

(быть может, основной вопрос фундаментальной физики): почему вакуумная материя практически не влияет на макроскопические явления?

Сейчас этот вопрос сделался особенно актуальным в связи с регистрацией новых наблюдательных данных о вспышках сверхновых звезд, находящихся на расстояниях в сотни и тысячи мегапарсек (ранее были доступны расстояния 10–20 мегапарсек). Полученные данные неопровержимо свидетельствуют, что расширение Вселенной не замедляется, а ускоряется! Из этого неизбежно следует вывод, что во Вселенной доминирует вакуум; по плотности он превосходит все «обычные» формы космической материи вместе взятые. Большая плотность вакуума приводит к ускорению расширения (т.е. к эффекту «антигравитации») именно благодаря приведенному выше необычному уравнению состояния вакуумной материи.

Метагалактика и Вселенная

Попытаемся четко определить понятия, с которыми нам придется встречаться. Прежде всего приведем порядок величин, с которыми мы будем иметь дело:

Название объекта	Размеры, см
Звезда	10^{11}
Галактика	10^{22}
Метагалактика	10^{28}

Размеры Метагалактики – это размеры, в настоящее время максимально доступные для непосредственных измерений. Поэтому, наверное, общепринято называть ее размер R_M размером Вселенной, или Мира. На наш взгляд, весь исторический опыт указывает, что наибольшие доступные размеры определяются техникой (или уровнем цивилизации). Например, еще несколько сот лет назад можно было с уверенностью определить лишь размеры Земли ($\sim 10^9$ см). Следовательно, можно сказать, что величина R_M есть наибольшее измеряемое сейчас расстояние. Вселенная же – существенно больший объект. В настоящее время есть косвенные указания, что размеры Вселенной на много порядков превышают R_M .

Космологическая постоянная

Мы не имеем возможности изложить здесь подробно общую теорию относительности (ОТО). Заметим лишь, что теоретическая основа космологии основана на ОТО. (Наиболее простое изложение ОТО и ее приложений к космологии содержится в статье И.Хрипловича «Общая теория относительности»: журнал «Квант», 1999, № 4. – *Прим. ред.*)

Отметим центральную идею ОТО. Эта теория должна отразить особенности гравитации и, по мысли Эйнштейна, быть основой космологии и специальной теории относительности. Все эти идеи нашли свое воплощение в современной науке, исключая одно важное обстоятельство: до сих пор не построена последовательная квантовая теория гравитации.

Одной из важных особенностей созданной Эйнштей-

ном ОТО является идея существования во Вселенной новой гипотетической материи, которую называют космическим вакуумом. Плотность энергии ϵ_Λ такого вакуума (Λ -члена) равна

$$\epsilon_\Lambda = \frac{\Lambda c^4}{8\pi G},$$

где Λ – введенная Эйнштейном космологическая постоянная, G – известная гравитационная постоянная.

Космологическая постоянная была введена Эйнштейном, чтобы обеспечить неизменность (постоянство) Вселенной во времени. Однако развитие ОТО (Фридман) и проведенные наблюдения (Хаббл) продемонстрировали переменность Метагалактики. Два объекта в пределах Метагалактики, разделенные расстоянием r , удалялись друг от друга со скоростью

$$v = H(t)r.$$

В нашу эпоху ($t = t_0$) постоянная $H(t_0)$ (названная постоянной Хаббла) равна

$$H(t_0) \sim 10^{-18} \text{ с}^{-1}.$$

В Метагалактике, при $t = t_0$, $|\Lambda| < 10^{-56} \text{ см}^{-2}$. Однако во Вселенной вне Метагалактики величина $|\Lambda|$ может быть очень большой и определять все процессы, в ней происходящие.

Таким образом, построить модель Метагалактики (которая во времена Эйнштейна отождествлялась со Вселенной), согласующуюся с наблюдательными данными и гипотезой о доминировании Λ -члена, оказалось невозможным, и Эйнштейн считал введение его в ОТО самой большой ошибкой в своей научной деятельности. Как оказалось далее, такая отрицательная самооценка также была ошибочной.

Отметим, что космологическая постоянная описывает гравитационные силы притяжения (если $\Lambda < 0$) или отталкивания ($\Lambda > 0$); соответствующие ей силы являются дополнительными к ньютоновским силам притяжения. Введение же Λ -члена означает введение новых сил гравитации.

Влияние вакуума на динамику Метагалактики может установить только опыт. Чтобы упростить изложение экспериментов, проведенных в последнее время и оказавших подлинно революционное влияние на космологию, мы используем нерелятивистское приближение анализа расширения Метагалактики (Милн и Маккри, начало 1930-х годов). Допустим, что Метагалактика имеет шарообразную форму с равномерной плотностью ρ_G . Тогда уравнение движения для частицы на поверхности шара выглядит так:

$$R'' = -\frac{GM}{R^2},$$

где R – радиус шара, а $M = \rho_G (4\pi/3) R^3$ – его полная масса. В первом приближении можно положить, что масса M остается неизменной, и тогда решение этого уравнения имеет вид

$$\frac{1}{2} \left(\frac{dR}{dt} \right)^2 - \frac{GM}{R} = E,$$