

The background of the slide is a Cosmic Microwave Background (CMB) fluctuation map, showing a complex pattern of blue, yellow, and red spots representing temperature variations in the early universe.

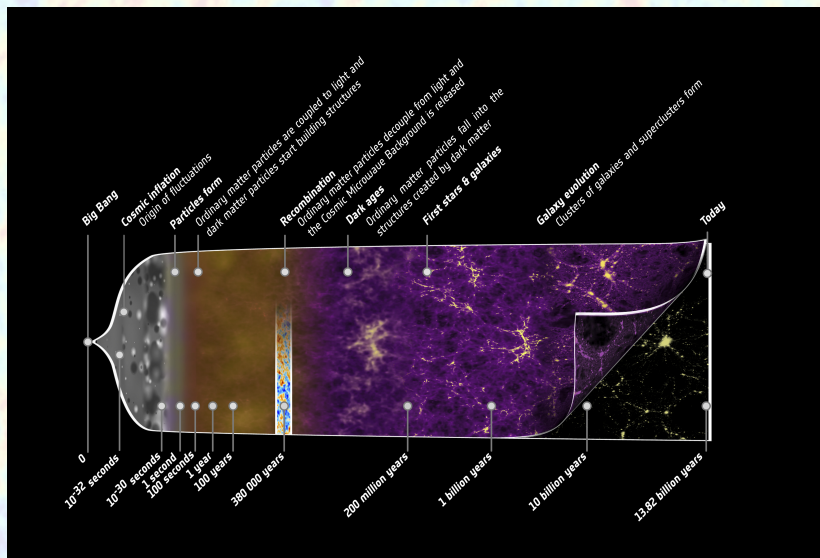
Первые результаты спутника Planck: космология как точная наука

Г.И. Рубцов

физический факультет МГУ,
11 апреля 2013 г.

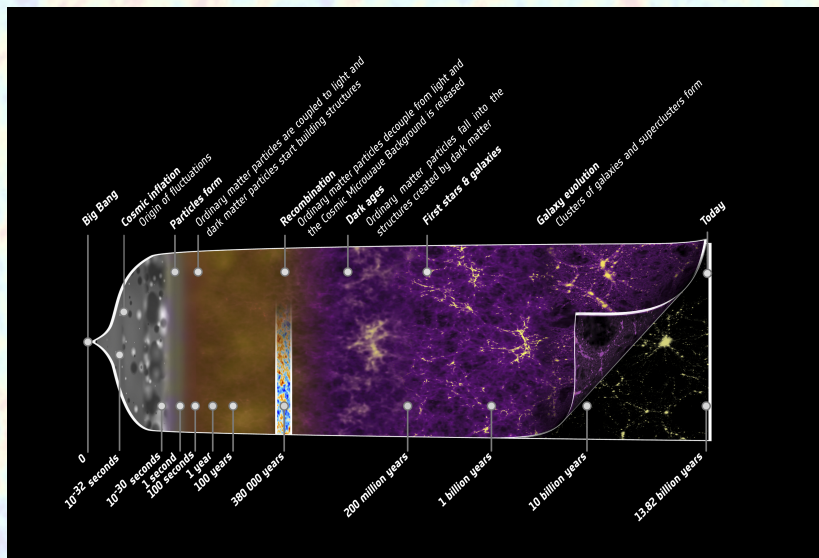
- ▶ Введение: этапы эволюции Вселенной
- ▶ Спутник Planck: миссия и результаты
- ▶ Космология с новой точностью
 - ▶ состав Вселенной
 - ▶ нормальна ли наша Вселенная?
 - ▶ поздняя эволюция: образование структур
 - ▶ первые три пикосекунды: мир, как квантовая флуктуация
- ▶ Перспективы исследований

Этапы эволюции Вселенной



Все эти стадии отражаются на карте Planck!

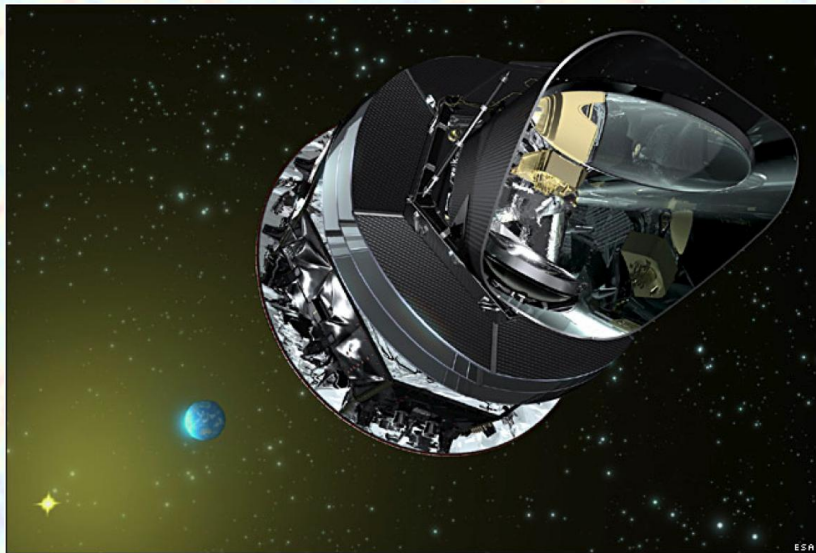
Этапы эволюции Вселенной



Все эти стадии отражаются на карте Planck!

- ▶ Вселенная впервые стала прозрачной для света после рекомбинации протонов и электронов
 - ▶ Возраст: 380 тысяч лет
 - ▶ $T = 2700 \text{ K}$
 - ▶ $\lambda \sim 1.8 \mu m$
- ▶ Наблюдаемое микроволновое излучение - реликт той эпохи
 - ▶ сейчас $T = 2.7 \text{ K}$, $\nu_{max} = 160 \text{ GHz}$, $\lambda = 1.873 \text{ mm}$
 - ▶ для сравнения: микроволновка 2.5 GHz , GSM связь 1.8 GHz
- ▶ Микроволновое излучение анизотропно
 - ▶ фотография эпохи рекомбинации
более точно: радиограмма Вселенной
 - ▶ линзирование скоплениями галактик
 - ▶ размытие за счет неодновременности рекомбинации

Спутник Planck

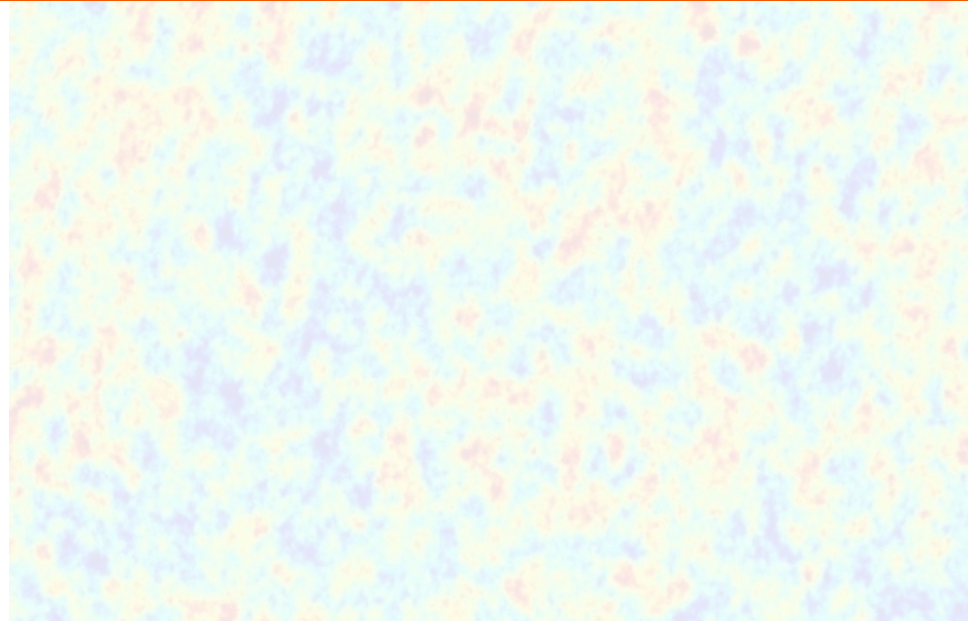


- ▶ Принципиальная схема: зеркало + набор радиоантенн с узкой диаграммой направленности, настроенных на разные частоты
- ▶ Два прибора:
 - ▶ LFI - Low Frequency Instrument (30, 44, 70 GHz), охлажден до 20 K (He-4)
 - ▶ HFI - High Frequency Instrument (100, 144, 217, 353, 545, 857 GHz), охлажден до 0.1 K (He-3)
- ▶ Угловое разрешение до 5' (HFI)
- ▶ Расположен в Лагранжевой точке на орбите вокруг Солнца
- ▶ Измеряет карту неба за 6 месяцев
- ▶ Дата старта: 14 мая 2009 г.
- ▶ Сейчас миссия HFI завершилась, LFI до конца года

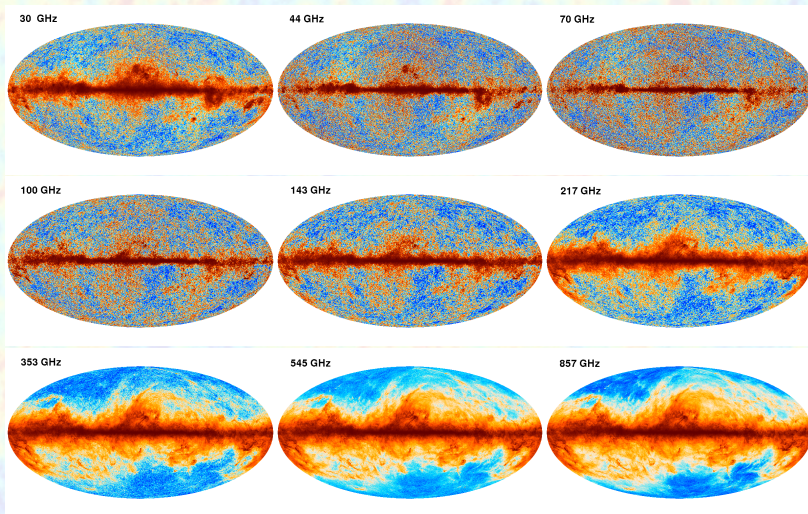
Самое ожидаемое событие в космологии в 2013 г.

- ▶ Данные за 15 месяцев наблюдения (примерно половина).
- ▶ Пресс-релиз:
http://spaceinvideos.esa.int/Videos/2013/03/Replay_of_Planck_media_briefing_-_Part_2
- ▶ 29 научных публикаций (журнал A&A), http://www.sciops.esa.int/index.php?project=PLANCK&page=Planck_Published_Papers
arXiv:1303.5062 - arXiv:1303.5089
- ▶ Карты доступны для скачивания http://www.sciops.esa.int/index.php?page=Planck_Legacy_Archive&project=planck
 - ▶ карты для каждого частотного диапазона
 - ▶ компонентные карты: температура СМВ, галактическое излучение разной природы
 - ▶ каталог точечных источников
 - ▶ каждая карта 50 млн. пикселей (600 Mb)

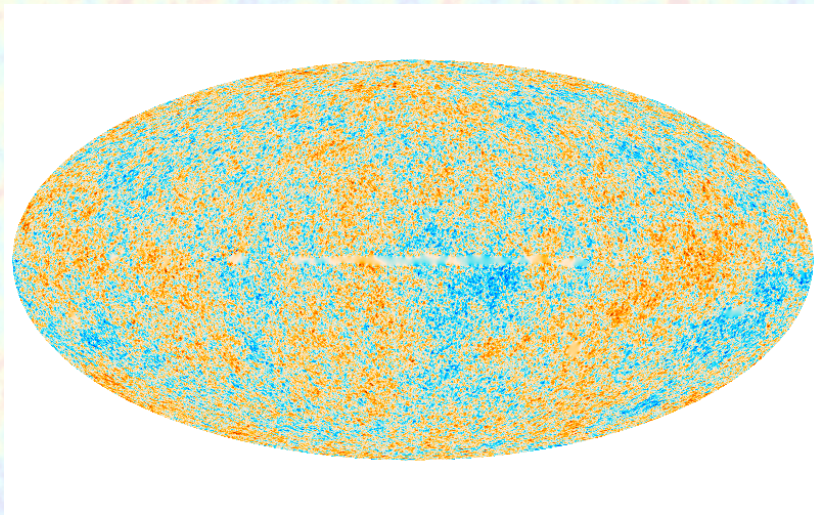
9 частотных карт



9 частотных карт

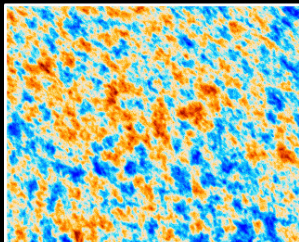
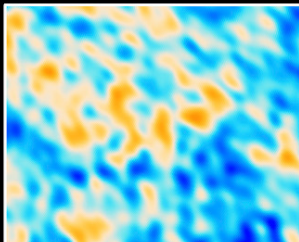
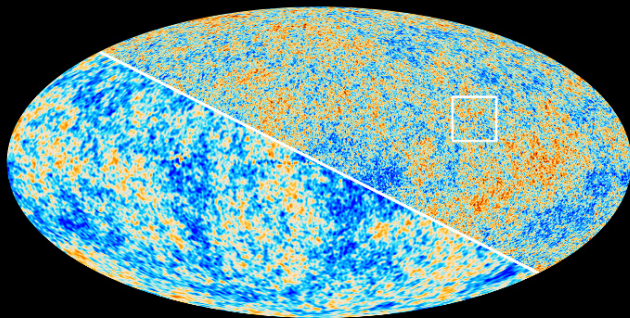


Итоговая компонентная карта CMB



Сравнение чувствительности с WMAP

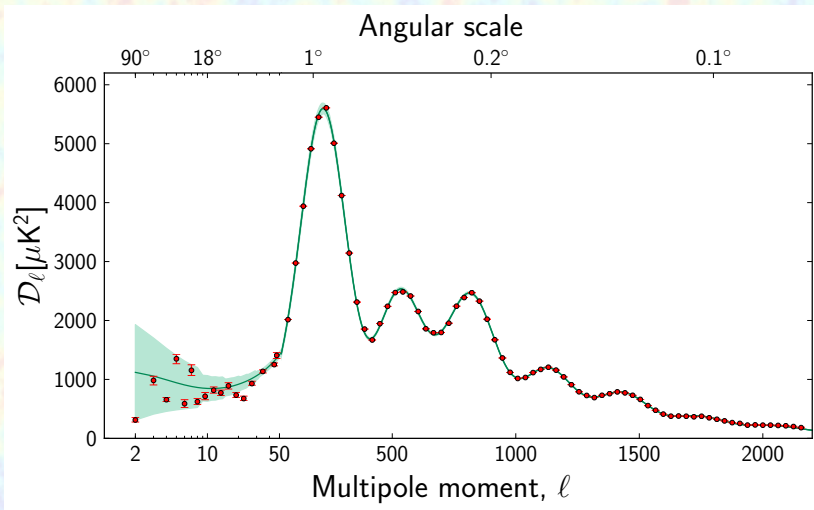
The Cosmic Microwave Background as seen by Planck and WMAP



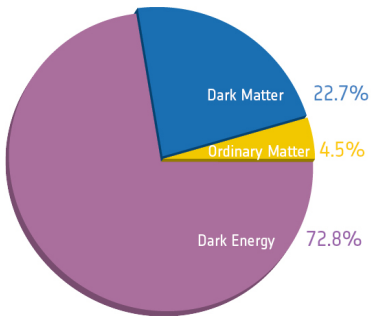
- ▶ Информация о первичных возмущениях плотности
- ▶ Информация о составе плазмы до эпохи рекомбинации
- ▶ Информация о формировании скоплений галактик (гравитационное линзирование)

Отпечаток каждой эпохи: от самых ранних до недавнего времени

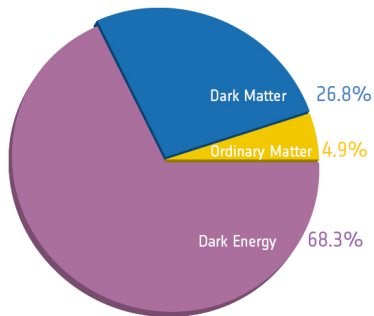
Спектр мощности анизотропии температуры CMB



Состав Вселенной (модель Λ CDM)



Before Planck



After Planck

Космологические параметры

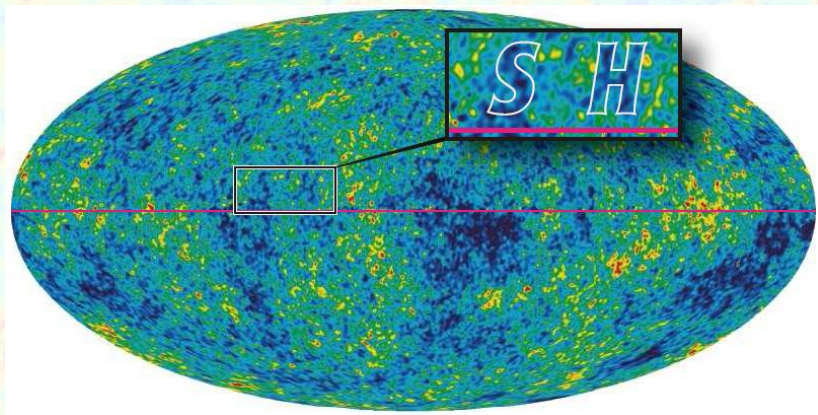
- ▶ $H_0 = 67.3 \pm 1.2 \text{ km/s/Mpc}$ - постоянная Хаббла
- ▶ $\Omega_b = 0.0487 \pm 0.0006$ - относительная плотность барионов
- ▶ $\Omega_{CDM} = 0.2647 \pm 0.0060$ - относительная плотность холодной темной материи
- ▶ $\Omega_\Lambda = 0.6825 \pm 0.020$ - темная энергия
- ▶ $n_s = 0.9603 \pm 0.0073$ - спектральный индекс для первичных скалярных возмущений
- ▶ $N_{eff} = 3.30 \pm 0.27$ - эффективное число нейтрино
- ▶ $r_{0.002} < 0.11$ - тензорно/скалярное отношение

Модель Λ CDM подтверждается с хорошей точностью, но не появилось указаний на природу темной материи и темной энергии.

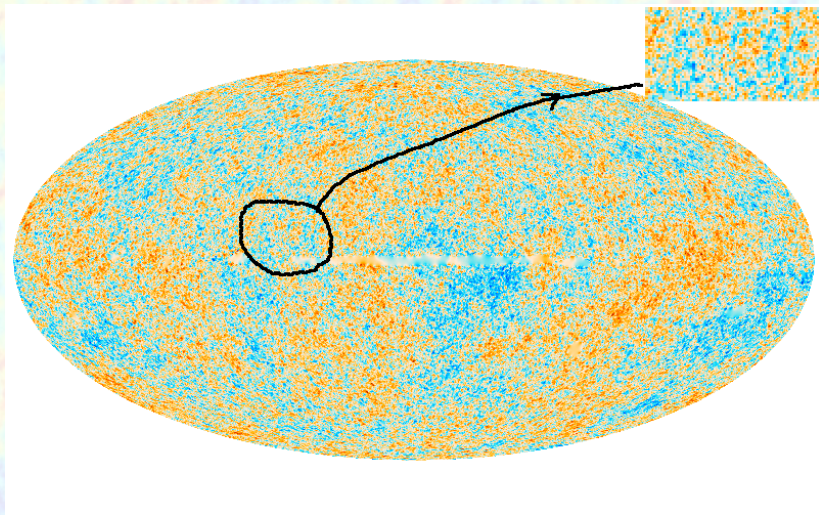
- ▶ $H_0 = 67.3 \pm 1.2 \text{ km/s/Mpc}$ - постоянная Хаббла
- ▶ $\Omega_b = 0.0487 \pm 0.0006$ - относительная плотность барионов
- ▶ $\Omega_{CDM} = 0.2647 \pm 0.0060$ - относительная плотность холодной темной материи
- ▶ $\Omega_\Lambda = 0.6825 \pm 0.020$ - темная энергия
- ▶ $n_s = 0.9603 \pm 0.0073$ - спектральный индекс для первичных скалярных возмущений
- ▶ $N_{eff} = 3.30 \pm 0.27$ - эффективное число нейтрино
- ▶ $r_{0.002} < 0.11$ - тензорно/скалярное отношение

Модель Λ CDM подтверждается с хорошей точностью, но не появилось указаний на природу темной материи и темной энергии.

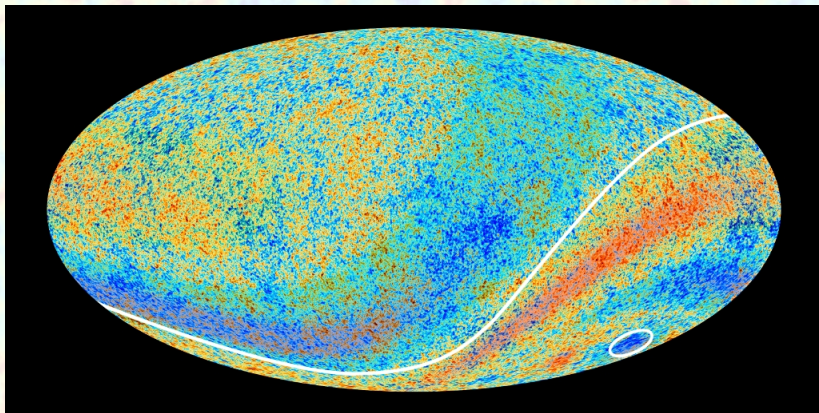
Аномалии: автограф Стивена Хокинга на карте WMAP



Аномалии: автограф Стивена Хокинга на карте Planck

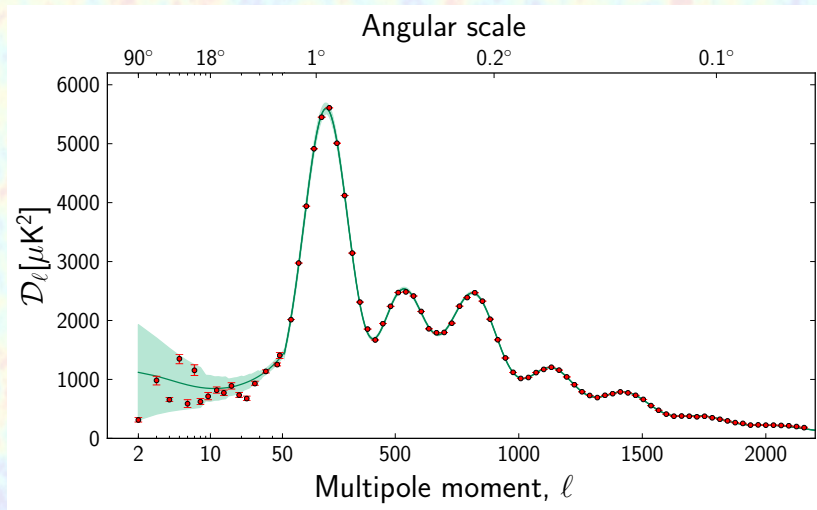


Аномалии: холодное пятно, различие полушарий



Северное и южное полушария (отн. эклиптики) имеют разную среднюю температуру и разный спектр мощности.

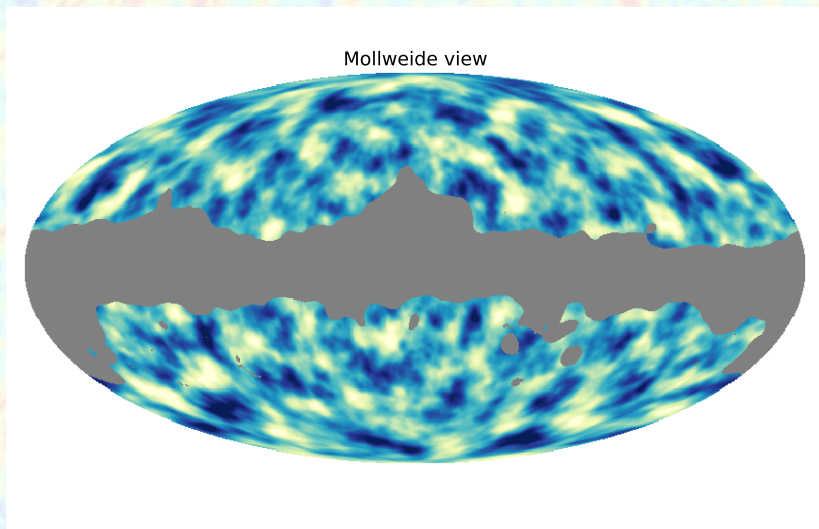
Аномалии: недостаток мощности на $l=20-40$



Есть ли аномалии?

- ▶ Вселенная не такая однородная на больших масштабах, как предсказывает теория?
- ▶ Аномалии образовались в результате случайных флуктуаций?

Гравитационное линзирование на крупномасштабной структуре

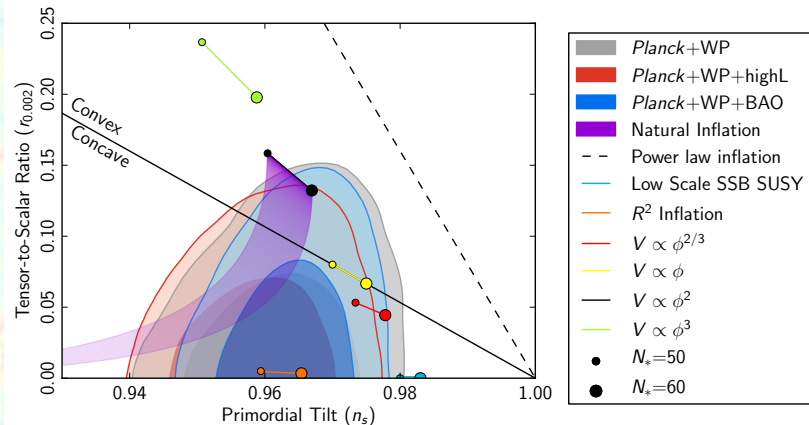


Новый результат: из него можно получить информацию об
образовании сверхскоплений

Первые три пикосекунды

- ▶ Данные Planck согласуются с представлением, что первичные возмущения плотности возникли из квантовых флуктуаций скалярного поля. Пока что мы ничего не знаем об этом поле.
- ▶ Planck впервые показал, что $n_s < 1$, что можно считать первым известным фактом о генерации первичных возмущений
- ▶ Первичные гравитационные волны не видны на существующем уровне чувствительности
- ▶ Негауссовость, являющаяся следствием некоторых моделей, ограничена в 10 раз сильнее, чем раньше

Ограничения на модели инфляции



- ▶ В следующем году ожидается релиз данных по поляризации СМВ. Возможность увидеть проявление реликтовых гравитационных волн.
- ▶ Все ответы Планка являются вопросами:
 - ▶ Каков механизм генерации первичных возмущений? Инфляция, конформное скатывание (V.A.Rubakov, JCAP 0909 (2009) 030), другие механизмы?
 - ▶ Какие поля за это отвечают? Можно ли их проявление увидеть на ЛНС или в астрофизических экспериментах?
 - ▶ Существует ли негауссовость возмущений плотности?
 - ▶ Природа темной материи, темной энергии? Прямые поиски, косвенные проявления в астрофизике?