

*Алексей Иосифович ГАННИЦКИЙ –  
доцент кафедры моделирования физиче-  
ских процессов и систем, кандидат фи-  
зико-математических наук*

УДК 530.12

### **О ПРИРОДЕ АНТИГРАВИТАЦИИ В КОСМОЛОГИИ И ПЛОТНОСТИ КОСМИЧЕСКОГО ВАКУУМА**

*АННОТАЦИЯ. Рассмотрена модель, иллюстрирующая явление антигравитации, приводящей к ускорению расширения Вселенной.*

*The author considers the model that illustrates the antigravitation phenomenon that brings the expansion of the universe to acceleration.*

Измерение скорости удаления сверхновых звезд далеких галактик, произведенное с помощью космического телескопа «Хаббл», позволило определить скорость расширения Вселенной на ранних этапах ее эволюции. Сравнение полученных данных с данными о скорости удаления галактик, расположенных ближе к нашей галактике, привело к выводу, что расширение Вселенной не замедляется, как это предполагалось ранее на основе гипотезы о том, что этот процесс определяется гравитационным притяжением вещества Вселенной, а напротив ускоряется. Следовательно, на космологических расстояниях преобладает не гравитация, а антигравитация. Подобная антигравитация впервые была введена Эйнштейном в начале 20-х гг. при попытке построения теории стационарной Вселенной для компенсации ее гравитационного сжатия в форме так называемого космологического члена в уравнениях ОТО. После развития представлений об эволюции нестационарной Вселенной Эйнштейн отказался от этого дополнения своей теории, считая ее крайне неудачной. Однако развитие космологии в конце XX и начале XXI вв. вновь привело к установлению факта существования космологической антигравитации. При этом нельзя утверждать, что в настоящее время существует единая точка зрения на физическую природу этого явления [1]. Получила широкое распространение гипотеза о том, что космический вакуум обладает определенной плотностью  $\rho_V$ , причем с этой плотностью связано отрицательное давление  $p_V = -\rho_V c^2$  (релятивистское уравнение состояния вакуума). Такие свойства вакуума обеспечивают его релятивистскую инвариантность, т. е. независимость его свойств от выбора системы отсчета и, следовательно, невозможность связать с ним некую «абсолютную» систему отсчета и наделить его свойствами мирового эфира классической физики, рассматривать его как обычную материальную среду. Однако и в рамках этой гипотезы остается ряд нерешенных проблем, в частности, не определяется значение его плотности.

Тем не менее, можно построить достаточно наглядную модель, иллюстрирующую возможность возникновения космической антигравитации по аналогии с известным элементарным явлением эффективной «антигравитации», определяемой законом Архимеда.



Космологическое расширение Вселенной можно рассмотреть, используя следующий прием. Выделим некоторый сферический объем и рассмотрим ускорение относительно центра сферы пробного тела, находящегося на границе этого объема, под действием гравитационного притяжения материи, находящейся внутри сферы. При этом притяжение масс, равномерно распределенных вне этой сферы, не действует на тела, находящиеся на границе и внутри сферы.

Аналогом этой задачи может служить ускорение тела, находящегося в поле тяготения Земли. Если Землю окружает среда с плотностью  $\rho_a$ , то тело, имеющее среднюю плотность  $\rho_b$ , будет иметь радиальное ускорение, равное  $-g(1-\rho_a/\rho_b)$ .

Добавочное ускорение определяется давлением среды, приводящим к возникновению силы Архимеда. Оказывается, что при учете релятивистских эффектов рассмотренное выше радиальное ускорение границы сферического объема в среде, имеющей плотность  $\rho_e$  и находящейся под давлением  $p_e$ , зависит от величины этого давления и равно  $-g(1+3p_e/\rho_e c^2)$ , где  $g$  – ускорение, определяемое только гравитацией [2].

Гравитационное ускорение определяется совокупностью всех масс, находящихся внутри сферы, массой барионного, т. е. обычного вещества  $M_B$ , массой «темной материи»  $M_D$ , энергией излучения, деленной на  $c^2$ , которая гравитирует как эффективная масса  $M_R$  и массой вакуума  $M_V$ :  $M=M_B+M_D+M_R+M_V$ .

Излучение создает давление, равное  $p_R=\rho_R c^2/3$ , что приводит к удвоению вклада излучения в рассматриваемое ускорение. Давление барионного вещества и темной материи гораздо меньше плотности собственной энергии  $\rho c^2$ , поэтому соответствующими вкладами в ускорение, связанное с давлением, можно пренебречь. Остается вклад давления, создаваемого вакуумом. Принимая во внимание уравнение состояния вакуума  $p_V=-\rho_V c^2$ , получим  $1+3p_V/\rho_V c^2=-2$ , откуда следует, что отрицательное давление вакуума создает антигравитацию. Этот эффект можно интерпретировать с помощью следующей модели: тело, находящееся на границе выделенного сферического объема, испытывает гравитационное притяжение всех масс, находящихся в этом объеме, и действие «архимедовой» силы, определяемой тем, что это тело частично «вытесняет» вакуум из малого объема, занятого этим телом. При этом, как нетрудно проверить, «вытесненная» плотность вакуума равна  $\rho_A=\alpha\rho_V$ , где  $\alpha=3(\rho_B+\rho_D)(\rho_B+\rho_D+\rho_V+2\rho_R)^{-1}$ .

Вопрос о том, насколько предлагаемая модель возникновения космологической антигравитации за счет «архимедовой силы» соответствует свойствам взаимодействия обычной материи и вакуума, следующим из более разработанных моделей космического вакуума, остается открытым. Более того, сам механизм возникновения «архимедовой силы» в обычных условиях определяется существованием давления вытесняемой среды, причем давления положительного. Поэтому анализ далеко идущих следствий предположения об «архимедовом» происхождении космической антигравитации не представляется актуальным. Тем не менее, можно надеяться, что при изучении сложных и отвлеченных явлений, определяющих эволюцию Вселенной, наглядные модели, подобные изложенной, окажутся полезными.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чернин А. Д. Космический вакуум // УФН. 2001. Т. 171. С. 1153-1175.
2. Зельдович Я. Б., Новиков И. Д. Строение и эволюция Вселенной. М.: Наука, 1998.