



Рис. 12.5. Сравнение спектров близкого квазара 3C273 ($z = 0.158$) и далекого квазара Q1422+2309 ($z = 3.62$). По горизонтальной оси — длина волны в системе отсчета источника, по вертикальной — интенсивность излучения в условных единицах. Выделяется мощная широкая эмиссия Ly_{α} (1216Å). В спектре более далекого квазара виден Лайман-альфа лес линий поглощения. Эффект Гана–Петерсона в обоих случаях отсутствует.

ких облаков на луч зрения и формируется Лайман-альфа лес линий поглощения, наблюдаемый в спектрах объектов с $z > 2$ (см. нижний спектр на рис. 12.5).

В настоящее время широко обсуждается возможность существования еще более ранней эпохи ионизации на красных смещениях $z \gtrsim 10$, соответствующих эпохе до образования галактик. Не исключено, что на таких красных смещениях из первичного водорода и гелия уже могли образоваться первые массивные звезды (т. н. звезды III населения).

12.4. Космологические модели

12.4.1. Космологический принцип

Подобно принципу постоянства скорости света (СТО) и принципу эквивалентности, который составляет основу ОТО, в основе современных космологических моделей лежит *космологический прин-*

цип, согласно которому в больших пространственных масштабах во Вселенной нет преимущественных выделенных областей или направлений. Иногда этот принцип называют «принципом Коперника», который первым в новой истории отказался от геоцентрической системы мира. Он означает, что во Вселенной нет выделенных наблюдателей, и ее глобальные характеристики в фиксированный момент времени одинаковы во всех точках пространства.

Космологический принцип подтверждается астрономическими наблюдениями. Из них следует, что распределение материи во Вселенной в больших масштабах ($\gtrsim 100$ Мпк) *однородно и изотропно*. Последнее подтверждается тем, что с точностью до $\sim 10^{-5}$ (уровень относительных флуктуаций температуры реликтового фона) во Вселенной отсутствуют выделенные направления. Свойств однородности и изотропии оказывается достаточно, чтобы из всего многообразия в принципе возможных математических моделей, описывающих Вселенную в целом, выбрать весьма узкий класс однородных изотропных пространств (т. н. модели Фридмана–Робертсона–Уокера; см. подробнее в монографии С. Вейнберга «Гравитация и космология», М.: Мир, 1975, Гл. 13 и далее).

12.5. Однородные и изотропные космологические модели

12.5.1. Выбор системы координат

Расширение Вселенной не следует понимать как изменение всех существующих масштабов расстояний и размеров, в противном случае вместе с расстоянием до галактик изменялись бы и все эталоны длины, и расширение оставалось бы незамеченным. Расширение проявляет себя в систематическом уменьшении средней плотности вещества в любой локальной области, в которой материя не связана гравитационными или иными силами. Так, расширению не подвержены ни отдельные галактики, ни их системы, при условии, что они являются гравитационно связанными.

Для математического описания изменения масштабов Вселенной можно использовать различные системы координат, и, естественно, выбирается та система, где уравнения имеют более простой вид. Сетку координат удобно выбрать таким образом, чтобы средние скорости разлета галактик в этой системе координат зависели только от расстояния, но не от направления (условие изотропности рас-