

ции не превышают  $10^{-4}$  К. Поиски флуктуаций М. ф. и. осложняются также тем, что вклад во флуктуации фона дают дискретные космич. радиосточники, флуктуирует излучение атмосферы Земли и т. д. Эксперименты в больших угл. масштабах также показали, что темп-ра М. ф. и. практически не зависит от направления наблюдения: отклонения не превышают  $4 \cdot 10^{-3}$  К. Полученные данные позволили снизить оценку степени анизотропии расширения Вселенной в 100 раз по сравнению с оценкой по данным прямых наблюдений «разбегющихся» галактик.

**М. ф. и. как «новый эфир».** М. ф. и. изотропно лишь в системе координат, связанной с «разбегающимися» галактиками, в т. н. сопутствующей системе отсчёта (эта система расширяется вместе с Вселенной). В любой др. системе координат интенсивность излучения зависит от направления. Этот факт открывает возможность измерения скорости движения Солнца относительно системы координат, связанной с М. ф. и. Действительно, в силу *Доплера эффекта* фотоны, распространяющиеся навстречу движущемуся наблюдателю, имеют более высокую энергию, нежели догоняющие его, несмотря на то, что в системе, связанной с М. ф. и., их энергии равны. Поэтому и темп-ра излучения для такого наблюдателя оказывается зависящей от направления:  $T = T_0 [1 + (v/c) \cos \theta]$ , где  $T_0$  — средняя по небу темп-ра излучения,  $v$  — скорость наблюдателя,  $\theta$  — угол между вектором скорости и направлением наблюдения.

Анизотропия реликтового излучения, связанная с движением Солнечной системы относительно поля этого излучения, к настоящему времени твёрдо установлена (рис. 2), она имеет дипольный характер; в направле-

служит веским подтверждением модели горячей Вселенной.

Отметим, что в диапазоне сантиметровых и дециметровых воли измерения темп-ры М. ф. и. возможны с поверхности Земли. В миллиметровом и особенно в субмиллиметровом диапазонах излучение атмосферы препятствует наблюдениям М. ф. и., поэтому измерения проводятся широкополосными болометрами, установленными на воздушных шарах (баллонах) и ракетах. Ценные данные о спектре М. ф. и. в миллиметровой области получены из наблюдений линий поглощения молекул *межзвёздной среды* в спектрах горячих звёзд. Выяснилось, что осн. вклад в плотность энергии М. ф. и. даёт излучение с длиной волны  $\lambda$  от 6 до 0,6 мм, темп-ра к-рого близка к 3 К. В этом диапазоне длин волн плотность энергии М. ф. и.  $\rho_{\gamma} = 0,25$  эВ/см<sup>3</sup>. Один из экспериментов по определению флуктуаций М. ф. и., его дипольной компоненты и верх. границы квадрупольного излучения был осуществлён на ИСЗ «Прогноз-9» (СССР, 1983). Угл. разрешение аппаратуры составляло ок. 5°. Зарегистрированный тепловой контраст не превышал  $5 \cdot 10^{-4}$  К.

Многие из космологич. теорий и теорий образования галактик, к-рые рассматривают процессы *аннигиляции* вещества и антивещества, диссипацию развитой *турбулентности*, крупномасштабных потенциальных движений, испарение первичных *чёрных дыр* малой массы, распад нестабильных элементарных частиц, предсказывают значит. энерговыделение на ранних стадиях расширения Вселенной. В то же время любое выделение энергии  $\Delta \epsilon > 1-10\%$   $\rho_{\gamma}$  на этапе, когда темп-ра М. ф. и. менялась от  $3 \cdot 10^8$  К до 3 К, должно было заметно исказить его чернотельный спектр. Т. о., спектр М. ф. и. несёт информацию о тепловой истории Вселенной. Более того, эта информация оказывается дифференцированной: выделение энергии на каждом из трёх этапов расширения ( $3 \cdot 10^4 < T < 3 \cdot 10^6$  К;  $4 \cdot 10^5 < T < 3 \cdot 10^4$  К;  $3 < T < 4000$  К) вызывает специфич. искажение спектра. На первом этапе сильнее всего искажается спектр в ДВ-области, на втором и третьем — в коротковолновой. Свой вклад в искажение спектра в КВ-области вносит уже сам процесс рекомбинации. Фотоны, испускаемые при рекомбинации, обладают энергией ок. 10 эВ, что в десятки раз превышает ср. энергию фотонов равновесного излучения той эпохи (при  $T \approx 4000$  К). Таких энергичных фотонов крайне мало ( $\sim 10^{-9}$  от общего их числа). Поэтому *рекомбинационное излучение*, возникающее при образовании нейтральных атомов, должно было сильно исказить спектр М. ф. и. на волнах  $\lambda \approx 250$  мкм.

Ещё один нагрев вещество Вселенной могло испытать при образовании галактик. Спектр М. ф. и. при этом также мог измениться, поскольку рассеяние реликтовых фотонов на горячих электронах увеличивает энергию фотонов (см. *Комптона эффект*). Особенно сильные изменения происходят в этом случае в КВ-области спектра. Одна из кривых, демонстрирующих возможное искажение спектра М. ф. и., приведена на рис. 1 (штриховая кривая). Имеющиеся изменения в спектре М. ф. и. показали, что вторичный разогрев вещества во Вселенной произошёл много позже рекомбинации.

**М. ф. и. и космические лучи.** *Космические лучи* (протоны и ядра высоких энергий; ультрарелятивистские электроны, определяющие радиоизлучение нашей и др. галактик в метровом диапазоне) несут информацию о гигантских взрывных процессах в звёздах и ядрах галактик, при к-рых они рождаются. Как оказалось, время жизни частиц высоких энергий во Вселенной во многом зависит от фотонов М. ф. и., обладающих малой энергией, но чрезвычайно многочисленных — их в миллиард раз больше, чем атомов во Вселенной (это соотношение сохраняется в процессе расширения Вселенной). При столкновении ультрарелятивистских электронов космич. лучей с фотонами М. ф. и. происходит перераспределение энергии и импульса. Энергия

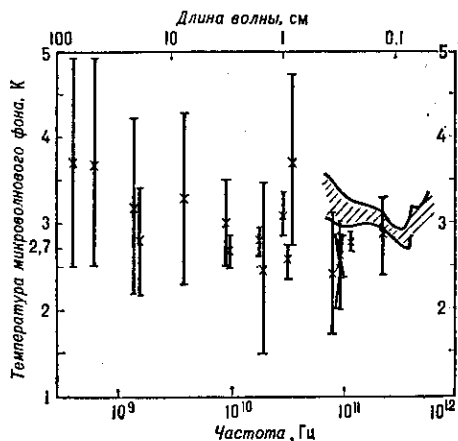


Рис. 2. Распределение яркости микроволнового фонового излучения на небесной сфере. Цифры характеризуют отклонения от средней по всей сфере температуры микроволнового фона в мК.

нии на созвездие Льва темп-ра М. ф. и. на  $3,5 \cdot 10^{-3}$  К превышает среднюю, а в противоположном направлении (созвездие Водолея) на столько же ниже средней. Следовательно, Солнце (вместе с Землёй) движется относительно М. ф. и. со скоростью ок. 400 км/с по направлению к созвездию Льва. Точность наблюдений столь высока, что экспериментаторы фиксируют скорость движения Земли вокруг Солнца, составляющую 30 км/с. Учёт скорости движения Солнца вокруг центра Галактики позволяет определить скорость движения Галактики относительно М. ф. и. Она составляет  $\approx 600$  км/с. В принципе, существует метод, позволяющий определить скорости богатых скопления галактик относительно реликтового излучения (см. *Скопления галактик*).

**Спектр М. ф. и.** На рис. 1 приведены существующие эксперим. данные о М. ф. и. и планковская кривая распределения энергии в спектре равновесного излучения абсолютно чёрного тела с темп-рой  $\approx 2,7$  К. Эксперим. точки хорошо согласуются с теоретич. кривой, что