

## 12.2. Крупномасштабная структура Вселенной

Наиболее глубокие снимки неба были получены космическим телескопом «Хаббл» с экспозицией  $10^6$  секунд в 2003–2004 гг. Площадь поля глубокого снимка относительно невелика и составляет 11.5 кв. угловых минут (см. цв. вставку). В поле глубокого снимка обнаружены тысячи галактик, самые слабые из которых имеют звездную величину  $B \approx 30^m$ . Современные подсчеты числа галактик с учетом данных глубоких обзоров телескопа «Хаббл» дают оценку примерно  $3 \cdot 10^5$  галактик  $29\text{--}30^m$  на 1 кв. градус.

Структура Вселенной в больших масштабах изучается путем массового определения координат и красных смещений галактик в избранных участках. В спектроскопическом обзоре 2dF (2 degree Field Galaxy Redshift Survey), охватывающем  $\sim 5\%$  неба (около 2000 кв. град.) и выполненном на 3.9-метровом телескопе Англо-Австралийской Обсерватории в 1997–2002 гг., были получены красные смещения свыше 220000 галактик со средним значением  $z = 0.11$  (что примерно соответствует 500 Мпк). Радиальное распределение галактик в двух противоположных секторах по данным обзора 2dF приведено на рис. 12.3. При переходе к масштабам сотен мегапарсек флуктуации плотности сглаживаются и распределение видимо-

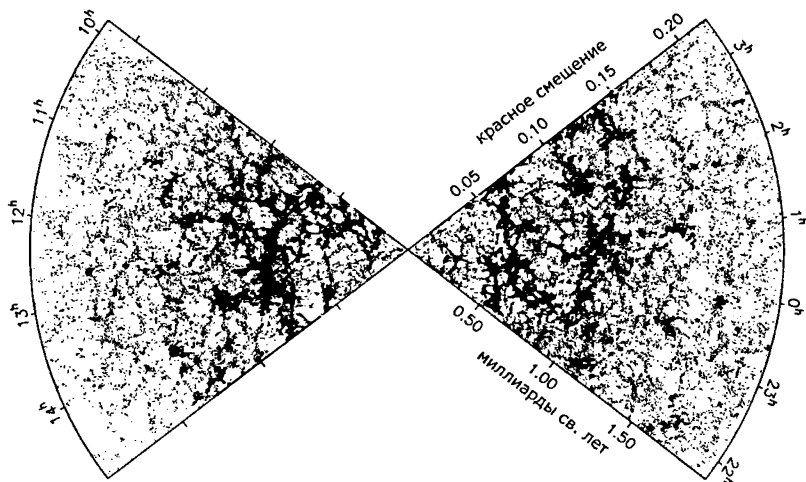


Рис. 12.3. Радиальное распределение  $\sim 220000$  галактик в двух противоположных секторах. Из обзора 2dF Англо-Австралийской обсерватории.

го вещества становится более однородным. На рисунке отчетливо видна крупномасштабная структура Вселенной: галактики образуют своего рода ячеистую структуру с характерным размером порядка 100 Мпк. Внутри ячеек наблюдается дефицит галактик (т. н. пустоты, или «войды»).

### 12.3. Предельно далекие галактики и квазары. Ионизационное состояние межгалактической среды и эффект Гана-Петерсона

Отдельные галактики и квазары с мощными эмиссионными линиями наблюдаются вплоть до очень больших красных смещений  $z \approx 5-6$ . Поиск далеких объектов обычно осуществляется по мощной эмиссии  $Ly_\alpha$  (т. н. Лайман-альфа излучатели,  $Ly_\alpha$ -emitters или LAEs). Можно также искать резкое падение интенсивности (скачок) в непрерывном спектре объектов с большим красным смещением на длинах волн короче лаймановского предела ( $912 \text{ \AA}$ ), характерный для галактик с мощным звездообразованием, в которых есть много газа в виде нейтрального водорода (т. н. Lyman-Break Galaxies, или LBGs). Из-за большого красного смещения этот скачок сдвигается из УФ в видимую область спектра.

Облака нейтрального водорода, попадающие на луч зрения между галактикой и наблюдателем, приводят к появлению многочисленных линий поглощения между длинами волн  $Ly_\alpha$  ( $1216 \text{ \AA}$ ) и лаймановским пределом  $Ly_c$  ( $912 \text{ \AA}$ ) в виде частогокола отдельных узких линий на разных красных смещениях (т. н. « $Ly_\alpha$ -лес»). Излучение, изначально более коротковолновое, чем  $Ly_\alpha$ , на пути к нам из-за расширения Вселенной увеличивает длину волны. Поэтому оно будет эффективно поглощаться на том расстоянии (красном смещении) от нас, где оно по длине волны сравняется с  $Ly_\alpha$ .<sup>1</sup> Сечение поглощения в резонансной линии водорода  $Ly_\alpha$  очень большое, порядка  $3 \cdot 10^{-11} \text{ см}^2$ , и расчет показывает, что малой доли нейтрального водорода ( $x_{HI} \approx 10^{-3}$ ) в межгалактическом газе уже достаточно для создания большой депрессии в непрерывном спектре. В отличие от

---

<sup>1</sup>Разумеется, атом водорода, возбужденный на второй уровень при поглощении  $Ly_\alpha$ -кванта быстро переизлучит его, но в произвольном направлении, так что можно говорить о резонансном рассеянии квантов. Кроме того, происходит двухфотонное излучение с возбужденного резонансного уровня, в результате которого формируется непрерывный спектр в более длинноволновой области.