

Наблюдательные проявления темной материи

Сильченко О.К.
ГАИШ МГУ

Первые подозрения о существовании темной материи – скрытая гравитирующая масса галактик

- Цвикки (50е-60е годы 20в): дисперсия скоростей галактик в скоплениях намного больше требуемой вириальным соотношением – разлет скоплений?
- Босма (1977): кривые вращения галактик, полученные по HI 3A пределами звездных дисков, - плоские

Современные свидетельства существования скрытой массы в галактиках

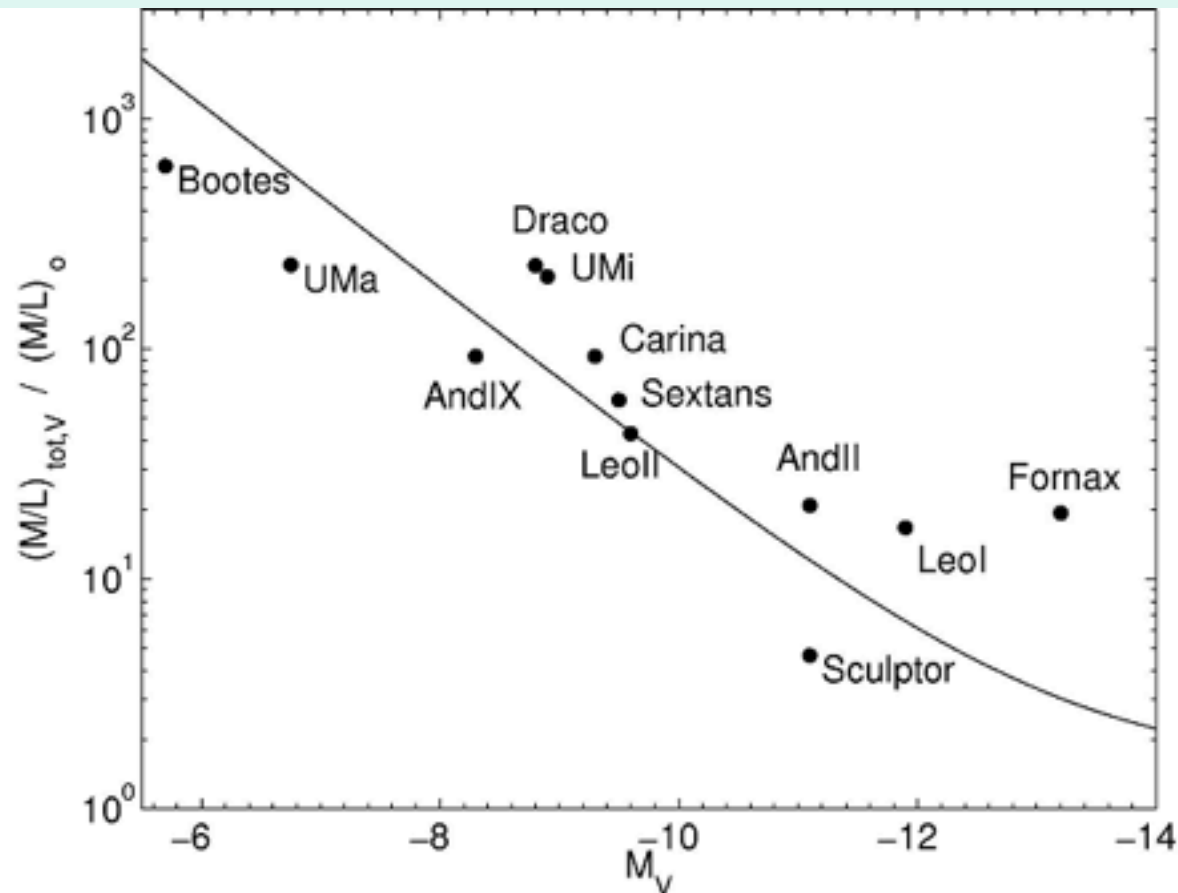
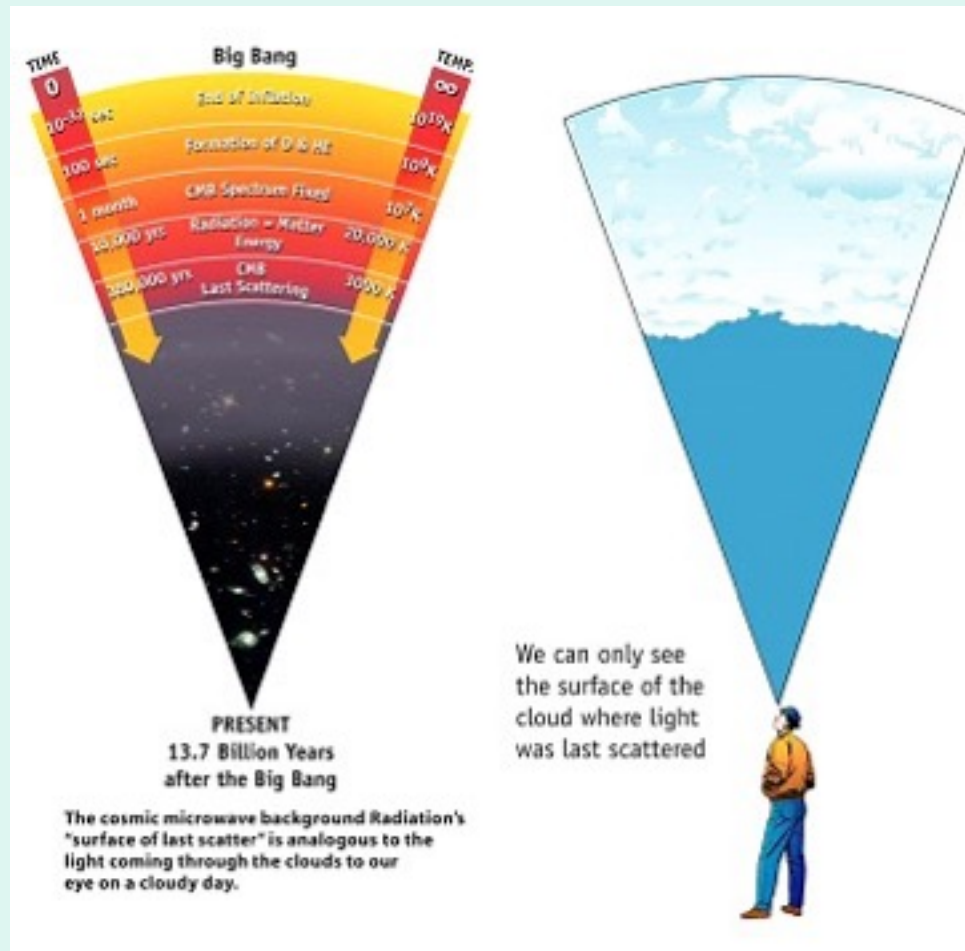


Fig. 5.— An updated Mateo plot. Mass-to-light ratios are plotted versus absolute magnitudes for Local Group dwarf galaxies, following a style suggested by Mateo [Mateo et al (1993);(1998, his fig 9, lower panel)]. The solid line is the relation for a constant mass (dark) halo.

Необходимость темной материи в космологии. В расширяющейся Вселенной:

- Температура падает как $(1+z)$.
- Современная температура реликта – около 3 К; рекомбинации соответствует около 3000 К; \rightarrow красное смещение эпохи рекомбинации около 1000.
- Это значит, что после рекомбинации флуктуации барионной плотности могут вырасти только в 1000 раз; а флуктуации реликтового фона $\sim 10^{-5}$.

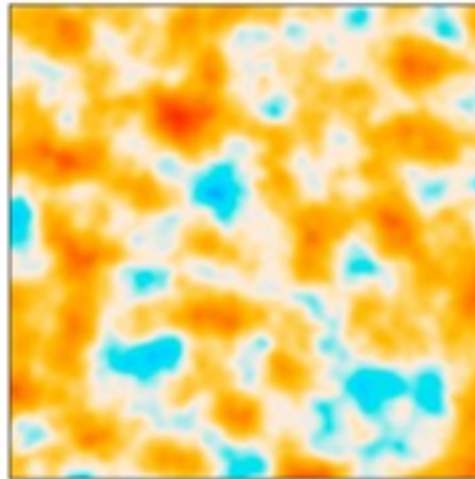
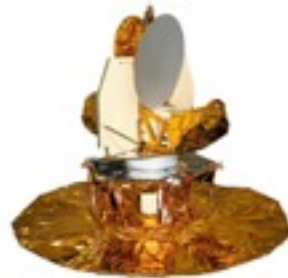
Реликтовый фон=поверхность последнего рассеяния



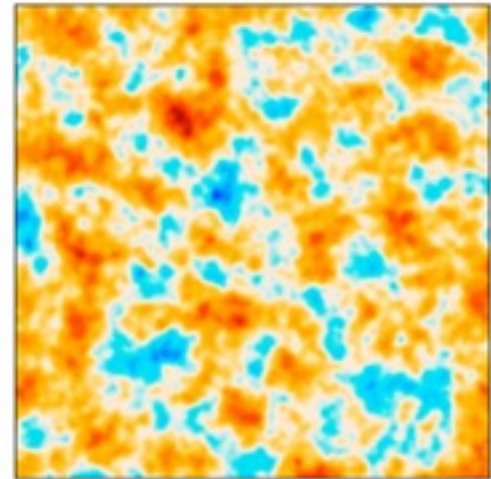
Космические обзоры распределения температуры СМВ по всему небу



COBE

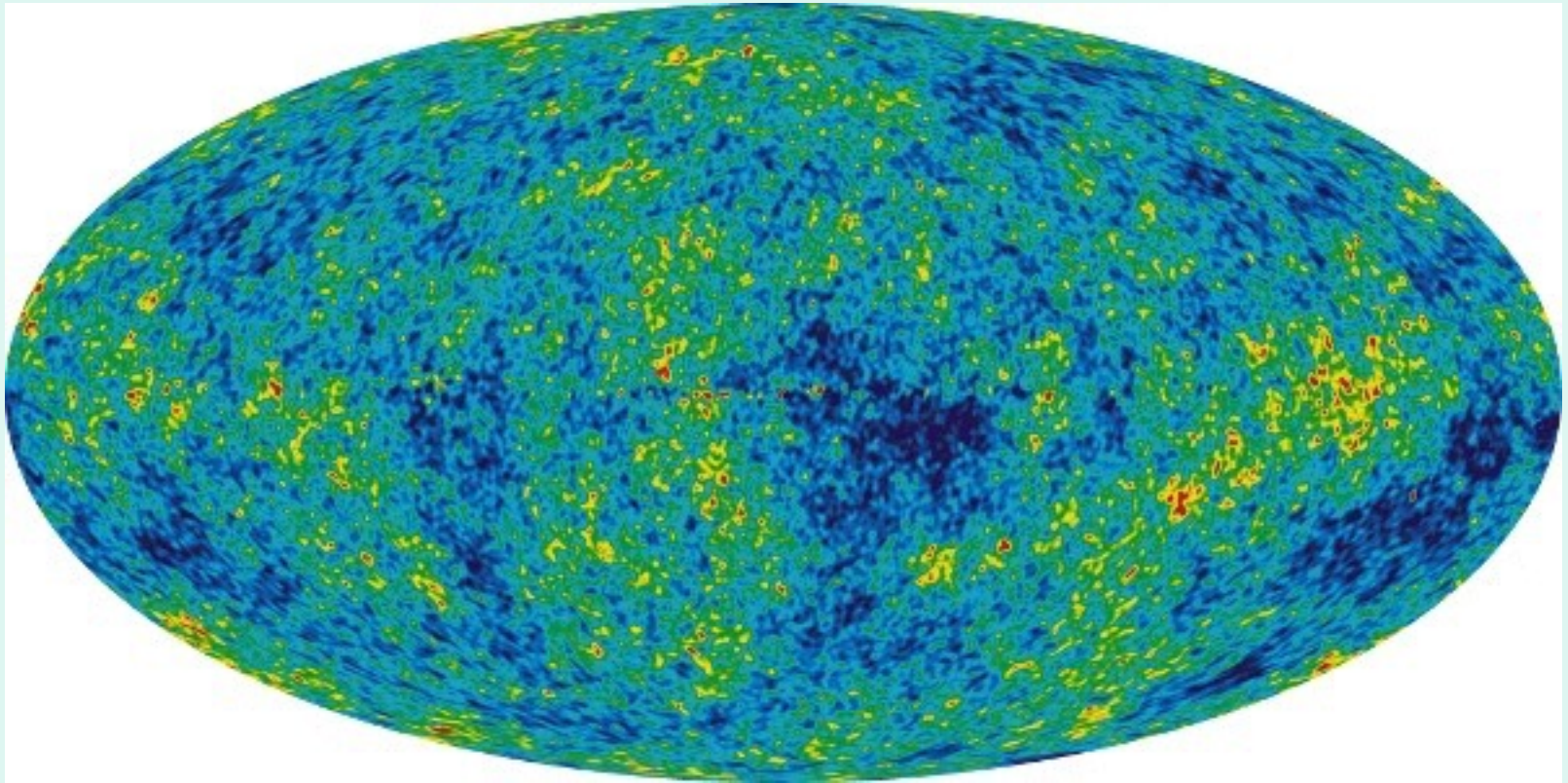


WMAP

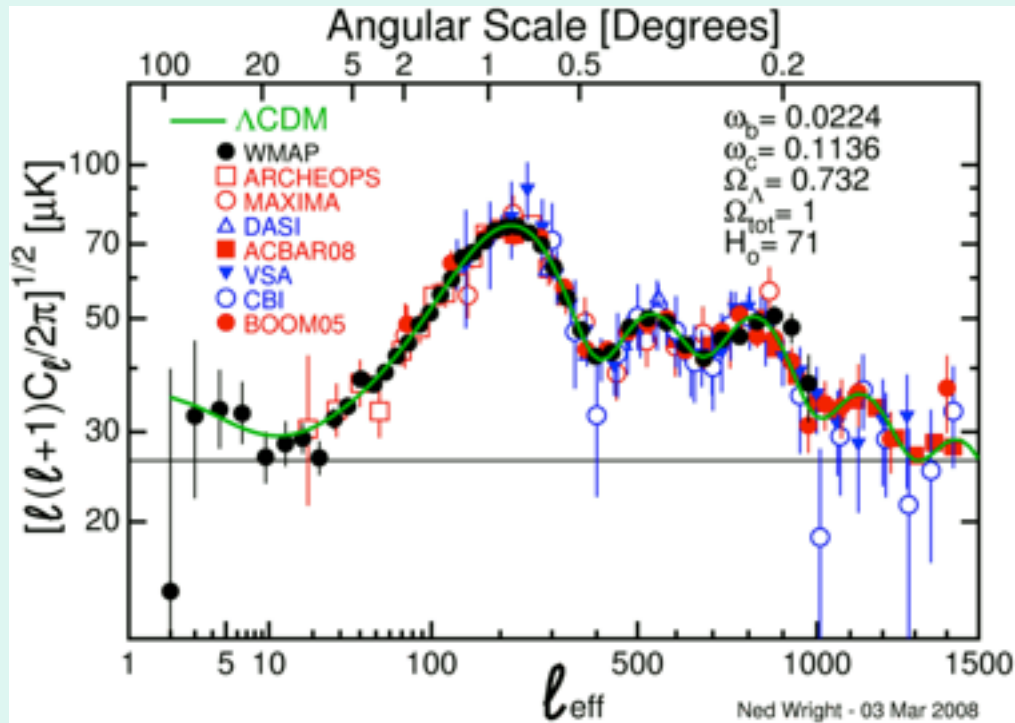


Planck

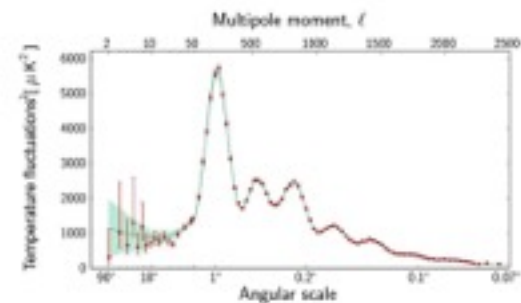
Флуктуации реликтового фона



Спектр мощности флуктуаций реликтового фона



- Положение первого акустического пика=плоская геометрия (с процентной точностью)



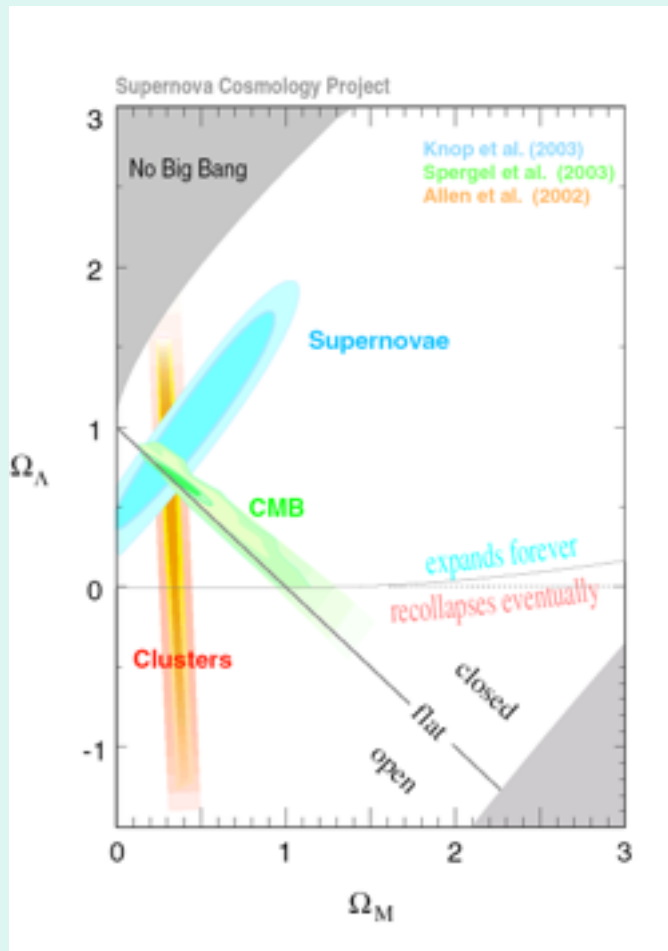
Результаты 9го года WMAP (Bennett et al. 2013, Hinshaw et al. 2013):

- $H_0 = 69.32 \pm 0.80$ км/с/Мпк
- Возраст Вселенной 13.772 ± 0.059 млрд лет
- Плотность барионная – 4.64% от критической, плотность темной материи – 23.5% от критической, плотность темной энергии – 71.85%

Результаты 2018 Planck (Aghanim et al. 2018):

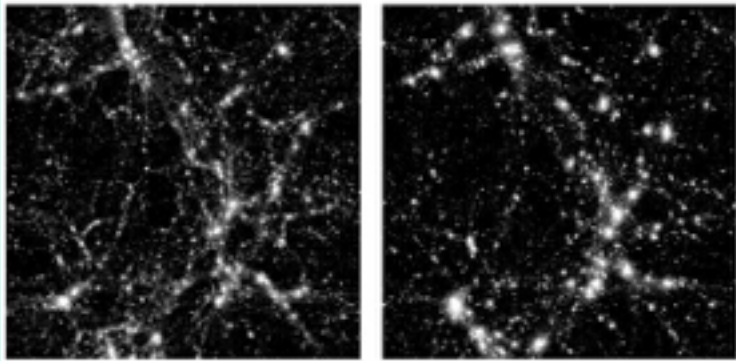
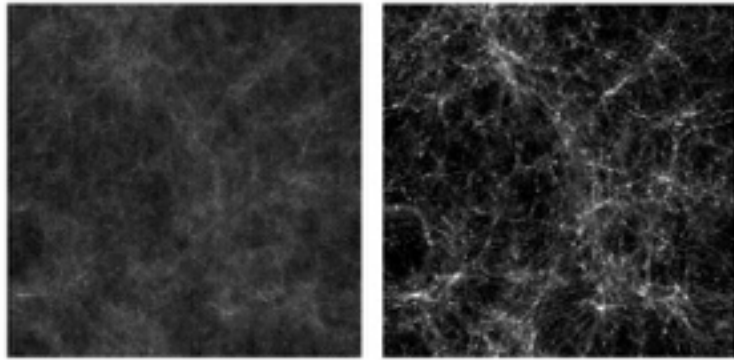
- $H_0 = 67.36 \pm 0.54$ км/с/Мпк
- Возраст Вселенной 13.797 ± 0.023 млрд лет
- Плотность барионная – 4.93% от критической, плотность темной материи – 26.4% от критической, плотность темной энергии – 68.5%

Космология с комбинированными наблюдательными данными



- Сопоставление сверхновых, спектра флуктуаций реликтового фона и статистики близких скоплений галактик позволяет точно определить космологические параметры:
- $\Omega_m = 0.3$, $\Omega_\Lambda = 0.7$

Эволюция крупномасштабной структуры: темная материя - ХОЛОДНАЯ



- Основной механизм – иерархическое скучивание материи под действием гравитационной неустойчивости
- Подбор параметров – чтобы получить правильную конечную картину к моменту $z=0$

Получено согласие теоретической крупномасштабной структуры по темной материи и наблюдаемой крупномасштабной структуры по галактикам

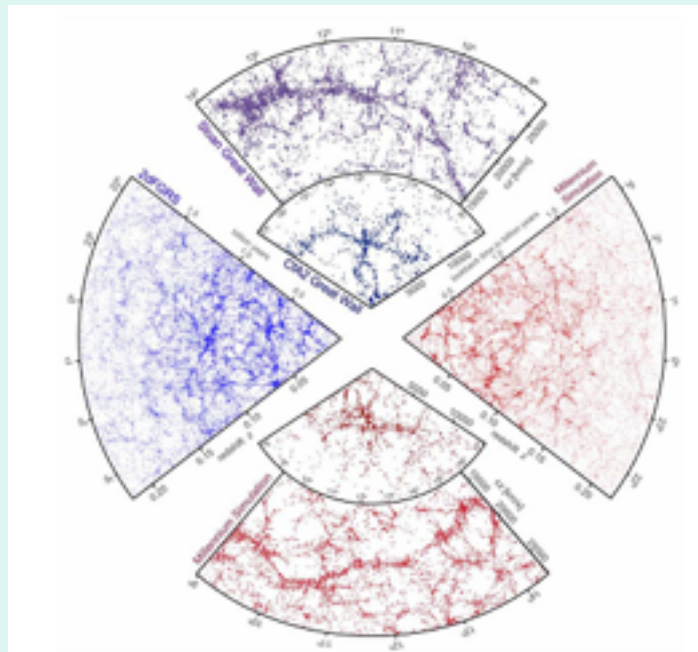
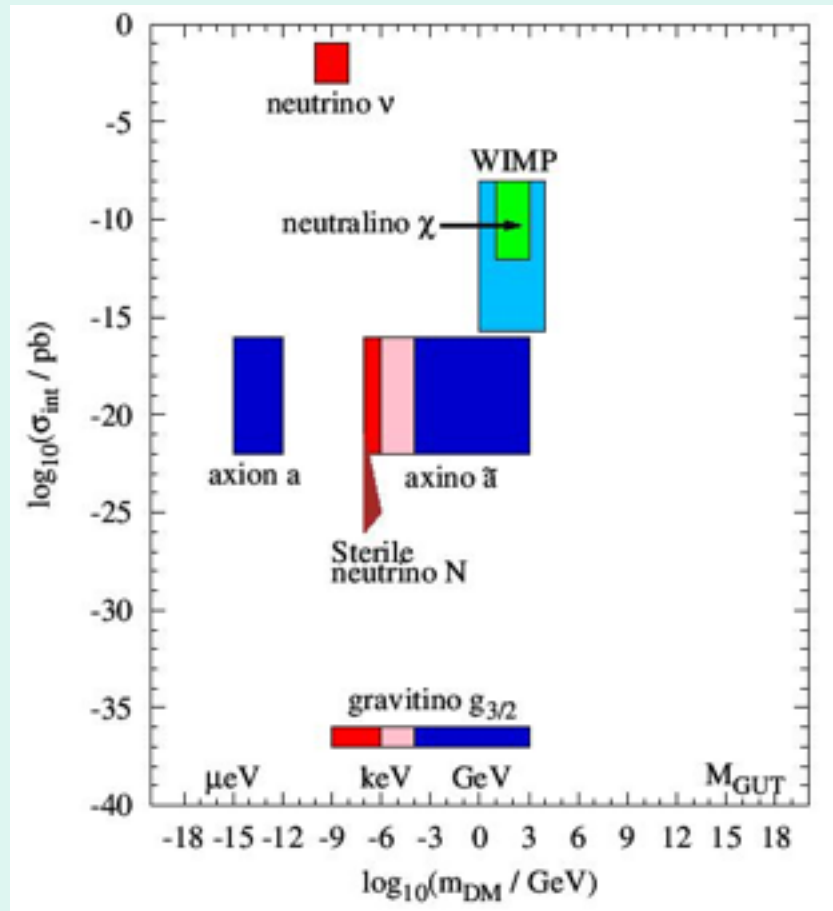


Figure 1: The galaxy distribution obtained from spectroscopic redshift surveys and from mock catalogues constructed from cosmological simulations. The small slice at the top shows the CIA2 "Great Wall", with the Coma cluster at the center. Drawn to the same scale is a small section of the SDSS, in which an even larger "Sloan Great Wall" has been identified^[10]. This is one of the largest observed structures in the Universe, containing over 10,000 galaxies and stretching over more than 1.37 billion light years. The wedge on the left shows one-half of the 2dFGRS, which determined distances to more than 220,000 galaxies in the southern sky out to a depth of 2 billion light years. The SDSS has a similar depth but a larger solid angle and currently includes over 650,000 observed redshifts in the northern sky. At the bottom and on the right, mock galaxy surveys constructed using semi-analytic techniques to simulate the formation and evolution of galaxies within the evolving dark matter distribution of the "Millennium" simulation³ are shown, selected with matching survey geometries and magnitude limits.

Природа темной материи

- WIMP?
- Стерильные нейтрино?
- Первичные черные дыры?
- Неизвестные частицы,
РАСПАДАЮЩИЕСЯ на космологических
временах?

Частицы-кандидаты в темную материю



Эксперименты по поиску темной материи

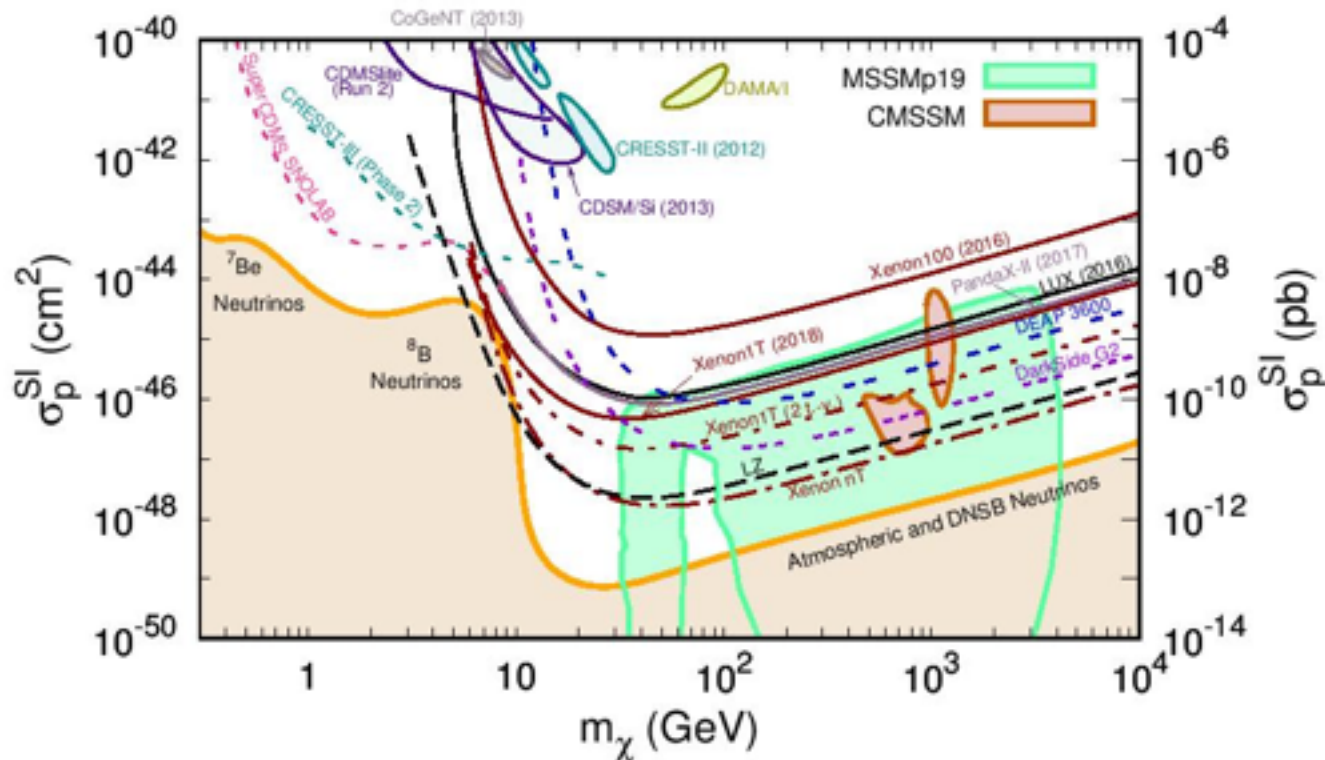


Figure 5: Current and future limits on DM direct detection spin-independent cross section, σ_p^{SI} , as a function of DM mass, m_χ . The current limits are shown with solid black (LUX [171]), gray (PandaX-II [172]), brown (XENON100 [197] and XENON1T [170]) and violet (CDMSlite-II [173]) lines. Future projections correspond to CRESST-III (Phase 2) [208] (light blue), DarkSide G2 [206] (violet triple-dashed line), DEAP3600 [204] (blue double-dashed line), LZ [202] (black long-dashed line), SuperCDMS at SNO-LAB [207] (pink short-dashed line) as well as XENON1T/nT [201] (brown dash-dotted lines). We also show the 95% C.L. region for the 19-parameter version of the MSSM (green shaded area) [209] and posterior plot for the allowed parameter space of the CMSSM (brown area enclosed with the solid brown line) [210].

Суммируем:

- Гравитирующая темная материя необходима, чтобы согласовать эволюцию структуры Вселенной с наблюдениями.
- Физики готовы допустить, что частицы темной материи – еще не открытые элементарные частицы за пределами Стандартной модели.
- Однако никаких сигналов существования этих частиц в эксперименте пока не обнаружено.