

включают совершенствование твердотельных антенн, создание стабильных стандартов частоты,  $\Delta f/f \approx 10^{-17}$  <sup>3</sup>. Перспективной выглядит разработка теории и принципов действия составной кристаллической антенны с целью попытки наблюдения реликтового гравитационно-волнового шума в высокочастотном диапазоне ( $\nu \sim 10^{10} - 10^{11}$  Гц).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Gravitational Radiation/Eds N. Deruelle, T. Piran. — Amsterdam: North-Holland, 1985.
  2. Гришук Л. П. // УФН. 1977. Т. 121. С. 629.
  3. Брагинский В. Б., Вятчанин С. П. // ЖЭТФ. 1978. Т. 74. С. 828.
- Брагинский В. Б. и др. // Письма ЖЭТФ. 1985. Т. 11. С. 427.

524.82(048)

**Н. С. Кардашев, В. Н. Лукаш, И. Д. Новиков.** Наблюдательная космология и космологические модели. Если лет 10 назад наблюдательная космология представляла собой науку об измерении двух чисел — постоянной Хаббла  $H_0$  и константы замедления  $q_0$ , — то сегодня, благодаря успехам в исследовании крупномасштабной структуры Вселенной, космология оперирует гораздо большим числом фундаментальных параметров.

Несмотря на то что многие из них мы знаем уже достаточно хорошо (например, угловые флуктуации реликтового излучения — с точностью до пятого знака), основные космологические константы  $H_0$  и  $q_0$  по-прежнему известны с точностью до фактора 2, хотя сейчас имеются благоприятные перспективы в их уточнении.

Постоянную Хаббла определяют из диаграммы красное смещение — видимая величина галактики. Для этого необходимы:

- а) измерения на больших расстояниях, чтобы уменьшить влияние локальной неоднородности (сверхскопления Дева);
- б) определение расстояния хотя бы до одного объекта (например, центральной галактики в скоплении Дева).

Деформация хаббловских движений, вызванная гравитационным влиянием локального сверхскопления, сегодня хорошо изучена. Что касается оценки расстояний, то здесь по-прежнему остаются неоднозначности. Две авторитетные школы построения шкалы расстояний до галактик, дающие для  $H_0$  соответственно значения 50 (км/с)/Мпс (Сандэдж и Тамман), 100 (км/с)/Мпс (Вакулер и коллеги), расходятся в выборе систем калибраторов (цефеиды, яркие звезды, области ионизированного водорода и т. д.). Этот спор может быть разрешен только с запуском космического оптического телескопа, планируемого НАСА на 1987 г., который прямо определит расстояние до Девы по цефеидам и тем самым найдет  $H_0$  с точностью до 10 %.

В связи с измерением далеких объектов весьма перспективным является инфракрасный диапазон, поскольку в нем меньше эффекты, связанные с эволюцией звезд и с поглощением. Здесь следует упомянуть также метод калибровки Тулли — Фишера, основанный на зависимости ИК светимости спиральных галактик от угловой скорости их вращения, которая измеряется по ширине линии сверхтонкой структуры атомов водорода ( $\lambda = 21$  см). Расстояния до галактик могут быть независимо определены с помощью других методов (расширение радиоисточников и оболочек сверхновых, эффект Зельдовича — Сюняева и др.). Большие надежды связываются с космологическими радиоинтерферометрами, планируемыми как у нас в стране («Радиоастрон»), так и за рубежом. Разные методы дают сейчас значения, близкие к области  $H_0 = 50 - 100$  (км/с)/Мпс,  $q_0 = 0 \pm 1$ . Пока трудно делать прогнозы, хотя ряд наблюдателей считают, что  $H_0$  находится в пределах от 65 до 75 (км/с)/Мпс (см., например, обзор Хуксры).

В последние годы получены важные данные о распределении видимой и скрытой материи во Вселенной.

Галактики образуют ячеисто-сетчатую структуру с характерным размером пустых областей (ячеек)  $\sim 30\text{--}35$  Мпс. С увеличением яркости исследуемых объектов корреляционный масштаб их распределения также растет. Он порядка  $8\text{--}16$  Мпс для галактик,  $25\text{--}50$  Мпс для скоплений и  $100\text{--}300$  Мпс для ярчайших сверхскоплений. Наиболее надежно установлен сегодня корреляционный масштаб скоплений, он хорошо согласуется с размером ячеек (см. выше).

По кривым вращения звезд в спиральных галактиках и по вириальным скоростям галактик определяется количество скрытого вещества в объектах. Его оказывается больше, чем видимого, в десятки и сотни раз соответственно для гало массивных галактик и для скоплений и сверхскоплений. Если предположить, что галактики и скрытая масса распределены во Вселенной подобно друг другу, то полная плотность вещества во Вселенной в единицах критической плотности оказывается тогда равной  $\Omega = 0,15 \pm 0,1$ . Эта оценка по порядку величины совпадает с барионной космологической плотностью, следующей из данных о распространенности легких химических элементов во Вселенной. С другой стороны, данные инфракрасного спутника ИРАС и открытие крупномасштабных движений вещества говорят в пользу  $\Omega \sim 1$ , что соответствует предсказаниям теорий раздувающейся Вселенной.

Важные также для теорий образования галактик данные получены в последнее время о распределении квазаров и линий поглощений от них и о распределении горячего рентгеновского газа и скоплениях.

Положение в теории, в двух словах, следующее. Горячая (нейтринная) космологическая модель хорошо объясняет крупномасштабную структуру Вселенной в рамках теории «блинов» Зельдовича и его коллег, однако она не разработана пока до той стадии, чтобы объяснить образование галактик. Напротив, холодная модель, предполагающая, что скрытая масса находится в форме аксионов или очень тяжелых частиц, хорошо объясняет формирование легких объектов, но противоречит данным по крупномасштабной структуре. По-видимому, нейтринная модель может быть улучшена введением дополнительных параметров, описывающих эволюцию малых масштабов (тяжелые или нестабильные частицы, взрывы сверхновых, космологические струны и т. д.).

Важным экспериментом, способным расставить все точки над  $i$ , является измерение угловых флуктуаций реликтового излучения  $\Delta T/T(\theta)$  на небесной сфере, поскольку они прямо связаны с образованием структуры Вселенной. Пока такие флуктуации не найдены (за исключением дипольной составляющей, обусловленной движением Земли относительно реликтового излучения), однако имеется большая возможность их обнаружения уже в ближайшие годы. В том случае, когда флуктуации  $\Delta T/T$  будут обнаружены в масштабах  $\theta \gtrsim 6^\circ$ , мы сможем определить как спектр первичных возмущений плотности, из которых возникли скопления и сверхскопления, так и общую плотность вещества во Вселенной  $\Omega$ .