

Кошман Валентин Семенович
кандидат технических наук, доцент
независимый исследователь

ЗАКОН ВСЕМИРНОГО ПРИТЯЖЕНИЯ И ГРАВИТАЦИОННОЕ ПОЛЕ ВСЕЛЕННОЙ КАК ЗАГАДКИ ПРИРОДЫ

Аннотация. В работе рассмотрена модель шарообразной Вселенной, которая со скоростью света расширяется в окружающую ее космическую среду. Приняты во внимание полученная Эйнштейном зависимость полной массы Вселенной от среднего радиуса ее сферы и фиксированная величина отношения числа барионов к числу фотонов на время окончания эпохи ядерных реакций, а также скорость движения реликтовых фотонов и возможность взглянуть на закон всемирного притяжения как на сумму двух физических эффектов. Показано, что для материальных частиц, звезд и галактик ньютонова сила притяжения к центру масс Вселенной равна произведению их массы на квадрат скорости света, поделенному на их удаления от центра масс Вселенной.

Ключевые слова: Гравитация, реликтовое излучение, ядерные реакции, планковские величины, окружающая Вселенную среда.

«В космологии доверие к физической простоте, ясности мысли и известным законам переходит все границы, потому что помимо этого в наше распоряжении слишком мало того на что можно опереться»

П. Пиблс

В космологии получены ответы на многие вопросы, но есть интересная проблема, которая достойна обсуждения. В рецепте энергетической смеси расширяющейся с ускорением Вселенной доминирует вклад темной энергии, о гравитационном поле речь не идет. По результатам недавней дискуссии природа и величина темной энергии выделяются [1] в ряду принципиальных неопределенностей, «Согласно Эйнштейну, подлинно физическое значение имеют два макроскопических поля – гравитация и электромагнетизм» [2]. А. Эйнштейн [3] дал уравнения гравитационного поля, кванты которого «пока не открыты и наверняка не будут открыты в обозримом будущем» [4, с. 140]. Справедлив ли закон всемирного притяжения далеко за пределами Солнечной системы и каков его «трудовой стаж»? Ниже на описание физической картины мира смотрим как на теоретическую возможность.

Авторы [5] рассматривают тяготение по Ньютону как сумму двух физических эффектов. Первый из них: тело, помещенное в пространство, создает вокруг себя центрально – симметричное гравитационное поле, напряженность которого

$$G \frac{M}{R^2} \quad (1)$$

однозначно зависит от массы M тела и удаления R точек от центра масс тела. Второй эффект: при помещении в точку поля некоторой массы m возникает центральная сила притяжения $F_{\text{пр}} = G \frac{M \cdot m}{R^2}$. Гравитационная постоянная G найдена в лаборатории. Даже в мысленном эксперименте мы должны учитывать все возможные существенные факторы, которые могут повлиять на результат, и таковые существуют.

Ключевыми константами общей теории относительности являются гравитационная постоянная G и скорость распространения света в вакууме c . По результатам решения своих уравнений А. Эйнштейн [3, с. 612] отмечает: «Характер кривизны пространства зависит от места и времени. Однако это пространство в целом можно приближенно представить в виде сферического пространства», а также дает уравнение связи между полной массой M Вселенной и средним радиусом R ее сферы: $M = 4\pi^2 \frac{R}{x} = a_1 \frac{c^2}{G} R$ (a_1 – постоянный коэффициент). Для напряженности гравитационного поля результат Эйнштейна позволяет записать



$$G \frac{M}{R^2} = \frac{c^2}{R}. \quad (2)$$

Из формулы (2) следует, что с ростом радиуса R заселенного звездами мира напряженность его гравитационного поля понижается. Размышления о физических свойствах Вселенной позволяют подвести под формулу (2) определенное теоретическое основание.

Для Пермского классического университета А.А. Фридман – первый профессор механики, а в литературе по космологии его порой называют автором теории не стационарной Вселенной. Исследуя уравнения Эйнштейна, Фридман [6] привносит идею наблюдаемого в природе движения в теорию Вселенной, показывает, что у нее есть история.

Законы физики, как правило, оформляются как информативные математические формулы. В записи закона всемирного притяжения мы видим гравитационную постоянную G , в уравнениях Эйнштейна к G добавляется скорость света c , в формуле Планка к c добавлена постоянная Планка h и постоянная Больцмана k_B . Результаты астрономических наблюдений не исключают возможность того, что в глубинном космологическом прошлом «размер Вселенной, в которой мы ныне живем, был ничтожно маленьким всего 10^{-33} см, то есть на 20 порядков меньше размера атомного ядра. Плотность была значительная – 10^{93} г/см³. Несмотря на такую гигантскую плотность полная масса материи, которая тогда существовала, составляла $10^{-5} - 10^{-6}$ г» [7]. Здесь речь идет о планковских единицах длины $L_{pl} =$

$\left(\frac{h \cdot G_H}{c^3}\right)^{1/2}$, объемной плотности массы $\rho_{pl} = \frac{m_{pl}}{L_{pl}^3}$ и массы $m_{pl} = \left(\frac{h \cdot c}{G_H}\right)^{1/2}$ материи на планковское время $t_{pl} = \frac{L_{pl}}{c} = \left(\frac{h \cdot G_H}{c^5}\right)^{1/2}$ порядка 10^{-44} с.

По свидетельству К.А. Томилина [8, с. 239], в 1918 г. А. Эддингтон в «Докладе о релятивистской теории гравитации» охарактеризовал физические постоянные G , c и h как «фундаментальные константы природы» и предположил, что они определяют «фундаментальную единицу длины», которая «должна быть ключом к некоторой существенной структуре». И действительно, Вселенная расширяется, следовательно, в глубинном космологическом прошлом ее размер был весьма малым, порядка планковской длины L_{pl} .

Эйнштейн дал формулу $M = 4\pi^2 \frac{R}{x}$ и, тем самым, предсказал рост полной массы M Вселенной с ростом радиуса R ее сферы. Если идти дальше, то следует указать источник колоссально огромного количества энергии, который обеспечил рост M до M_n . Нет ясности и в зависимости R от космологического времени t . Возможно, поиск ответов на эти вопросы напрямую связан с дальнейшим развитием идеи горячего начала Вселенной. Прежде с позиции термодинамики установим уравнения для полной энергии U Вселенной и энергии ее фотонной составляющей U_ϵ , а затем выйдем на уравнение связи $R = R(t)$, которое позволяет строго получить уравнение для U .

Вселенная существует в единственном экземпляре, который интересен для описания. На нашем пути принимаем допущение, что несмотря на быстрое протекание ранних ядерных реакций Вселенная не забывает свое состояние на время окончания планковской эпохи.

Проблема «больших чисел» с общей величиной 10^{10} обсуждается в литературе. Безразмерные планковские величины изменяются непрерывно, что важно при поиске взаимосвязей между ними. Применим методический прием, аналогичный использованному ранее при установлении газовых законов Шарля, Гей – Люссака и Бойля – Мариотта. Проиллюстрируем подход на примере. Известны числовые значения характеристик на время окончания эпохи Планка и в нашу эпоху. Находим значения безразмерных планковских температуры фотонного излучения $\frac{T_{pl}}{T_n} = \frac{10^{32}}{1} = \llbracket 10 \rrbracket^2 (10^{10})^3$ и времени от начала расширения Вселенной $\frac{t_n}{t_{pl}} = \frac{10^{18}}{10^{-44}} = 10^2 (10^{10})^6$. Получаем $\left(\frac{1}{10^2} \frac{T_{pl}}{T_n}\right)^{1/3} = \left(\frac{1}{10^2} \frac{t_n}{t_{pl}}\right)^{1/6} = 10^{10}$, а также $\frac{T_n}{T_{pl}} = \frac{1}{10} \left(\frac{t_{pl}}{t_n}\right)^{1/2}$ и переходим к текущим значениям физических величин. Совместное



рассмотрение ряда безразмерных планковских величин позволяет [9] в единой связке установить уравнение Стефана – Больцмана для объемной плотности энергии фотонного излучения

$$u_\varepsilon = \frac{U_\varepsilon}{V} = \frac{U_{pl}}{V_{pl}} \left(\frac{T}{T_{pl}} \right)^4 = \frac{\alpha_2 \cdot k_B^4}{c^3 \cdot \hbar^3} T^4, \quad (3)$$

уравнение для объемной плотности полной энергии во Вселенной

$$u = \frac{U}{V} = f \cdot u_\varepsilon = \frac{M \cdot c^2}{V} = \frac{U_{pl}}{V_{pl}} \left(\frac{t_{pl}}{t} \right)^2 = a_3 \frac{c^2}{G \cdot t^2}, \quad (4)$$

и уравнение связи между температурой T фотонного излучения и временем t космологического расширения Вселенной

$$T = \frac{1}{f^{1/4}} T_{pl} \left(\frac{t_{pl}}{t} \right)^{1/2} = \left(\frac{\alpha_4 \cdot \hbar^3 \cdot c^5}{G \cdot k_B \cdot f} \right)^{1/4} \frac{1}{t^{1/2}}. \quad (5)$$

Величины коэффициентов α_2 , α_3 и α_4 в формулах (3) – (5) известны. В законе Стефана – Больцмана, при $\hbar = \frac{h}{2\pi}$ строгая теория дает $\alpha_2 = \frac{\pi^2}{15}$ [10]. По свидетельству А.Д. Чернина [11], в 1953 году, наряду с уравнением Стефана – Больцмана, формулу $u = \rho c^2 = \frac{3}{32\pi} \frac{c^2}{G \cdot t^2}$ Г.А. Гамов использовал при теоретическом предсказании температуры реликтового излучения. В согласии с результатами теорий гравитации Ньютона и Эйнштейна при $\alpha_4 = \frac{45}{32\pi^3}$ П. Девис [12, с. 113] обращает внимание на тот факт, что теории гравитации Ньютона и Эйнштейна дают одну и ту же формулу для объемной плотности полной энергии в функции от времени t и дает формулу $k_B T = \left(\frac{45 \cdot \hbar^3 \cdot c^5}{32\pi^2 G \cdot f} \right)^{1/4} \frac{1}{t^{1/2}}$ где f – весовой множитель, «принимая во внимание, что «может существовать несколько видов излучения».

При энергии одного фотона $U_\varepsilon^{(I)} = k_B \cdot T = U_{pl} \frac{T}{T_{pl}}$ закон природы (3) дает свидетельство о рождении ныне реликтовых фотонов в количестве $\mathcal{N}_\varepsilon$ от планковского времени $\mathcal{N}_\varepsilon = \frac{V}{V_{pl}} \left(\frac{T}{T_{pl}} \right)^3$, согласно которому по мере расширения Вселенной «температура излучения падает нелинейно, по закону $T \propto \frac{\mathcal{N}_\varepsilon}{R}$ (в отличие от его адиабатного варианта $T \propto R^{-1}$)» [9, с. 892]). Производство фотонов идет и сегодня в недрах звезд.

В становление теории эволюции Вселенной важная роль отведена ее горячей модели, в которой предсказаны подтвержденные в наблюдениях реликтовое излучение и его спектр абсолютно черного тела, температура газа реликтовых фотонов и процентное содержание водорода и гелия во Вселенной [10, 11, 14 – 16]. Подстановка числовых значений в (5) дает формулу $T = \frac{1}{f^{1/4}} 10^{32} \left(\frac{10^{-44}}{t} \right)^{1/2} \approx \frac{10^{10}}{f \cdot t^{1/2}}$. Обычно эту формулу записывают как $T = \frac{10^{10}}{t^{1/2}}$ [13, с. 203]. В истории Вселенной выделяется эпоха ядерных реакций. Для их протекания необходимы высокие температуры. Принимая во внимание интервал температуры, Я.Б. Зельдович [14] для эпохи ядерных реакций отводит интервал времени $1\text{с} < t < 100$, а С. Вайнберг [15] увеличивает ее протяженность до трех минут. К этому времени ныне реликтовые фотоны со скоростью света $c \approx 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$ прошли путь до 10^{10} м .

Фотоны и барионы есть объекты ясной физической природы. При первичном нуклеосинтезе фотоны и барионы на удалениях друг от друга не рассматриваются, напротив, рассматриваются в неразрывном единстве из расчета где – то пяти миллиардов фотонов на один барион [10]. В пространстве каждый из фотонов движется прямолинейно, Барионы, которые объединены в группы, движутся как со скоростью света c , так и с окружающими скоростями, а также участвуют в относительном движении. Примером здесь служит движение масс в Солнечной системе, а также ее движение в пределах галактики. Не первый год изучается анизотропия реликтового излучения, его карта не деформируется, а уточняется. Обобщая, можно принять, что связь между параметрами расширения Вселенной имеет вид



$$R = c \cdot t = \frac{L_{pl}}{t_{pl}} t. \quad (6)$$

Эта формула отвечает модели мира Эйнштейна, в котором сложная в деталях реальная поверхность Вселенной приближенно заменена сферической поверхностью.

Давление p газа составляет одну треть от его внутренней энергии u , а изменчивость масштабного фактора a отвечает уравнению общей теории относительности без Λ – члена:

$\left(\frac{\dot{a}}{a}\right)^2 = \frac{8\pi G}{c^2} (u + p)$, где точка над a означает производную по времени. Масштабный фактор a пропорционален расстоянию между типичными скоплениями галактик на поверхности сферы [12]. Поскольку радиус R сферы прямо пропорционален времени t – см. (6), то линейная и зависимость a от t . Это дает $\frac{\dot{a}}{a} = \frac{1}{t}$. В результате получаем формулу (4): $u = \rho c^2 = \frac{3}{32\pi} \frac{c^2}{G \cdot t^2}$. В уравнении теории относительности выражение в скобках неразрывно связано с законом сохранения и превращения энергии: энергия ϵ , которая подводится к газу извне, идет на повышение его внутренней энергии U и на совершение газом работы расширения pV : $u + p = \frac{U}{V} + \frac{pV}{V} = \frac{E}{V}$. Причиной роста полной массы M Вселенной является приток в нее энергии E извне, от внешней среды, причем 75 % от E идет на повышение полной внутренней энергии U Вселенной как газа, а 25 % на совершение газом работы расширения [17]. По – видимому, нет достаточного основания отказаться от участия энергии окружающей Вселенную среды в наборе ею массы от планковской m_{pl} до современной M_n величины.

Объем Вселенной пропорционален кубу радиуса ее сферы. Следуя уравнению (4), устанавливаем зависимость объемной плотности массы ρ Вселенной от величины $\frac{c^2}{G R^2}$, получаем $\rho = \frac{M}{R^3} = \frac{1}{G \cdot t^2} = \frac{c^2}{G \cdot R^2}$, а далее выходим на формулу для напряженности гравитационного поля (2): $G \frac{M}{R^2} = \frac{c^2}{R}$, а также на формулу для силы всемирного притяжения F_{np} , с которой галактика массой m притягивается к центру масс Вселенной

$$F_{np} = G \frac{M \cdot m}{R^2} = \frac{m \cdot c}{t} = \frac{m \cdot c^2}{R}. \quad (7)$$

Здесь $G = \frac{L_{pl}^3}{m_{pl} \cdot t_{pl}^2 u}$ и $c = \frac{L_{pl}}{t_{pl}}$ [8, с. 126], следовательно, запись закона всемирного притяжения преобразуется к виду

$$F_{np} = F_{pl} \frac{M}{m_{pl}} \frac{m_j}{m_{pl}} \left(\frac{L_{pl}}{R}\right)^2 = F_{pl} \frac{m_i}{m_{pl}} \frac{m_j}{m_{pl}} \left(\frac{L_{pl}}{r_{ij}}\right)^2, \quad (8)$$

где F_{pl} – планковская сила, $F_{pl} = m_{pl} \frac{L_{pl}}{t_{pl}^2}$ (ок. 10^{44} Н). Если следовать (8), то заселение Вселенной материальными частицами начинается от планковского времени t_{pl} . К третьей минуте возникает россыпь природного материала, необходимого и достаточного для становления звезд. И как бы ни был велик хаос в барионной мозаике в ранней физической картине мира, гравитация по Ньютону обеспечит шарообразность звезд, планет, их спутников, Вселенной в целом. Отдельные детали становления Солнечной системы можно оценить цифрами [18].

При возрасте Вселенной $t_n = 13,7$ млрд лет получаем величину радиуса Вселенной $R_n = 3 \cdot 10^8 4,3210^{17} = 1,3 \cdot 10^{26}$ м. По формуле $\frac{M}{m_{pl}} = \frac{R}{L_{pl}}$ [17] (она отвечает решению Эйнштейна: $M = 4\pi^2 \frac{R}{x} = a_1 \frac{c^2}{G} R$) вычисляем полную массу Вселенной $M_n = 2,110^{-8} \frac{1,3 \cdot 10^{26}}{1,6 \cdot 10^{-35}} = 1,7 \cdot 10^{53}$ кг. В настоящее время полная масса Вселенной превышает планковскую массу в $\frac{M_n}{m_{pl}} = 10^{61}$ раз. Подставив в формулу (8) массу галактики 10^{42} кг, вычисляем величину силы, с которой она притягивается к центру масс Вселенной: $F_{np} \approx \frac{10^{-11} \cdot 10^{53} \cdot 10^{42}}{(10^{26})^2} \approx 10^{32}$ Н и $F_{np} \approx \frac{10^{42} (10^8)^2}{10^{26}} \approx 10^{32}$ Н.



Наблюдаем согласие по порядку величин. Найденная сила велика, чтобы ее экспериментально регистрировать и измерять, но она примерно в 10^{12} раз меньше планковской силы F_{pl} .

Физика устанавливает законы природы. Взгляд на природу через призму объективно существующих закономерностей внешнего мира не исключает возможность существования гравитационного поля Вселенной. Школьникам часто задают вопрос; почему яблоко падает на землю, а Луна в своем движении не касается Земли. Эпиграф принят по данным работы [16].

Список литературы:

1. Широков С.И. Космологические критические тесты на основе многоканальных THESTUS – БТА наблюдений гамма – всплесков / С. В. Широков, И. В. Соколов, В. В. Власюк, Л. Амати, В. В. Соколов, Ю. В. Барышев // *Астрофизический бюллетень*. 2020. Т. 75. № 3. С. 235-249.
2. Тредер Г. – Ю. Взгляды Гельмгольца, Планка и Эйнштейна на единую физическую теорию // *Проблемы физики: классика и современность*/ пер. с нем. и англ. М.: Мир. 1982. С. 295-314.
3. Эйнштейн А. Вопросы космологии и общая теория относительности // *Собрание научных трудов*. Т.1. М.: Наука. 1967. С. 601-612.
4. Окунь Л.Б. Основные понятия и законы физики и свойства элементарных частиц материи // *О движении материи*. М.: ФИЗМАТЛИТ. 2012.. С. 120-155.
5. Лукьянец В.А. Физические эффекты в машиностроении: справочник / В.А. Лукьянец, В.И. Алмазова, Н.П. Бурмистрова и др. М.: Машиностроение. 1993. – 224с
6. Фридман А.А. О кривизне пространства // А.А. Фридман. Избранные труды. М.: Наука. 1966. С. 229-239.
7. Новиков И.Д. Инфляционная модель ранней Вселенной // *Вестник Российской академии наук*. 2001. Т. 71. № 10. С. 886-914.
8. Томилин К.А. Фундаментальные физические постоянные в историческом и методическом аспектах. М.: ФИЗМАТЛИТ. 2006. – 368 с.
9. Кошман В.С. Алгоритм и результат поиска уравнений космологической эволюции нашей Вселенной // *Тенденции развития науки и образования*. 2022. № 86 – 8. С. 113-119.
10. Вайнберг С. Космология / пер. с англ. М.: ЛИБРОКОМ. 2013. – 608 с.
11. Чернин А.Д. Как Гамов вычислил температуру реликтового излучения, или немного об искусстве теоретической физики // *Успехи физических наук*. 1994. Т. 264. № 8. С. 889-896.
12. Девис П. Случайная Вселенная / пер. с англ. М.: Мир. 1985. – 160 с.
13. Розен В.В. Концепции современного естествознания: учебное пособие. СПб.: Издательство «Лань». 2022. – 480 с.
14. Зельдович Я.Б. «Горячая» модель Вселенной // Я.Б. Зельдович. Избранные труды. Частицы. Ядра. Вселенная. М.: Наука. 1985. С. 237-244.
15. Вайнберг С. Первые три минуты: Современный взгляд на происхождение Вселенной / пер. с англ. М.: Энергоиздат. 1981. – 208 с.
16. Пиблс П. Физическая космология / пер. с англ. М.:Мир. 1975. – 310 с.
17. Кошман В.С. О взаимосвязи между временем расширения, внешней энергией, гравитационной массой и радиусом Вселенной // *Вектор научной мысли*. 2025. № 4. С 330-333.
18. Кошман В.С. О генетическом сродстве составляющих Солнечной системы и изменчивости параметров ее родительского тела // *Тенденции развития науки и образования*. 2024. № 2024. 5 (13). С. 193-197.

