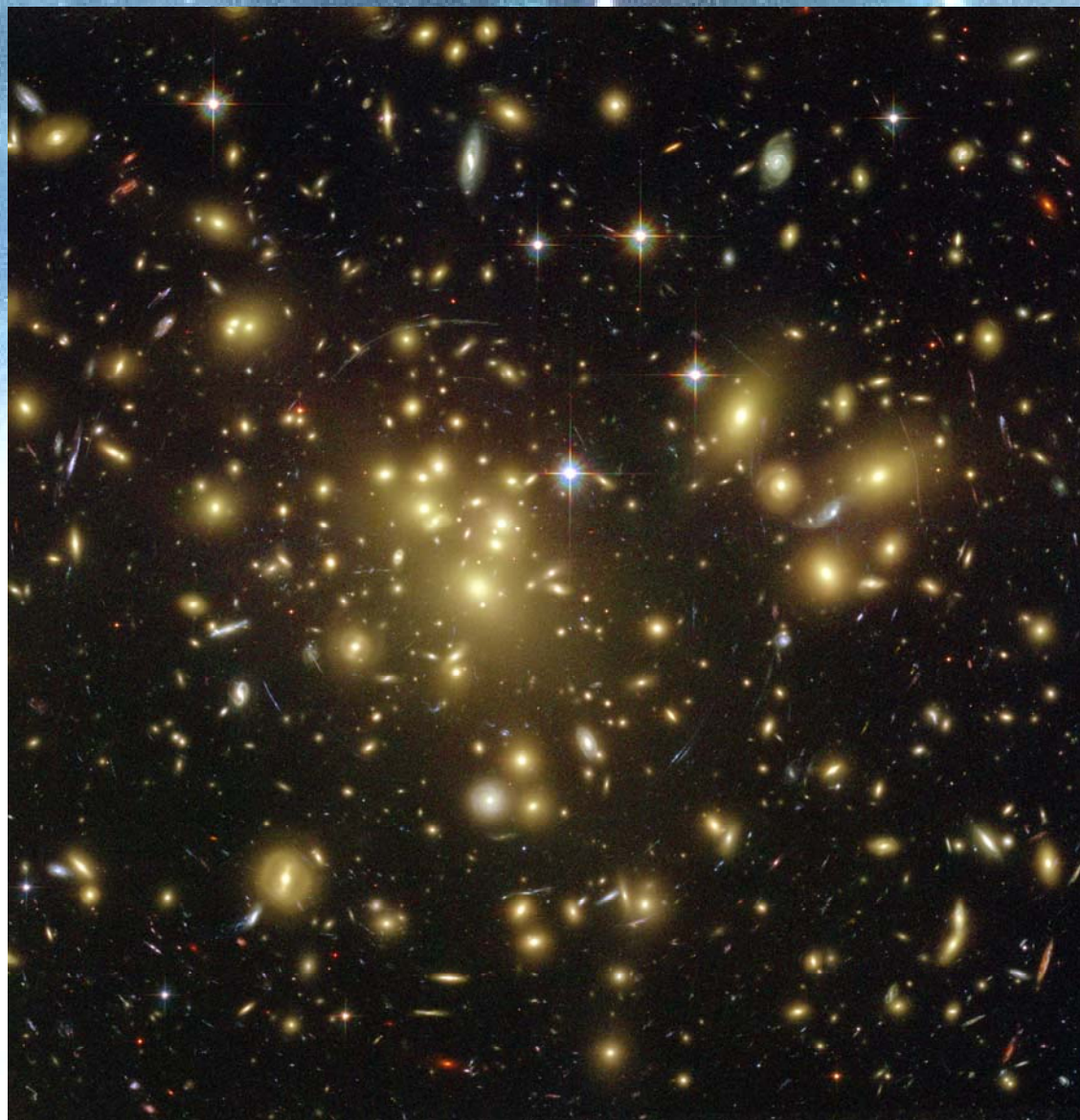
# Кривые вращения Галактик



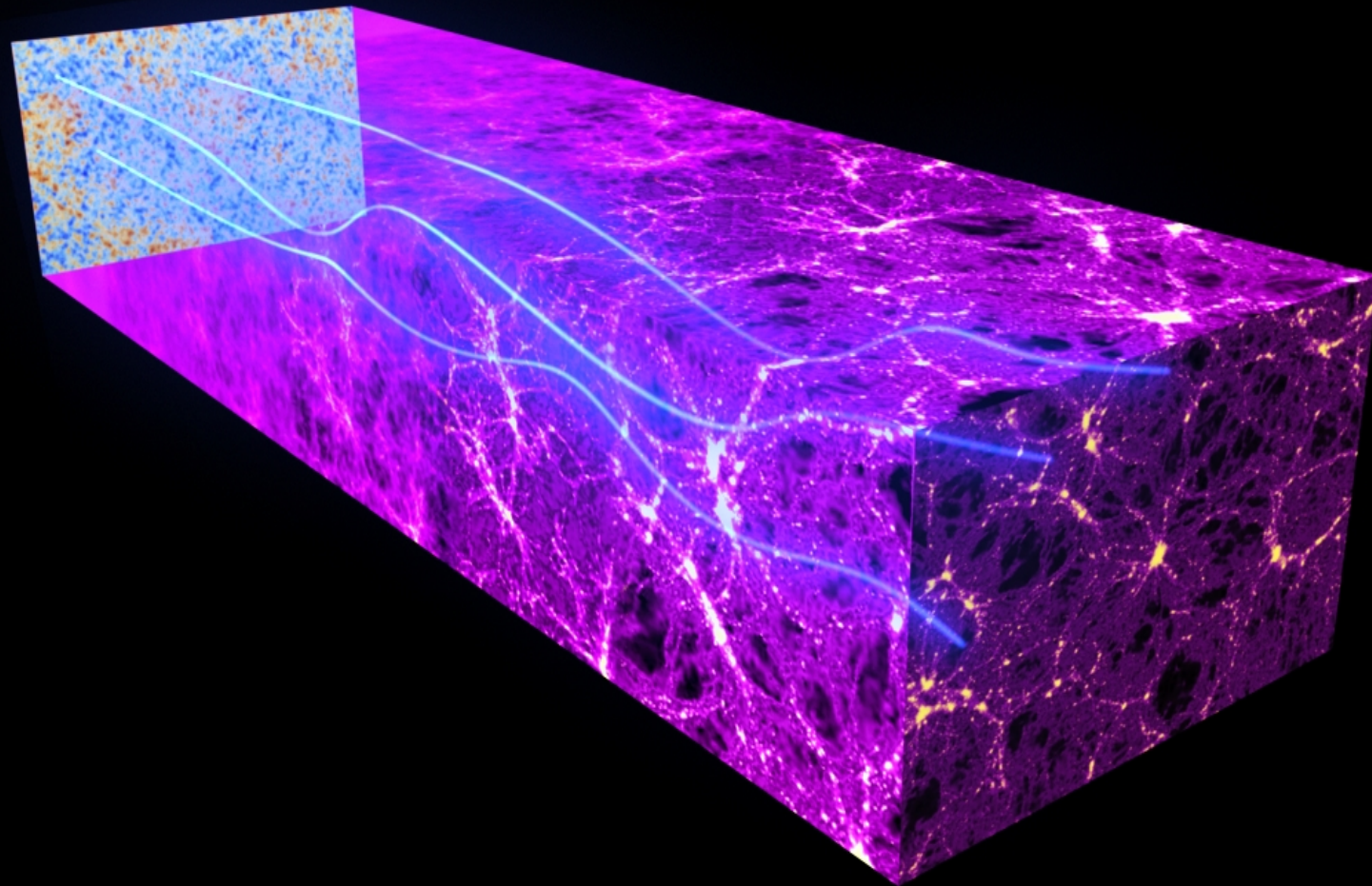
The gravity of the visible matter in the Galaxy is not enough to explain the high orbital speeds of stars in the Galaxy. For example, the Sun is moving about 60 km/sec too fast. The part of the rotation curve contributed by the visible matter only is the bottom curve. The discrepancy between the two curves is evidence for a **dark matter halo**.



Г  
Р л  
А и  
В н  
И з  
Т и  
А р  
Ц о  
И в  
О а  
Н н  
Н и  
О е  
Е

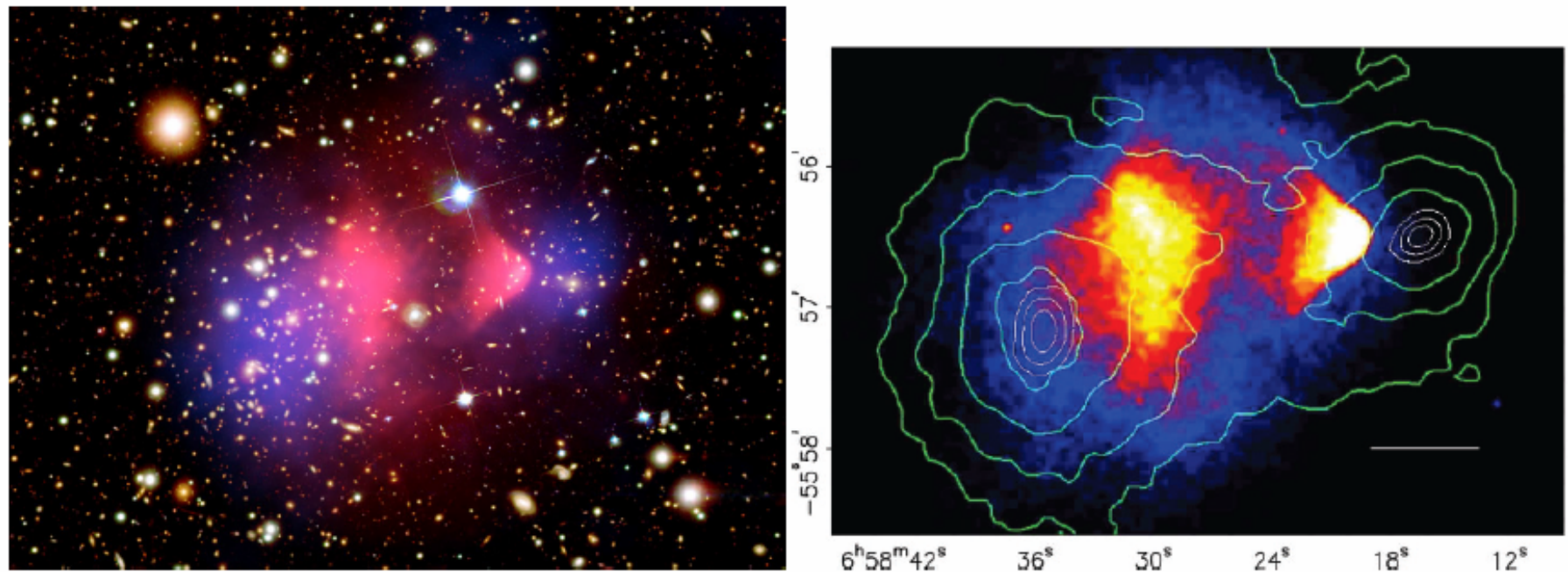


# Гравитационное линзирование СМВ (Планк 2013)





# Bullet cluster



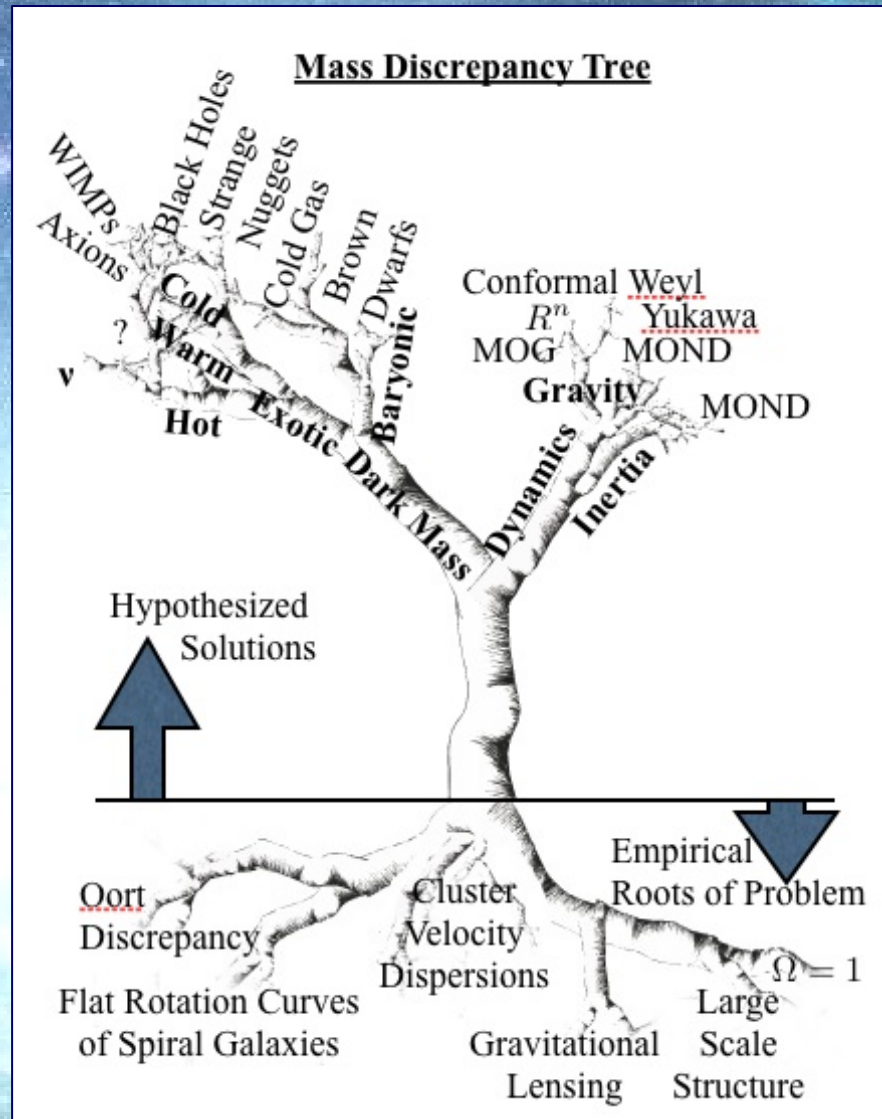
**FIGURE 5.** Left panel: the Bullet cluster (1E 0657-56) consists of two colliding cluster of galaxies. The smaller cluster that traversed the larger cluster is on the right. X-ray images come from Chandra (red), and the DM (blue) is obtained through lensing. Studies of the Bullet cluster, announced in August 2006, provide the best evidence to date for the existence of DM. The spatial offset of total mass-baryonic mass peaks cannot be explained using modified gravity, at  $8\sigma$  level. Right panel: Bullet cluster, mass density contours, in green, obtained through weak lensing, superimposed over photograph got from HST. (From Clowe[6])



# Природа Темной Материи

## WIMP

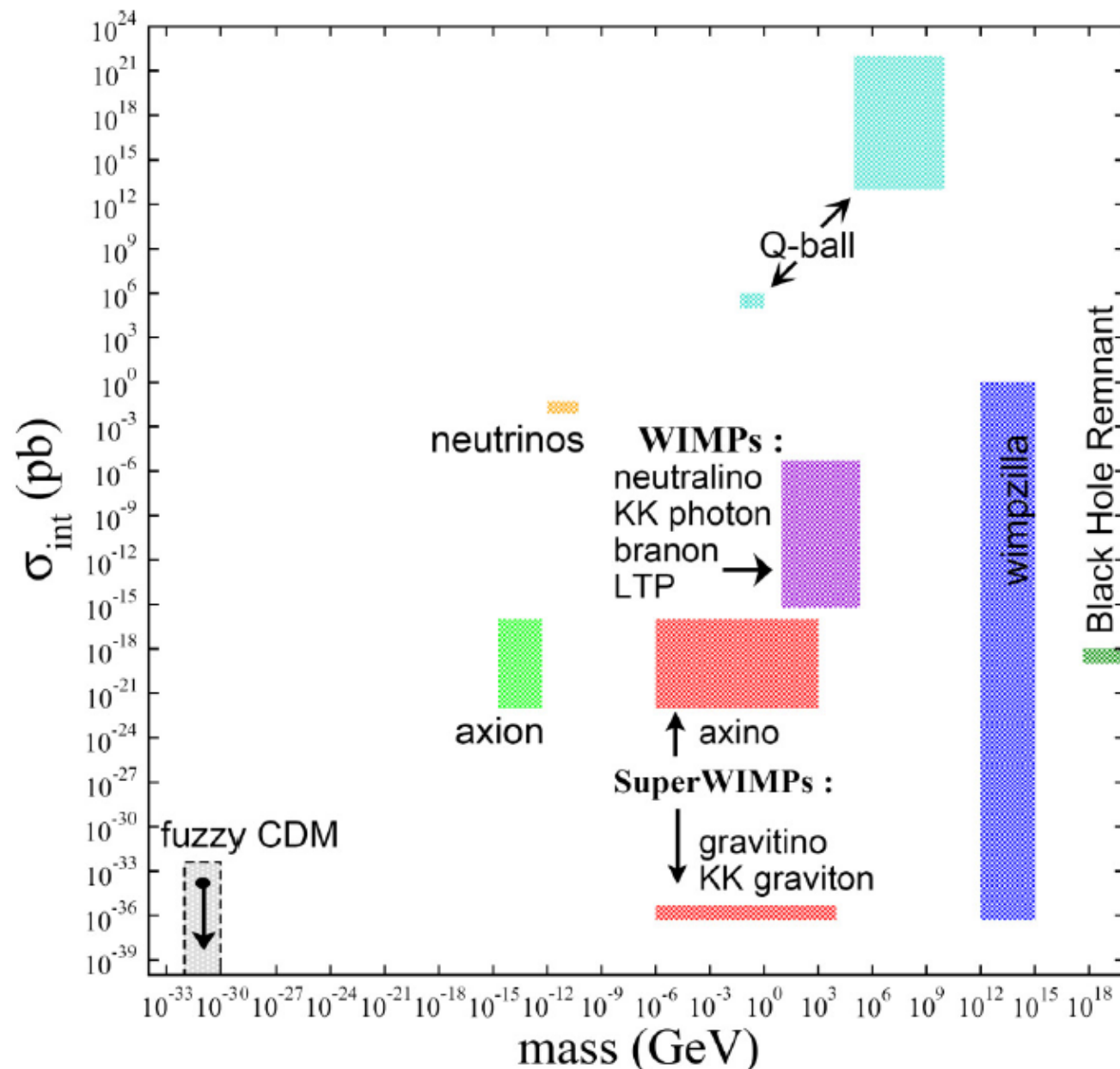
Слабо-  
Взаимодейс-  
твующие  
Массивные  
Частицы



## MOND

Модифици-  
рованные  
Ньютоновск-  
ие  
Гравитации

# Кандидаты в DM



# Методы исследования Темной Материи

Косвенные

Астрофизические

Космологические

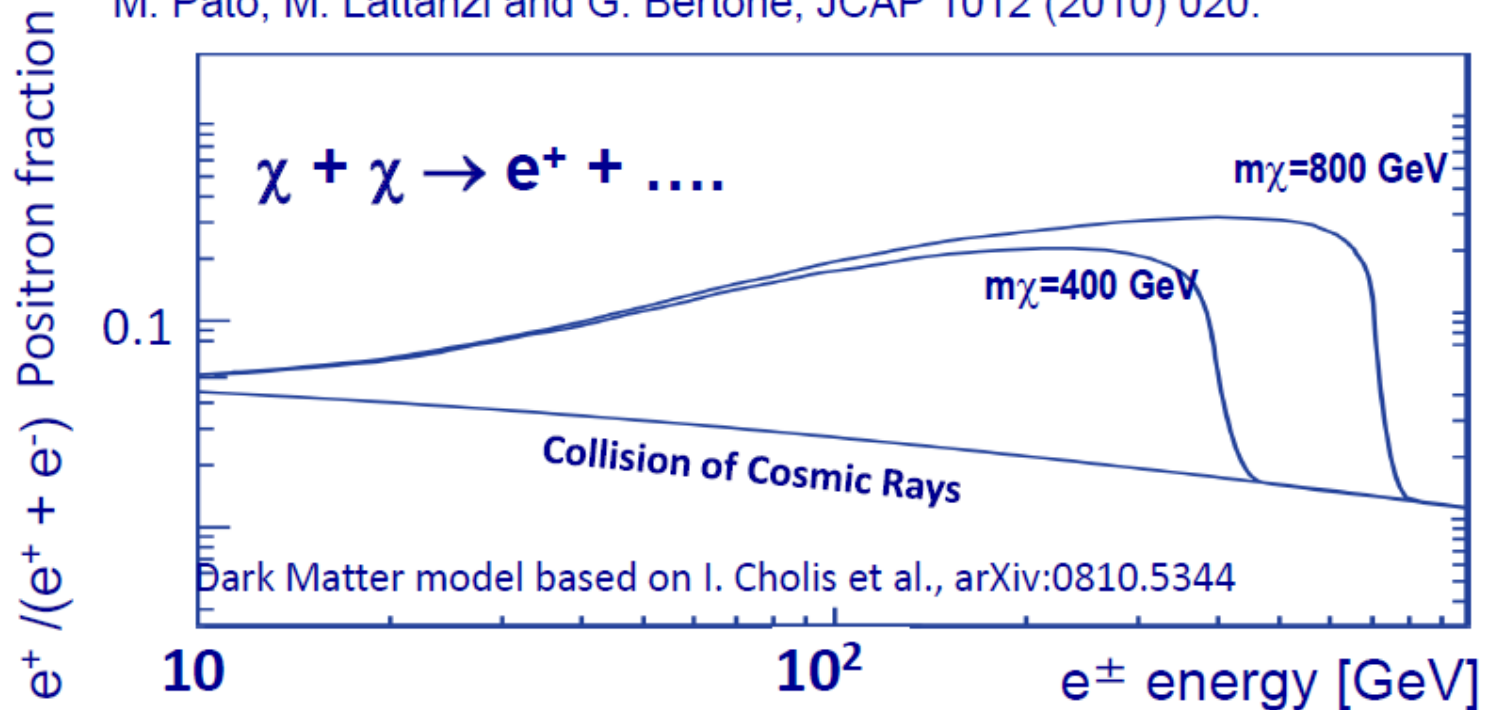
Прямые

Ускорители

Детекторы

## Physics of Positron Fraction

M. Turner and F. Wilczek, Phys. Rev. D42 (1990) 1001;  
J. Ellis, 26th ICRC Salt Lake City (1999) astro-ph/9911440;  
H. Cheng, J. Feng and K. Matchev, Phys. Rev. Lett. 89 (2002) 211301;  
S. Profumo and P. Ullio, J. Cosmology Astroparticle Phys. JCAP07 (2004) 006;  
D. Hooper and J. Silk, Phys. Rev. D 71 (2005) 083503;  
E. Ponton and L. Randall, JHEP 0904 (2009) 080;  
G. Kane, R. Lu and S. Watson, Phys. Lett. B681 (2009) 151;  
D. Hooper, P. Blasi and P. D. Serpico, JCAP 0901 025 (2009) 0810.1527; B2  
Y-Z. Fan et al., Int. J. Mod. Phys. D19 (2010) 2011;  
M. Pato, M. Lattanzi and G. Bertone, JCAP 1012 (2010) 020.





Positron fraction

$10^{-1}$

1

10

po

$\log_{10}(e^+/e^+ + e^-)$

-0.5

-1.0

-1.5

-2.0

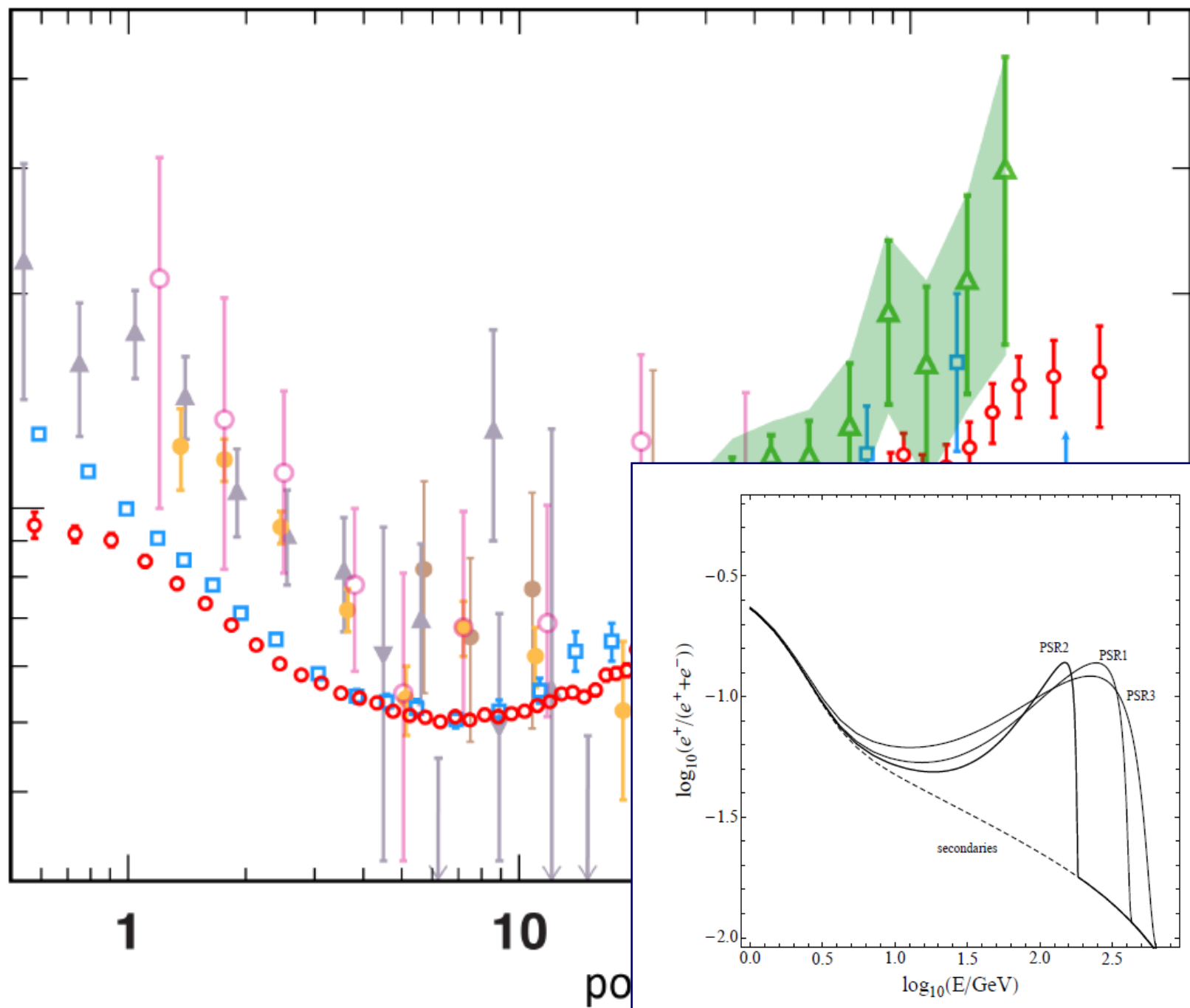
secondaries

PSR2

PSR1

PSR3

$\log_{10}(E/\text{GeV})$



# Прецизионная КОСМОЛОГИЯ

LSS & QM  
Фон гравволн

ESA Mission Planck - Launch In

2009



Фундаментальные  
поля и частицы

Скалярные поля,  
Суперсимметрия

Благодарю  
за  
внимание

