

Кошман Валентин Семенович

кандидат технических наук, доцент,
независимый исследователь
Koshman Valentin Semenovich

О ВЗАИМОСВЯЗИ ЗАКОНА ВСЕМИРНОГО ПРИТЯЖЕНИЯ С ФОРМУЛОЙ ЭЙНШТЕЙНА ДЛЯ ПОЛНОЙ МАССЫ ШАРООБРАЗНОЙ ВСЕЛЕННОЙ ON THE RELATIONSHIP BETWEEN THE LAW OF UNIVERSAL GRAVITATION AND EINSTEIN'S FORMULA FOR THE TOTAL MASS OF A SPHERICAL UNIVERSE

Аннотация. В работе рассмотрены отдельные возможные взаимосвязи характеристик в горячей модели расширяющейся Вселенной, включая и связь установленного Ньютоном закона обратных квадратов с формулой Эйнштейна для полной массы Вселенной.

Abstract. The paper examines individual possible relationships between characteristics in a hot model of an expanding Universe, including the relationship between Newton's inverse-square law and Einstein's formula for the total mass of the Universe.

Ключевые слова: Форма Вселенной, полная масса Вселенной, скорость расширения Вселенной, реликтовое излучение, гравитация, планковские величины.

Keywords: Shape of the Universe, total mass of the Universe, expansion rate of the Universe, cosmic microwave background radiation, gravity, Planck values.

Человек издавна решал задачу понять окружающую его природу. Инструментами познания мира были выбраны наблюдение, измерение, логические построения, а также опора на результаты, которые получены ранее. Известен путь, следуя которому И. Ньютон вышел на отвечающий гравитации закон обратных квадратов. Результаты прогноза на основе установленной Ньютоном закономерности не оставляют нас равнодушными. Э. Кант привнес в физику идею эволюции: звезды благодаря гравитации возникают из холодных пылевых облаков. Для космологических моделей догадка Канта со временем станет ключевой. В последовательной теории движения Вселенной звезды могут взрываться, но прежде они должны возникнуть. И. Ньютон [11, с. 3] видит задачу физики в том, чтобы «по явлениям движения распознавать силы природы, а затем по этим силам изъяснять остальные явления». В литературе обсуждаются реликтовое фотонное излучение, радиоактивный распад и космологическое расширение Вселенной. Ниже, решая задачу, прежде обозначим исходную позицию, а далее покажем возможные взаимосвязи между известными формулами.

Размерные комбинации мировых констант. Изучая особенности наблюдаемого в лаборатории теплового излучения абсолютно черного тела, М. Планк счел необходимым в один ряд со скоростью света c и универсальной гравитационной постоянной G поставить элементарный квант действия h и постоянную Больцмана k_B . Более того, на надежной основе четырех фундаментальных физических постоянных: G , c , h и k_B Планком предложены естественные единицы длины L_{pl} (ок. 10^{-35} м), массы m_{pl} (ок. 10^{-8} кг), времени t_{pl} (ок. 10^{-44} с), и температуры Tr_{pl} (ок. 10^{32} градусов Кельвина). На сегодняшний день «многие уравнения, с которыми космологи работают при описании ранней Вселенной, записаны в планковских единицах, что значительно упрощает запись и позволяет вычлени физический смысл задачи» [2, с. 75]].

Поиск решений продолжается. Интерес представляет и рекомендация автора [3, с. 88]: «При изучении гравитации иногда удобно использовать «планковскую систему единиц». В этих единицах $G = 1 \cdot \frac{L_{pl}^3}{m_{pl} \cdot t_{pl}^2}$; $c = 1 \cdot \frac{L_{pl}}{t_{pl}}$; $h = 1 \cdot \frac{m_{pl} \cdot L_{pl}^2}{t_{pl}}$ ». Эйнштейновскую гравитационную постоянную $\kappa = \frac{8\pi G}{c^4}$, в эйнштейновском законе тяготения $R_{ik} - \frac{1}{2} g_{ik} R = \kappa T_{ik}$, К.А. Томилин [4, с. 126] рассматривает как отношение планковской длины L_{pl} к планковской энергии U_{pl} : $\kappa =$



$\frac{8\pi L_{pl}}{U_{pl}}$. Также отметим $k_B = \frac{U_{pl}}{T_{pl}}$. Отмеченные взаимосвязи позволяют их придать прочтению известным из курса физики формул новое звучание, обозначить границы применимости, а порой и увязать ход решения задачи с принципом причинности.

О скорости расширения сферы Вселенной. Интересуясь окружающим миром, человек не только наблюдает и думает над тем, что измерять, но порой и предсказывает. Так, А.А. Фридман, исследуя мировые уравнения А. Эйнштейна предсказал не стационарность Вселенной. Прогноз получил подтверждение в астрономических наблюдениях. В этом видим свидетельство тому, что Эйнштейну [5] на пути описания изменчивости природы удалось ухватить главное. Обнаружено и реликтовое излучение, которое предсказано Г.А. Гамовым (1946 г.) как естественный продукт ядерных реакций в ранней горячей Вселенной. Тогда ее температуры были больше, чем она сегодня в недрах звезд. В наблюдениях достоверно установлено, что Вселенная расширяется, а реликтовое излучение имеет спектр излучения

абсолютно черного тела. Из формулы Планка для спектра черного тела излучения $\frac{d(\frac{U_\varepsilon}{V})}{dv} = \frac{8\pi h^3 v^3}{c^3} \frac{1}{e^{h\nu/k_B T} - 1} = \frac{U_{pl}}{V_{pl} \nu_{pl}} \left(\frac{\nu}{\nu_{pl}}\right)^3 \frac{1}{\exp\left(\frac{\nu T_{pl}}{\nu_{pl} T}\right) - 1} (u_\varepsilon - \text{объемная плотность энергии фотонного излучения,}$

ν – частота, T – температура излучения) следует, что первые из ныне реликтовых фотонов возникают сразу же вслед за прохождением Вселенной планковского объема $V_{pl} = L_{pl}^3$ (ок. 10^{-105} м^3) на времена t_{pl} . С того уникального мгновения кванты света (фотоны) движутся в охватываемом ими пространстве по всем направлениям от единого природного центра с неизменной скоростью света c . С борта искусственных спутников Земли параметры реликтового излучения уточняются уже не первый год. Соглашаемся с мнением [6 с. 104] о том, что движение материи в пространстве и времени суть фундаментальное свойство реального мира. Реликтовые фотоны, звезды и звездно – планетные системы, как пассажиры в поезде, движутся с одной и той же скоростью. Для изменчивости среднего радиуса R сферы Вселенной [5 с. 612] по времени принимаем [7]:

$$R = ct = \frac{L_{pl}}{t_{pl}} t, \quad (1)$$

где t – космологическое время (в нем от $t = 0$ с исчисляется возраст Вселенной). Во все времена в своем движении фотоны остаются в пределах сферы радиуса $R = ct$, что характерно для модели абсолютно черного тела.

Отметим, что мысль о расширении Вселенной со скоростью света c отличается от мнений других авторов: частная теория относительности накладывает запрет на движение частиц массы m со скоростью света c ; А. Эйнштейн [5] и С. Вайнберг [8] соответственно полагают, что звезды и галактики движутся с малыми скоростями; в инфляционной модели Вселенная расширяется со скоростью, величина которой превышает скорость света c [9]; в модели Вселенной с темной энергией на внегалактических масштабах Вселенная расширяется с ускорением.

Результаты Ньютона и Эйнштейна, полученные при аналитическом описании особенностей проявления гравитации. Скажем так, установленная Ньютоном сила притяжения F_{np} действует и локально, и глобально. При локальном действии в массивах удаленные одна от другой на r массы m_1 и m_2 взаимно притягиваются: $F_{np} = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$, но те же массы, а равно и массивы притягиваются к центру масс глобальной физической системы. При решении задач машиностроения проявление закона всемирного притяжения рассматривается [10] как сумма двух физических эффектов. Первый эффект: тело массой M размещается в пространстве. Вокруг тела возникает центрально – симметричное гравитационное поле, напряженность которого $G \frac{M}{R^2}$ зависит от величин массы M и удаленности R точек от центра масс тела. Второй эффект в том, что на помещенное в гравитационное поле на удалении R от его центра на тело массой m действует центральная сила притяжения F_{np} . В согласии с



известной схемой [8, с. 158] полную массу M Вселенной помещаем в центр сферы, а на удалении R от центра выделяем галактику массой m . На галактику действует сила притяжения

$$F_{np} = G \frac{M \cdot m}{R^2} = F_{po} \frac{M \cdot m}{m_{pl}^2} \left(\frac{L_{pl}}{R} \right)^2, \quad (2)$$

где F_{pl} – планковская сила, $F_{pl} = m_{pl} \frac{L_{pl}}{t_{pl}^2}$ (ок. 10^{44} Н). Из формулы (2) узнаем, что силы

притяжения F_{np} возникают от планковского времени t_{pl} . Из формул $F_{np} = F_{pl} \frac{M \cdot m}{m_{pl}^2} \left(\frac{L_{pl}}{R} \right)^2$ и $F_{np} = F_{pl} \frac{m_1 \cdot m_2}{m_{pl}^2} \left(\frac{L_{pl}}{r} \right)^2$ следует, что от t_{pl} рождаются массы m_j и M . И в модели Ж. Леметра Вселенная начинается с распада первичного весьма нестабильного атома. Появляются и дискретные нестабильные предшественники россыпи строительного материала для дальнейшего формирования звезд, и первые кванты света (фотоны), которые с ростом объема Вселенной охлаждаются, не исчезают, а сохраняются в мире вплоть до нашей эпохи.

В записи вида $M = 4\pi^2 \frac{R}{ae}$ формула для M в (2) дана Эйнштейном в работе [5 с. 612].

В современных обозначениях формула Эйнштейна имеет вид

$$M = \frac{c^2}{G} R. \quad (3)$$

Делим здесь левую и правую части на R^3 и получаем

$$\frac{1}{R^2} = \frac{G}{c^2} \rho, \quad (4)$$

Согласно которой кривизна $\frac{1}{R^2}$ Вселенной прямо пропорциональна объемной плотности ее полной массы ρ . И что характерно, Эйнштейн [5, с. 612] отмечает, что «представление о реальном мире, согласно нашим рассуждениям, было бы следующим. Характер кривизны пространства зависит от места и времени. Однако это пространство в целом можно приближенно представить в виде сферического пространства. Во всяком случае это представление логически непротиворечиво и с точки зрения общей теории относительности является наиболее естественным». Т. Редже [11, с. 138] полагает, что формула (4) представляет собой основной результат общей теории относительности. Для историков науки, пожалуй, интересна и формула

$$\rho = \frac{3}{43\pi G t^2}. \quad (5)$$

Из известных соотношений она была выделена [12] Гмовым в 1953 г. при теоретическом предсказании криогенной температуры реликтового излучения. Формула (5) отвечает (4), поскольку $R = ct$. Похоже на то, что Гамов не очень то верил в результаты своих предсказаний. Здесь можно отметить особенности: а) теоретические построения Гамова не отличались математической строгостью, б) для космологов – сторонников ОТО открытие реликтового излучения стало полной неожиданностью, в) отношение космологов к предложенной Гамовым модели взорвавшейся в пространстве конечной бомбы не являются безоблачным [13].

Отметим отдельные пути выхода на известные нам формулы.

Путь первый от установленной Ньютоном закономерности (2) к формуле (3). Пусть сгусток материи массой m за время t удалилась от центра сферы Вселенной на расстояние R и притягивается к центру масс с силой F_{np} . Согласно второму закону Ньютона отношение силы к массе равно ускорению

$$\frac{F_{np}}{m} = \frac{R}{t^2}, \quad (6)$$

а при движении тел/частиц в естественной системе координат $\frac{R^2}{t^2} = c^2$. Тогда закономерность (2) позволяет выйти на формулу для M :

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



Вспоминая о правиле предельного перехода, отметим, что на планковское время формула (6) отвечает планковскому ускорению $\frac{F_{pl}}{m_{pl}} = \frac{m_{pl} \frac{L_{pl}}{t_{pl}^2}}{m_{pl}} = \frac{L_{pl}}{t_{pl}^2}$. При известном до 1917 г. решении (7) выход на формулу $M = 4\pi^2 \frac{R}{a}$ [5] методом ОТО, возможно, стал бы свидетельством в пользу сферичности Вселенной.

Путь второй от эйнштейновской гравитационной постоянной $\kappa = \frac{8\pi L_{pl}}{U_{pl}}$ к формуле (3). В модельном мире Эйнштейна U_{pl} и L_{pl} – начальные условия движения. Переход от них к соответствующим переменным физическим величинам дает $\frac{U_{pl}}{L_{pl}} = \frac{U}{R}$. Здесь $U_{pl} = m_{pl}c^2$, а $U = Mc^2$. Вновь имеем $M = \frac{U}{c^2} = \frac{m_{pl}}{L_{pl}} R = \frac{c^2}{G} R$.

Путь третий от уравнения общей теории относительности $2\frac{\ddot{a}^2}{a} + \left(\frac{\dot{a}}{a}\right)^2 = \frac{8\pi G}{c^2} (u + p)$ к формуле (5). В уравнении в скобках учтено, что энергия E , которая подводится ко Вселенной извне, идет на повышение ее полной внутренней энергии U и на совершение ею работы расширения pV (выходим на $\frac{E}{U_{pl}} = \frac{R}{L_{pl}} = \frac{t}{t_{pl}}$, где при предельном переходе допускаются нули). Масштабный фактор a прямо пропорционален расстоянию между типичными скоплениями галактик на поверхности сферы Вселенной [14]: \ddot{a} и \dot{a} – вторая и первая производные от a по времени. В модельном мире Эйнштейна $\frac{\ddot{a}}{a} = 0$ и $\left(\frac{\dot{a}}{a}\right)^2 = \frac{1}{t^2}$, что при давлении $p = \frac{u}{3}$ (так принято для газа фотонов) дает выход на формулу

$$u = \frac{U}{V} = \frac{3}{32\pi}, \quad (8)$$

следовательно, и на (5). Здесь $U \propto t, V \propto t^3$, а $u = \rho c^2 = \frac{U}{V} \propto \frac{1}{t^2}$.

Формула (8) в записи вила $u = u_{pl} \left(\frac{t_{pl}}{t}\right)^2$, а также закону Стефана – Больцмана для объемной плотности энергии реликтового фотонного чернотельного излучения

$$u_\varepsilon = \frac{U_\varepsilon}{V} = \frac{U_{PL}}{V_{PL}} \left(\frac{T}{T_{PL}}\right)^4. \quad (9)$$

получены в простейшем мысленном космологическом эксперименте [15]. Физический закон (9) является дополнительным подтверждением тому, что по мере расширения Вселенной температура ее фотонной составляющей понижается.

Для модельного мира Эйнштейна – Фридмана – Гамова свойственны и три особенности:

а) полная энергия U , как минимум, складывается из ее фотонной (U_ε), барионной (U_b) и гравитационной (U_g) составляющих

$$U = U_g + U_b + U_\varepsilon; \quad (10)$$

б) наличие уравнения связи

$$f = \frac{u}{u_\varepsilon} \quad (10)$$

(оно предложено автором [14]; для нашей эпохи $f_n \approx 10^4$ [15]);

в) от глубинного космологического прошлого U определяется в долях планковской энергии U_{pl} :

$$U = \frac{R}{L_{pl}} U_{pl} = \frac{t}{t_{pl}} U_{pl}, \quad (11)$$

Под каждым из суждений есть свое основание. В край угла ставим формулу Эйнштейна (3), закономерности реликтового излучения и два закона природы. Закон всемирного притяжения и эйнштейновский закон тяготения не независимо дают один и тот же результат (3), справедливый – см. (11) – от планковского времени. Ответственность за предсказанную Эйнштейном сферическую поверхность Вселенной берет на себя закон всемирного притяжения. У Вселенной ее энтрально – симметричное гравитационное поля существует от



планковского времени, у стока космологического расширения его напряженность была особенно высокой. В равной мере вызывают сомнения формулировка [3, с. 88]: «ньютоновская гравитация возникает из общей теории относительности в приближении слабых гравитационных полей и движении с малыми скоростями», и рецепт энергетической смеси Вселенной, в котором доминирует вклад темной энергии. Гравитационные поля совершают работу, им присуща энергия. В нашу эпоху – см. (9) – энергия гравитационного поля Вселенной U_{gn} заметно превышает и энергию вещества звезд U_{bn} , и энергию реликтового излучения U_{en} .

Автор уже не первый год отмечает что космологическое расширение Вселенной – это и самое грандиозное из газодинамических течений в природе. В целях его описания на роль газодинамических функций номинируются внутренне согласованные безразмерные планковские величины. Осваивая профессию инженера – механика, автор и не предполагал, что со временем будет рассуждать о свойствах реального мира. В буквальном переводе слово инженер означает изобретатель. Изобретать можно от физических явлений, по аналогии и т.д. Автору ближе термодинамика, гидравлика, газовая динамика и теория полета с ее плоскостью стрельбы. Возникнув из тяжелых частиц по числу заезд, их радиоактивные родительские тела, как рой пчел, со скоростью c удаляются от центра масс Вселенной. Из вращающихся торообразных родительских тел силы ядерного взрыва выбрасывают сгустки материи для дальнейшего формирования планет на эллиптических орбитах (с производством химических элементов периодической системы Д.И. Менделеева). В недрах звезд гравитационное давление уравнивается давлением газа рождающихся фотонов, а ядерные реакции есть реликт горячего прошлого Вселенной. В целом же автор следовал рекомендации [16]: для понимания особенностей движения Вселенной необходимы склонность к физической простоте, ясность мыслей, осмысление наблюдательных фактов и уважительное отношение к сущности физических законов. Выше автор выделяет сводку формул (1) – (11), а далее профессиональные космологи пусть делают с нею все, что хотят.

Список литературы:

1. Ньютон И. Математические основы натуральной философии / пер. с лат. М.: Наука. 1989. – 689 с
2. Сажин М.В. Современная космология в популярном изложении. М.: Едиториал УРСС. 2002. – 240 с
3. Цвибах Б. Начальный курс теории струн / пер. с англ. М.: Едиториал УРСС. 2011. 784 с.
4. Томилин К.А. Фундаментальные физические постоянные в историческом и методическом аспектах. М.: ФИЗМАТЛИТ. 2006. – 368
5. Новиков И.Д. Инфляционная модель ранней Вселенной // Вестник Российской академии наук. 2001. Т. 71. № 10. С.886 – 91
6. Кошман В.С. Ошибался ли Эйнштейн в своих представлениях о свойствах Вселенной? // Вектор научной мысли. 2026. № 2. С. 232 – 238.
7. Эйнштейн А. Вопросы космологии и общая теория относительности // Собрание научных трудов. Т1. М.: Наука. 1967. С. 601 – 612.
8. Вайнберг С. Первые три минуты: Современный взгляд на происхождение Вселенной / пер. с англ. М.: Энергоиздат. 1981. – 208 с.
9. Лукьянец В.А. Физические эффекты в машиностроении: справочник / В.А. Лукьянец, В.И. Алмазова, Н.П. Бурмистрова и др. М.: Машиностроение. 1993.
10. Редже Т. Этюды о Вселенной / пер. с итал. М.: Мир. 1985. – 181
11. Чернин А.Д. Как Гамов вычислил температуру реликтового излучения, или немного об искусстве теоретической физики // Успехи физических наук. 1994. Т. 169. № 8. С. 889 – 896.
12. Клайн М. Математика. Поиск истины / пер. с англ. М.: Мир. 1988. 295 с.
13. Зельдович Я.Б. «Горячая» модель Вселенной // Я.Б. Зельдович. Избранные труды. Частицы. Ядра. Вселенная. М.: Наука. 1985. С. 237 – 244.
14. Девис П. Случайная Вселенная / пер. с англ. М.: Мир. 1985. – 160 с.



1. Гекман О. Эйнштейн и космология // Проблемы физики: классика и современность / пер. с нем. и англ. М.: Мир. 1982. С.155 – 163.
15. Кошман В.С. Алгоритм и результат поиска уравнений космологической эволюции нашей Вселенной // Тенденции развития науки и образования. 2022. № 86 – 8. С. 113 – 119
16. Пиблс П. Физическая космология / пер. с англ. М.:Мир. 1975. – 310 с

