

Невращающиеся системы сферичны, а вращающиеся сжаты.

Диаметр сверхсистемы можно оценить в 30 Мпс. Галактика находится далеко от ее центра и вообще близка к краю. Ее расстояние от внешней границы сверхсистемы 2—4 Мпс. Центр сверхсистемы находится в скоплении галактик в Деве, а само это скопление может рассматриваться как ядро сверхсистемы.

Не только оптическое излучение галактик показывает концентрацию к плоскости сверхсистемы галактик. Общее радиоизлучение, исходящее от неба, также обнаруживает явную концентрацию к той же плоскости. Так как радиоизлучение неба в значительной степени вызывается галактиками, то в этом можно видеть подтверждение реальности сверхсистемы галактик.

Таковы данные о следующей открывшейся нам ступени в строении Вселенной. Как ребенок, уже освоивший свою комнату, дом и переулок, открывает существование проспекта, в который упирается переулок, так и мы только недавно узнали о важном проспекте во Вселенной — основной плоскости сверхсистемы, от которого отходит наш переулок — Местная система галактик. Скопление галактик в Деве — главная площадь на пути этого проспекта.

Исследуя распределение очень слабых галактик, Вокулер нашел многочисленное плотное собрание их в одном из участков южного неба. Предварительное изучение этого собрания слабых галактик привело Вокулера к выводу, что оно имеет сходство с нашей сверхсистемой и является, по-видимому, соседней сверхсистемой галактик.

Расширение Вселенной. Модель Вселенной

По мере усовершенствования наблюдательной техники становится доступным измерение красных смещений спектров у все более слабых объектов. Список спектров, у которых $\frac{\Delta\lambda}{\lambda} > 1$, уже стал обширным, а самое большое обнаруженное красное смещение спектра соответствует $\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = 3,4$.

Согласно формуле (23) это означает скорость удаления 270 000 км/с. Примем как наиболее вероятное значение постоянной Хаббла равным 65 км/с · Мпс. Тогда расстоя-

ние до объекта по формуле (22) составляет 4200 мегапарсеков.

Все более становится очевидным, что закон разбегания во все стороны галактик является универсальным, всеобщим законом. Происходит расширение, экспансия всей Вселенной в целом.

Раздел астрономии, изучающий свойства Вселенной как единого целого, называется космологией. Ее теоретические основы, заложенные Эйнштейном, опираются на два главных наблюдаемых явления. Первое из них состоит в том, что галактики и их скопления сравнительно равномерно распределены по небу, если не считать зоны избегания, вызванной поглощающей свет материей нашей Галактики. Второе важное наблюдаемое явление — закон разбегания во все стороны галактик со скоростями, пропорциональными их расстояниям. Сопоставление этих наблюдаемых явлений приводит к заключению, что Вселенная, образовавшись в результате начального взрыва, подобна однородному расширяющемуся шару.

Каковы закономерности эволюции этого расширяющегося шара, в котором галактики и их скопления притягивают друг друга согласно закону всемирного тяготения? Что ждет Вселенную в будущем? Будет ли она безгранично расширяться, или взаимное тяготение отдельных ее частей, замедлив и остановив расширение, заставит Вселенную затем сжиматься?

Процесс расширения происходит согласно релятивистской механике Эйнштейна, но некоторые стороны процесса понятны и в представлениях привычной нам ньютоновской механики.

Из того, что взаимное тяготение отдельных частей Вселенной замедляет ее расширение, следует, что расширение в прошлом происходило быстрее и, следовательно, в оценку возраста Вселенной нужно внести поправку — его нужно уменьшить. Величина поправки зависит от средней плотности материи во Вселенной. Чем плотность материи больше, тем сильнее замедление скорости и тем значительнее должна быть вносимая поправка.

Если при данной скорости расширения плотность материи в шаре достаточно велика, то гравитационные силы будут в состоянии остановить расширение и сменить его сжатием. Если же плотность материи мала и гравитационные силы, следовательно, слабы, процесс экспансии никогда не прекратится, Вселенная будет расширяться без-

гранично и средняя плотность материи в ней будет стремиться к нулю.

Существует, очевидно, некоторое критическое значение средней плотности материи — ρ_0 . Если при действующем в настоящий момент значении постоянной Хаббла H средняя плотность материи во Вселенной больше ρ_0 , то в будущем расширение Вселенной прекратится и сменится сжатием. Если же плотность равна ρ_0 или меньше его, то экспансия Вселенной будет продолжаться безгранично.

Справедливо и обратное утверждение. Когда задана средняя плотность материи во Вселенной, то существует некоторое критическое значение постоянной Хаббла H_0 . Если действительное H меньше H_0 , то расширение Вселенной сменится сжатием, если же $H \geq H_0$, то экспансия Вселенной будет безгранична.

Эти соотношения по смыслу близки к соотношениям, связывающим среднюю плотность Земли и критическую (вторую космическую) скорость, которую нужно придать какому-то телу, находящемуся на ее поверхности, чтобы оно бесконечно удалилось от Земли, не упав обратно на ее поверхность. Разница лишь в том, что у Вселенной происходит расширение в целом, всех ее частей, а не отдельного ее элемента.

Согласно законам релятивистской теории относительности, а именно ее законам подчиняется расширяющаяся Вселенная, процессу расширения свойственны непривычные для нашего сознания соотношения между понятиями пространства, материи и времени. Если средняя плотность материи больше ρ_0 и расширение должно смениться сжатием, то гравитация материи замыкает пространство на само себя. Не существует пространства вне расширяющегося объема, содержащего материю. Такую Вселенную принято называть закрытой.

Пространство закрытой Вселенной ограничено. Но при этом Вселенная не имеет ни центра, ни граничных областей, все точки в ней равноправны по занимаемому положению.

Чтобы попытаться понять, как это может быть с трехмерным пространством, полезно рассмотреть ее двумерную аналогию — поверхность сферы. Поверхность сферы имеет ограниченную площадь, все точки на ней по занимаемому положению равноправны, нет ни центральных ни граничных точек.

Так же непривычны нашим представлениям законы геометрии, действующие во Вселенной с плотностью материи, большей критического значения ρ_0 . Они отличаются от законов евклидовой геометрии, которой на нашей планете обучают в школах. В этой геометрии, называемой римановой, через точку вне прямой нельзя провести прямую, ей параллельную. Сумма углов в треугольнике не равна двум прямым. Она тем больше двух прямых, чем больше площадь треугольника. Длина окружности в римановой геометрии растет не пропорционально первой степени радиуса, а медленнее. И площадь круга растет не пропорционально квадрату радиуса, а медленнее.

Чтобы помочь нашему сознанию поверить в возможность осуществления в каком-то трехмерном пространстве таких закономерностей, обратимся снова к двумерной аналогии — поверхности сферы. Кратчайшая линия на любой поверхности, соединяющая две точки, называется геодезической линией. На сфере кратчайшее расстояние между двумя точками определяется длиной дуги большого круга, т. е. круга, получаемого пересечением сферы плоскостью, проходящей через ее центр. Поэтому аналогами прямых в пространстве, на сфере являются дуги больших кругов. Но всякий большой круг, проведенный через некоторую точку, пересекает другой фиксированный большой круг. Сумма углов сферического треугольника, т. е. треугольника, составленного из трех дуг больших кругов, действительно больше двух прямых углов. Она тем больше, чем больше площадь поверхности треугольника. И длина окружности на сфере, радиусом r которой является длина дуги большого круга, соединяющего центр окружности с точкой окружности, меньше, чем $2\pi r$. А площадь круга меньше, чем πr^2 .

Только в том случае, когда рассматривается бесконечно малый сферический треугольник, сумма его углов равна двум прямым, и только у окружности бесконечно малого радиуса на сфере длина равна $2\pi r$, а у соответствующего круга площадь поверхности равна πr^2 .

В соответствии с релятивистской теорией человек в его обыденной жизни и даже при выполнении космических полетов наших дней не обнаруживает отклонений от законов, постулируемых евклидовой геометрией, только потому, что объем области пространства, в котором он оперирует, ничтожно мал в сравнении с объемом пространства Вселенной в целом.

Если средняя плотность материи во Вселенной точно оказывается равной критическому значению ρ_0 , то в этом случае (который нужно, конечно, считать крайне маловероятным) во всем трехмерном пространстве Вселенной действуют законы евклидовой геометрии. Двумерной аналогией такого пространства является поверхность плоскости.

Если же в природе осуществилась третья возможность, средняя плотность материи во Вселенной меньше критического значения ρ_0 , то в пространстве бесконечно расширяющейся открытой Вселенной должны действовать законы еще одной геометрии — геометрии Лобачевского. В таком пространстве через точку, лежащую вне прямой, можно провести бесчисленное множество прямых, ей параллельных, сумма углов треугольника меньше двух прямых, а длина окружности и площадь круга больше, чем соответственно $2\pi r$ и πr^2 .

Некоторой двумерной аналогией такого пространства может служить гиперболический параболоид, имеющий седлообразную форму, на поверхности которого прямые, треугольники и окружности, построенные на основе геодезических линий, соответствуют свойствам геометрии Лобачевского. Данная двумерная аналогия, однако, не вполне отвечает безгранично расширяющейся Вселенной, так как гиперболический параболоид имеет центр, а расширяющаяся Вселенная центра не имеет.

Интересно отметить, что когда Н. И. Лобачевский и немецкий математик Риман создали свои неевклидовы геометрии, многие их коллеги считали, что, хотя полученные построения логически безупречны, они не могут найти какого-нибудь применения. Прошло несколько десятилетий и оказалось, что большой мир, в котором мы живем, подчиняется законам одной из этих двух геометрий. Только потому, что деятельность человека ограничена пока очень малой областью пространства, отклонения его закономерностей от геометрии Евклида ничтожны и не могут быть обнаружены.

В какой же Вселенной мы живем? В открытой или закрытой?

При значении постоянной Хаббла $65 \text{ км/с} \cdot \text{Мпс}$ критическая плотность материи для Вселенной $\rho_0 = 8 \cdot 10^{-30} \text{ г/см}^3$. Следовательно, нужно определить, больше или меньше этой величины реальная средняя плотность материи в ней.

Оценка средней плотности материи во Вселенной одна из наиболее трудных задач. Необходимо, во-первых, как-то определять массы галактик, во-вторых, находить среднее число галактик в единице объема и, наконец, постараться учесть вклад в общую плотность материи диффузного межгалактического вещества, а может быть, и твердых тел, подобных планетам и астероидам.

До последнего времени оценки, которые удается сделать, приводят к величинам, лежащим в пределах от $2 \cdot 10^{-31}$ до $5 \cdot 10^{-31}$ г/см³, т. е. к плотностям, более чем в десять раз уступающим критической плотности материи. Из этого следует, что Вселенная бесконечно расширяется, является открытой.