

КОНФЕРЕНЦИИ И СИМПОЗИУМЫ

**Научная сессия Отделения общей физики и астрономии  
Российской академии наук**

(28 февраля 2001 г.)

28 февраля 2001 г. в Физическом институте им. П.Н. Лебедева РАН состоялась научная сессия Отделения общей физики и астрономии Российской академии наук. На сессии были заслушаны доклады:

1. **Новиков И.Д.** (Астрокосмический центр, Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Москва). *Отзвуки Большого взрыва (наблюдения реликтового излучения).*
2. **Караченцев И.Д.** (Специальная астрофизическая обсерватория РАН, Нижний Архыз, Карачаево-Черкесия). *Скрытая масса в Местной вселенной.*
3. **Черепашук А.М.** (Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва). *Поиски черных дыр: новейшие данные.*
4. **Яковлев Д.Г.** (Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе, Санкт-Петербург). *Сверхтекучесть в нейтронных звездах.*

Краткие содержания докладов публикуются ниже.

PACS numbers: 95.85.Bh, 98.80.Cq, 98.80.Es

**Отзвуки Большого взрыва  
(наблюдения реликтового излучения)**

И.Д. Новиков

Последние 10 лет ознаменовались качественным изменением ситуации в наблюдательной космологии, связанным с успешной реализацией более 60 проектов по измерению анизотропии реликтового электромагнитного излучения (РИ). Начиная с пионерских работ [1–5], внимание к этой бурно развивающейся области астрофизики неуклонно растет. Важность и актуальность измерений анизотропии РИ обусловлена уникальной возможностью получения "прецзионных" данных о таких важнейших параметрах современной Вселенной, как величина постоянной Хаббла  $H_0 = 100h \text{ км с}^{-1}\text{Мпк}^{-1}$ , доля барионной ( $\Omega_b$ ) и "скрытой" ( $\Omega_m$ ) массы, величина космологической постоянной  $\Omega_\Lambda$  (все в единицах критической плотности), показатель спектра дугалактических неоднородностей  $n_s$  и целый ряд других.

Первая успешная реализация этой программы связана с проектом COBE [6], впервые зарегистрировавшим

флуктуации температуры РИ на небесной сфере на уровне  $\Delta T/T \approx 10^{-5}$  на частотах 53 и 90 ГГц с угловым разрешением  $\text{FWHM} = 7^\circ$ . Соответствующая часть спектра возмущений, порождающих анизотропию РИ на углах  $\theta > 7^\circ$ , связана с пространственными масштабами флуктуаций  $\lambda > 300 \text{ Мпк}$  и заведомо превышает типичные размеры наблюдавших структур во Вселенной. После COBE особое внимание приковывают к себе данные наземных, баллонных и спутниковых экспериментов, детализирующие структуру сигнала с более высоким, чем у COBE, угловым разрешением, вплоть до  $\text{FWHM} \approx 3'$ .

Среди них прежде всего следует отметить проекты Sascatoon, QMAP, MSAM, CBI, BOOMERANG, MAXIMA-1 и др. (подробное описание результатов проектов см. в [7]). Заметим, что рекордная на сегодняшний день точность определения космологических параметров из данных по анизотропии РИ достигнута в рамках последних двух экспериментов (соответствующие ошибки в определении спектральных характеристик анизотропии не превышают  $\delta c_l/c_l = 10\%$  в диапазоне углов  $0 \leq \theta < 1^\circ$ ).

В целом данные BOOMERANG + MAXIMA-1 находятся в хорошем согласии с предсказаниями инфляционных теорий о близости современной плотности всех форм материи к критической:  $\Omega_b + \Omega_m + \Omega_\Lambda = 1,09 \pm 0,07$  [8]. Однако они предсказывают сравнительно высокое содержание барионов  $\Omega_b h^2 = 0,031 \pm 0,005$ , превышающее оптимальное значение  $\Omega_b h^2 \approx 0,02$ , которое вытекает из анализа распространенности космических  $^4\text{He}$ , дейтерия и водорода. В целом анализ данных MAXI – BOOM коллаборации приводит к выводу о том, что "стандартная"  $\Lambda + \text{CDM}$  космологическая модель —  $\Omega_m + \Omega_b + \Omega_\Lambda = 1$ ;  $\Omega_b h^2 = 0,019$ ;  $\Omega_m = 0,3$ ;  $h = 0,65$  и  $n_s = 1$  — на 95 %-ном уровне значимости лежит вне пределов оптимума данных [8]. Более предпочтительными являются модели с 5–10 %-ным отклонением от спектра Харрисона – Зельдовича ( $n_s \approx 1,05 \pm 0,09$ ), либо с рекомбинацией при красных смещениях  $Z \approx 10–15$ . Однако, как было показано в [9], перечисленные выше модификации стандартной  $\Lambda\text{CDM}$ -космологии характеризуются практически одним и тем же среднеквадратичным отклонением  $\chi^2 \approx 6,75–6,79$ , включая и модель с "затянутой" рекомбинацией [9]. Практически это означает, что на существующем уровне точности выделения

сигнала из-под шумов различной природы выбор между моделями сделать невозможно. Однако даже при повышении точности ситуация может измениться слабо, так как, например, подавление уровня флюктуаций на малых углах за счет "красного" наклона спектра  $n_s = 0,95$  и ослабление флюктуаций за счет вторичной ионизации оказываются чрезвычайно близкими по уровню. Отмеченная выше проблема "вырождения" имеет два принципиально важных пути решения. Во-первых, в любом случае необходимо повышать точность определения спектра анизотропии как за счет увеличения процента покрытия неба наблюдениями (так называемая "cosmic variance problem"), так и за счет понижения собственных шумов приемной аппаратуры. Во-вторых, принципиально важно наряду с измерениями анизотропии РИ одновременно осуществлять измерения флюктуаций поляризации. Собственно, эти два направления и будут реализовываться как в рамках следующих запусков коллаборации MAXI–BOOM, так и в наиболее многообещающих космических проектах MAP и PLANCK. Заметим, что в отличие от анизотропии РИ, которая уже зарегистрирована, поляризация излучения будет исследоваться впервые на уровне обнаружения сигнала. Однако для поляризационных экспериментов, где отношение сигнал/шум не превышает нескольких единиц (в отличие от анизотропии, где отношение сигнал/шум ожидается на уровне 10–30) чрезвычайно важными оказываются методы фильтрации галактических и внегалактических помех, обусловленных поляризационными свойствами синхротронной и free-free эмиссий, излучением пыли, вкладом точечных источников и др. Особое значение для будущих поляризационных экспериментов имеет учет анизотропии, которая вносится приемной системой и зависит от частоты приема в силу аппаратурных особенностей эксперимента. В этой связи важнейшую роль в выделении сигнала призваны сыграть методы обработки, максимально удаляющие шумы из карт (а не "размазывающие" их по спектру мощности). К числу таких методов можно отнести амплитудно-фазовый анализ [10], базирующийся на устранении помех не в амплитудном, а в фазовом пространстве, где проявление различного рода негауссовых помех оказывается наиболее значимым. Важную роль в отождествлении шумов призван сыграть метод особых точек поля поляризации [11–13], учитывающий, что структура сигнала в зонах, где первичная поляризация отсутствует ("особые точки"), определяется шумами. Фазовый анализ карт анизотропии и поляризации особенно важен для детектирования вклада пекулярности приемного тракта (антенна + aberrации). В целом перечисленные выше методы очистки карт анизотропии и поляризации будут являться важным дополнением к таким традиционным методам, как MEM (maximum entropy method), RC (radical compression) и вейвлет-анализ.

В заключение подчеркнем, что в следующие 10 лет, несомненно, будут получены выдающиеся результаты в экспериментальном изучении анизотропии и поляризации реликтового электромагнитного излучения, которые подведут закономерный итог почти полувековых исследований микроволнового фона. Заглядывая в будущее, можно уверенно сказать, что эпоха проектов MAP и PLANCK ознаменуется целым рядом важнейших открытий, продвигающих нас в понимании общих закономерностей (и деталей!) строения и эволюции Вселенной.

## Список литературы

1. Сахаров А Д *ЖЭТФ* **49** 345 (1965)
2. Silk J *Astrophys. J.* **151** 459 (1968)
3. Peebles P J E, Yu J T *Astrophys. J.* **162** 815 (1970)
4. Zel'dovich Ya B, Syunyaev R A *Astrophys. Space Sci.* **7** (1) 1 (1970)
5. Зельдович Я Б, Курт В Г, Сюняев Р А *ЖЭТФ* **55** 278 (1968)
6. Bennet C L et al. *Astrophys. J. Lett.* **464** L1 (1996)
7. Hu W, <http://www.sns.ias.edu>
8. de Bernardis P et al. *Nature* **404** 955 (2000); Hanany S et al. *Astrophys. J.* **545** L5 (2000)
9. Naselsky P D et al., astro-ph/0102378
10. Naselsky P D, Novikov D I, Silk J, in *Proc. IA Symp. 201. Manchester, August 7–14, 2000*; astro-ph/0007133
11. Naselsky P D, Novikov D I *Astrophys. J.* **507** 31 (1998)
12. Dolgov A D et al. *Int. J. Mod. Phys. D* **8** 189 (1999)
13. Naselsky P et al., in *Proc. IA Symp. 201. Manchester, August 7–14, 2000*; astro-ph/0012319

PACS numbers: 95.35.+d, 98.65.-r

## Скрытая масса в Местной вселенной

И.Д. Карабенцев

### 1. Краткая история

Проблема существования во Вселенной скрытой (темной, невидимой) материи ведет свое начало с 1933 г., когда Ф. Цвики обнаружил [1], что для объяснения наблюдаемых скоростей галактик в богатых скоплениях необходимы массы в десятки раз больше суммы индивидуальных масс галактик. Позднее было показано [2], что несоответствие между "вириальными" (определенными из теоремы о вириале) и индивидуальными массами является типичным для систем галактик разного масштаба: от пар и групп галактик до скоплений и сверхскоплений. В 70-е годы Фриман, Санчиши и Рубин обнаружили, что у многих галактик кривые вращения на больших расстояниях от центра не выходят на кеплеровскую асимптотику, а остаются "плоскими", требуя наличия на внешних окраинах галактик значительной массы [3]. У некоторых авторов сложилось убеждение, что массивные темные "короны" простираются в десятки раз дальше видимых границ галактик, а их суммарная масса способна объяснить "вириальный парадокс" в скоплениях [4, 5]. В 80-е годы было обнаружено рентгеновское излучение горячего газа в скоплениях галактик с температурой, как раз соответствующей вириальным движениям галактик [6]. Наконец, наиболее прямые измерения массы скоплений по эффектам гравитационного линзирования или искажения изображений более далеких галактик [7] подтвердили наличие больших невидимых масс в богатых скоплениях. Можно считать вполне установленным фактом, что оценки масс богатых скоплений как по вириальным движениям, так и по свойствам рентгеновского излучения газа и по эффектам гравитационного линзирования согласуются друг с другом в пределах 50 %.

Однако, пока такое соответствие имеет место не на всех этажах структурной иерархии Вселенной. В таблице представлены основные средние характеристики систем галактик разного масштаба от одиночных галактик до скоплений: радиус системы, средняя квадратичная скорость внутренних движений, относительное число галактик, входящих в систему данного уровня, отношение полной массы к светимости  $M_{\odot}/L_{\odot}$ , среднее отношение