

При рассмотрении релятивистской космологии, основанной на обычной форме уравнений поля ОТО, мы специально подчеркнули то обстоятельство, что относительно небольшую продолжительность расширения моделей трудно согласовать с возрастом отдельных космических систем. Может показаться, что переход к уравнениям поля Иордана только усиливает эту трудность, поскольку время расширения моделей еще более сокращается. Однако такое заключение слишком поспешно. Оценки возраста звездных систем и продолжительности эволюции отдельных звезд существенно зависят от величины гравитационной постоянной и в случае ослабления гравитации со временем они могут, как мы видели, заметно сократиться. Такое сокращение может оказаться очень значительным, если отказаться от применявшейся в предыдущих параграфах линейной формулы и заменить ее более точным законом, отвечающим данной космологической модели. Поэтому, принимая определенную космологическую модель, необходимо пересмотреть всю систему оценок возрастов звезд и звездных систем, и лишь после такого пересмотра можно судить о совместимости этих возрастов со временем расширения модели.

10. Новые попытки изменить закон Ньютона. В главе II довольно подробно рассказано о многочисленных попытках изменить форму закона обратных квадратов в теории тяготения Ньютона. Эти попытки, связанные с отдельными трудностями небесной механики или с различными общими соображениями, относились главным образом к дорелятивистскому периоду в развитии теории гравитации. Однако время от времени предложения изменить форму закона тяготения продолжают высказываться.

В 1963 г. А. Финзи, обсуждая особенности наблюдаемых движений в скоплениях галактик, высказал гипотезу о том, что на расстояниях порядка килопарсека сила гравитационного притяжения убывает медленнее, чем это следует из закона обратных квадратов [36].

Если скопления галактик являются стационарными образованиями, то они должны отвечать известной теореме вириала $2K + U = 0$, где K — кинетическая энергия поступательных движений галактик, U — потенциальная энергия, обусловленная гравитационным притяжением между ними. Между тем применение этой теоремы к конкретным скоплениям приводит к противоречию.

Допустим, что массы и светимости галактик связаны соотношением $M_i = fL_i$, где f — коэффициент пропорциональности, имеющий приблизительно одну и ту же величину для всех галактик. Кинетическая и потенциальная энергия скопления выражаются в этом случае формулами:

$$K = \frac{1}{2} f \sum L_i v_i^2; \quad U = - \gamma f^2 \sum \frac{L_i L_j}{r_{ij}}.$$

Поэтому, согласно теореме вириала, имеем

$$f = \frac{\sum L_i v_i^2}{\gamma \sum \frac{L_i L_j}{r_{ij}}}. \quad (9,10,1)$$

Расстояние до скопления определяется по средней величине красного смещения, расстояния r_{ij} находятся путем измерения фотографии скопления, скорости отдельных галактик — по отклонениям их индивидуальных красных смещений от среднего. Полученные таким образом значения f слишком велики: в тех случаях, когда имеются непосредственные оценки масс галактик, величина этого коэффициента на один-два порядка меньше.

По мнению В. А. Амбарцумяна, этот результат свидетельствует о нестабильности скоплений. Однако быстрый разлет галактик и связанное с ним короткое время жизни скоплений (порядка нескольких сотен миллионов лет) трудно совместить с относительно большими оценками возраста отдельных галактик. Гипотеза о наличии большого количества неизлучающей материи, которая ускользает от наблюдений, но создает сильное поле тяготения в скоплении и тем самым обеспечивает его стационарность при быстрых движениях галактик, едва ли заслуживает внимания.

Для преодоления указанной трудности высказывается гипотеза о том, что на расстояниях порядка килопарсека и более формула обратных квадратов должна быть заменена законом, определяющим менее быстрое убывание силы тяготения. Такой закон предлагается в следующем виде:

$$F = -\frac{\gamma M_1 M_2}{\rho^2} \left(\frac{\rho}{r} \right)^{\frac{3}{2}}, \quad (9,10,2)$$

где ρ — характерная длина, равная $\frac{1}{2}$ килопарсека.

В случае закона (9,10,2) потенциальная энергия системы определяется формулой

$$U = -\frac{2\gamma}{\rho} \sum M_i M_j \left(\frac{\rho}{r_{ij}} \right)^{\frac{1}{2}} \simeq -2 \left(\frac{\bar{r}_{ij}}{\rho} \right)^{\frac{1}{2}} \sum \frac{\gamma M_i M_j}{r_{ij}},$$

где через \bar{r}_{ij} обозначено среднее расстояние между галактиками в скоплении. При этом теорема вириала имеет, как нетрудно убедиться, вид $4K + U = 0$. Произведя необходимые подстановки, получим, вместо (9,10,1),

$$f = \frac{\sum L_i v_i^2}{\gamma \sum \frac{L_i L_j}{r_{ij}}} : \left(\frac{\bar{r}_{ij}}{\rho} \right)^{\frac{1}{2}}. \quad (9,10,3)$$

Как показывают измерения, отношение $\frac{\bar{r}_{ij}}{\rho}$ составляет около 4500. Поэтому для коэффициента f формула (9,10,3) позволяет получить вполне приемлемое значение.

Другой аргумент в пользу закона (9,10,2) связан с вопросом о массе Галактики. Если принять, что радиус галактической орбиты Солнца составляет $r = 8,2$ клс, а его орбитальная скорость $v = 220$ км сек⁻¹, то центральная масса, вычисленная по очевидной формуле $\frac{rv^2}{\gamma}$, равна $0,9 \cdot 10^{11} M_{\odot}$. Между тем масса Галактики, определяемая по радиальным скоростям шаровых скоплений, достигает $2,3 \cdot 10^{11}$. Такое различие чрезмерно велико. Если же воспользоваться законом (9,10,2), то оба определения оказываются

очень близкими. Первое из них находится по формуле $\frac{1}{(\rho r)^2} v^2$ и составляет $0,2 \cdot 10^{11} M_{\odot}$, а второе уменьшается до $0,3 \cdot 10^{11} M_{\odot}$.

А. Финзи приводит также несколько других независимых соображений, которые, по его мнению, могут свидетельствовать в пользу гипотезы о более медленном убывании силы тяготения на больших расстояниях.

С точки зрения гипотезы Финзи, приходится признать, что и ОТО ограничена относительно небольшими расстояниями и не может применяться к Метагалактике.

11. Теория Биркгофа. Наряду с ОТО существуют так называемые линейные теории гравитации, развитые в рамках плоского пространства-времени. В этих теориях, опирающихся на общую с ОТО эмпирическую основу, гравитация рассматривается как особое силовое поле в пространственно-временном континууме Минковского. Несмотря на столь глубокое отличие в подходе к проблеме гравитации, линейные теории в случае достаточно слабого поля имеют много общего с ОТО и приводят к сходным с последней конечным результатам. В частности, они позволяют дать количественно правильное описание трех элементарных эффектов ОТО: движения линии апсид планетной орбиты, искривления световых лучей в поле тяготения Солнца и гравитационного смещения спектральных линий. Можно ожидать, что при изучении эффектов слабого поля гравитации линейная теория в известных пределах может оказаться эквивалентной ОТО, тогда как с усилением поля различие между этими теориями резко возрастает.

Рассмотрим один из вариантов линейной теории тяготения — теорию Биркгофа [37], в которой гравитация интерпретируется как некоторое поле в четырехмерном пространстве-времени ОТО с квадратической формой

$$ds^2 = -dx^2 - dy^2 - dz^2 + dt^2. \quad (9,11,1)$$