

УНИВЕРСАЛЬНЫЕ ПОСТОЯННЫЕ И ПРОСТОЕ РЕШЕНИЕ УРАВНЕНИЯ ГРАВИТАЦИИ АЛЬБЕРТА ЭЙНШТЕЙНА

Аннотация: Показано, что мировые константы позволяют получить дополнительные сведения и о физических переменных, и о физической картине мира. Приведено решение уравнения гравитации Эйнштейна, отражающее взаимосвязь между массой Вселенной, радиусом ее сферы и космологическим временем.

Ключевые слова: модель Вселенной, гравитация, фотонное излучение, радиоактивность, физические величины, законы физики, планковские единицы.

Ниже рассмотрим особенности и взаимосвязи физических величин, а также выйдем на решение уравнения гравитации А. Эйнштейна.

Физика стремится увидеть пейзаж природы в целом. К числу основных понятий в физике относятся понятия «физический объект» и «физическая величина». Физические объекты – это физические системы, явления, процессы. Разработка Р. Декартом понятий переменной величины и функции позволила «выдвинуть на передний план выявление законов движения и изменения, установление закономерных связей между элементами движущихся объектов» [15]. На таких понятиях физических величин как «расстояние между телами r », «масса тела m », «сила притяжения $F_{пр}$ » и «гравитационная постоянная G_H » здесь не уместно останавливаться подробно, они заложены в основу теории движения небесных тел и увязаны между собой объективно существующей закономерностью

$$F_{пр} = G_H \frac{m_1 m_2}{r_{12}^2}. \quad (1)$$

Здесь G_H – «универсальная постоянная, не зависящая ни от формы, ни от состава вещества, ни от каких – либо иных физических факторов» [2, с. 132].

Сегодня понятие «размерность» физических величин рассматривается не и как средство первичного контроля правильности уравнений, полученных в ходе теоретических выводов, и как инструмент для установления функциональных связей между физическими величинами. В 1931 году в работе «Анализ размерностей» П. Бриджмен [1, с. 58] разделил физические величины на физические переменные и размерные постоянные и дал повод для размышления, когда отметил, что «В реальных случаях мы интересуемся только физической задачей и стремимся найти связь между физическими переменными величинами. Размерные постоянные должны рассматриваться только как неизбежное зло, терпимое постольку, поскольку они способствуют получить нужные сведения о физических переменных».

М. Планк решал проблему теплового излучения в напряженном труде [13], в согласии с опытом установил формулу/закон спектра излучения абсолютно черного тела:

$$\frac{d(\frac{U_\xi}{V})}{dv} = \frac{8\pi h v^3}{c^3} \frac{1}{\exp(\frac{h \cdot v}{k_B \cdot T}) - 1}, \quad (2)$$

выделил группу универсальных постоянных в составе гравитационная постоянная G_H , скорость распространения света c в вакууме, постоянная h и постоянная Больцмана k_B , а также, обобщая физические явления теплового излучения и гравитации, на основе G_H , c , h и k_D (для «любых мест и времен» [8]) к 1906 году Планк предложил естественные (то есть созданные самой природой) единицы измерения длины L_{pl} (ок. 10^{-35} м), массы m_{pl} (ок. 10^{-8} кг), времени t_{pl} (ок. 10^{-43} сек) и температуры T_{pl} (ок. 10^{32} К). В дальнейшем круг единиц Планка был расширен. Для получения каждой из планковских единиц P_{pli} необходимо в уравнении $P_{pli} = (G_H)^\alpha (c)^\beta (h)^\gamma (k_B)^\delta$ подобрать числа $\alpha, \beta, \gamma, \delta$ так, чтобы в его правой части иметь соответствующую размерность.

В наши дни, работая в ранней Вселенной, Б. Цвибах [12, с. 88] рассматривает G_H , c , h как функции от планковских единиц:



$$G_H = \frac{L_{pl}^3}{m_{pl} \cdot t_{pl}^2}; \quad c = \frac{L_{pl}}{t_{pl}} \quad \text{и} \quad h = \frac{m_{pl} \cdot L_{pl}^2}{t_{pl}}. \quad (3)$$

Как видим, если каждая из планковских единиц P_{pli} - суть однозначная комбинация из универсальных постоянных G_H , c , h и k_B , то, в свою очередь, каждая из них есть комбинация из планковских единиц, где $k_B = \frac{U_{pl}}{T_{pl}}$ ($U_{pl} = m_{pl} \cdot c^2$ – энергия Планка). Эта особенность, в частности, позволяет вычленить физический смысл аналитически выраженных объективно существующих закономерностей природы.

С.С. Кутателадзе [6] выделяет работу М.А. Маркова «Предельная плотность материи как универсальный закон природы». В ней Марков определяет область изменчивости безразмерной плотности материи [7]:

$$\frac{\rho}{\rho_{pl}} = \frac{\rho \cdot L_{pl}^3}{m_{pl}} = \frac{\rho \cdot G_H^2 \cdot h}{c^5} \leq 1 \quad (4)$$

и выходит на уравнение гравитации в следующем виде

$$R_{\mu}^{\nu} - \frac{1}{2} R \delta_{\mu}^{\nu} = \frac{8\pi G_H}{c^4} T_{\mu}^{\nu} \left[1 - \left(\frac{\rho}{\rho_{pl}} \right)^{2n} \right] - \Lambda \left(\frac{\rho}{\rho_{pl}} \right)^{2n} \delta_{\mu}^{\nu}, \quad (5)$$

где $n \geq 1/2$, а T_{μ}^{ν} – тензор энергии – импульса. В случае малой плотности материи $\frac{\rho}{\rho_{pl}} \ll 1$ уравнение (5) переходит в уравнение А. Эйнштейна без Λ - члена: $R_{\mu}^{\nu} - \frac{1}{2} R \delta_{\mu}^{\nu} = \frac{8\pi G_H}{c^4} T_{\mu}^{\nu}$. В случае предельно большой плотности материи $\rho = \rho_{pl}$ из (5) следует уравнение де Ситтера $R_{\mu}^{\nu} - \frac{1}{2} R \delta_{\mu}^{\nu} + \Lambda \delta_{\mu}^{\nu} = 0$, которое «описывает процесс исчезновения материи (тензора T_{μ}^{ν}) ...» [там же, с. 215]. Марков полагает, что предлагаемый им «универсальный закон...должен выполняться для всех полей», включая и электромагнитное поле.

Эйнштейн не учитывал разбегание галактик, а основывался на концепции стационарной Вселенной, когда вводил λ в свою модель гравитации. По данным работы [10, с. 160], в статье «Вопросы космологии и общая теория относительности» (1917 г.) по отношению к λ Эйнштейн трижды использовал термин «универсальная постоянная», а в дальнейшем предпочитал термин « λ – член». Это, скорее всего, связано с решением, которое найдено профессором Петроградского университета А.А. Фридманом в 1922 году. Фридман [11] существенно дополнил модель А. Эйнштейна, когда расчетом, минуя космологическую постоянную λ , показал, что Вселенная не стационарна, а также при $\lambda = 0$ и массе мира M в $5 \cdot 10^{21}$ масс Солнц дал первую (из известных) оценку возраста Вселенной порядка 10 миллиардов лет.

Отмечается [7, с. 126]: «Лишь в рамках общей теории относительности возникает константа предельной плотности или длина Планка». Однако с этим, пожалуй, нельзя согласиться. Обратимся к результатам исследования электромагнитного поля Вселенной. Зарегистрировано микроволновое, невидимое для глаза, реликтовое фотонное излучение, для которого установлен его планковский чернотельный спектр. Спектру реликтового излучения отвечает формула Планка (2):

$$\frac{d\left(\frac{U_{\varepsilon}}{V}\right)}{dv} = \frac{U_{\varepsilon pl}}{V_{pl} \cdot v_{pl}} \left(\frac{v}{v_{pl}}\right)^3 \frac{1}{\exp\left(\frac{v \cdot T_{pl}}{v_{pl} \cdot T}\right) - 1}. \quad (6)$$

Как видим, безразмерная планковская объемная плотность массы $\frac{\rho_{\varepsilon}}{\rho_{\varepsilon pl}} = \frac{U_{\varepsilon} \cdot V_{pl} \cdot c^2}{V \cdot U_{\varepsilon pl} \cdot c^2}$ реликтового излучения изменяется в пределах

$$\frac{\rho_{\varepsilon}}{\rho_{\varepsilon pl}} < \frac{\rho_{\varepsilon pl}}{\rho_{\varepsilon pl}} = 1 \quad \text{и} \quad \frac{\rho_{\varepsilon}}{\rho_{\varepsilon pl}} \geq \frac{\rho_{\varepsilon n}}{\rho_{\varepsilon pl}} \approx 10^{-100}. \quad (7)$$

На планковское время t_{pl} электромагнитное поле отсутствует, а далее возникает как естественный продукт термоядерных реакций. Подстрочный индекс “ n ” соотносит физическую переменную ρ_{ε} к настоящему времени t_n . При проведении оценки порядка величины $\frac{\rho_{\varepsilon n}}{\rho_{\varepsilon pl}}$ нами приняты числовые значения планковских энергии $U_{pl} = 10^9$ Дж и объема



$V_{pl} = L_{pl}^3 = (10^{-35})^3 = 10^{-105} \text{ м}^3$, а также результат современного наблюдения для электромагнитного излучения $u_{\varepsilon n} = \frac{U_{\varepsilon n}}{V_n} = 10^{-14} \text{ Дж/м}^3$ [3],

При каждой из температур реликтового излучения T площадь под колоколообразной кривой его спектра на координатной плоскости $\frac{d(\frac{U_{\varepsilon}}{V})}{dv} - \nu$, где ν – частота, по величине равна объемной плотности энергии излучения $u_{\varepsilon} = \frac{U_{\varepsilon}}{V} = \frac{8\pi^5 k_B^4}{15c^3 h^3} T^4$. Здесь $u_{\varepsilon} \propto T^4$. Поделив данное выражение на $u_{\varepsilon pl} \propto T_{pl}^4$, выходим на закон/уравнение Стефана – Больцмана для плотности энергии газа реликтовых фотонов в виде

$$u_{\varepsilon} = \frac{U_{\varepsilon}}{V} = \frac{U_{\varepsilon pl}}{V_{pl}} \left(\frac{T}{T_{pl}} \right)^4, \quad (8)$$

а также для плотности массы данного газа

$$\rho_{\varepsilon} = \frac{M_{\varepsilon}}{V} = \rho_{\varepsilon pl} \left(\frac{T}{T_{pl}} \right)^4. \quad (9)$$

Бинарные отношения (7) из (9) следуют непосредственно.

Безразмерные планковские температура излучения $\frac{T}{T_{pl}}$ и объем $\frac{V}{V_{pl}}$ Вселенной изменяются в пределах:

$$\frac{T_{pl}}{T_{pl}} = 1 > \frac{T}{T_{pl}} \geq \frac{T_n}{T_{pl}} \sim 10^{-32}; \quad (10)$$

$$\frac{V_{pl}}{V_{pl}} = 1 < \frac{V}{V_{pl}} \leq \frac{V_n}{V_{pl}}. \quad (11)$$

Выражения (6), (8) – (11) отвечают современным представлениям о горячей модели Вселенной, согласно которым «температура Вселенной должна падать по мере ее расширения, поскольку длины волн, заполняющих все пространство, должны растягиваться» [14, с. 259].

При энергии единичного фотона $U_{\varepsilon}^{(1)} = k_B \cdot T$ уравнение Стефана - Больцмана (8) позволяет выйти на функциональную зависимость безразмерных планковских температуры реликтового излучения $\frac{T}{T_{pl}}$ и объема $\frac{V}{V_{pl}}$ Вселенной от количества заселяющих объем фотонов $\mathcal{N}_{\varepsilon}$:

$$\frac{V}{V_{pl}} \left(\frac{T}{T_{pl}} \right)^3 = \mathcal{N}_{\varepsilon}. \quad (12)$$

Зависимости величин V , T и $\mathcal{N}_{\varepsilon}$ от времени t показаны на рисунке.

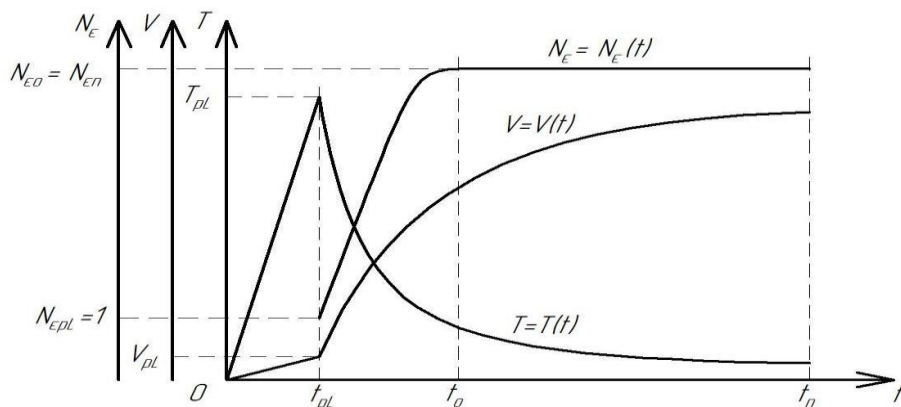


Рисунок – Примерный ход кривых $V = V(t)$, $T = T(t)$ и $\mathcal{N}_{\varepsilon} = \mathcal{N}_{\varepsilon}(t)$

Количество ныне реликтовых фотонов $\mathcal{N}_{\varepsilon}$ изменяется в пределах

$$\mathcal{N}_{\varepsilon pl} = 1 < \mathcal{N}_{\varepsilon} \leq \mathcal{N}_{\varepsilon 0}. \quad (13)$$

Это происходит во времена от t_{pl} до t_0 , когда в родительских телах [5] в условиях ньютоновой гравитации (а также благодаря высвобождению энергии той космической среды, в которую расширяется область, заселяемая массивами элементарных частиц) в термоядерных реакциях производится строительный материал для дальнейшего формирования звезд и звездно – планетных систем. Если взглянуть на математическое выражение закона всемирного тяготения (1):



$$F_{np} = F_{pl} \frac{m_1 m_2}{m_{pl} m_{pl}} \left(\frac{L_{pl}}{r} \right)^2 \quad (14)$$

(F_{pl} - космологически огромная планковская сила, $F_{pl} = m_{pl} \frac{L_{pl}}{t_{pl}^2} = 10^{43}$ ньютонов), то легко представить, что первые элементарные частицы рождаются в глубине времен сразу же вслед за планковским временем t_{pl} . Располагая сгустком информации (14), трудно согласиться с мнением о том, что «ньютоновская гравитация возникает из общей теории относительности в приближении слабых гравитационных полей» [12, с. 88]. Скорее, «существующие законы тяготения (классический Ньютона и релятивистский Эйнштейна) предполагают универсальность этих законов» [10, с. 173].

Сегодня - за исключением T_n и u_{en} - «существует большая неопределенность в значениях основных космологических параметров» [там же, с. 276]. Как показано выше, безразмерные планковские единицы изменяются с течением времени по персональным траекториям до современных величин. Совместное рассмотрение «больших чисел» типа $\frac{T_{pl}}{T_n}, \frac{u_{epl}}{u_n}, \frac{t_n}{t_{pl}}$ (благодаря наличию внутренних глубинных взаимосвязей) позволяет достаточно просто выйти на известные закономерности [4]. К какому решению можно прийти, если формально в один ряд поставить такие законы природы, как формула Планка, закон Стефана – Больцмана, закон смещения Вина, законы гравитации Ньютона и Эйнштейна?

Присутствие в выделенных уравнениях мировых констант G_H, c, h и k_B позволяет (без понижения статуса уравнений) просто перейти в них от размерных к безразмерным физическим переменным, от x к x/x_{pl} . В рассматриваемом случае при $\Lambda = 0$ из уравнения (5), которое отвечает $G_H c$ - теории, должна следовать взаимосвязь

$$\frac{G_H}{c^4} = \frac{t_{pl}^2}{m_{pl} L_{pl}} = \frac{t^2}{M \cdot L}, \quad (15)$$

или

$$\frac{M}{m_{pl}} \frac{L}{L_{pl}} \left(\frac{t_{pl}}{t} \right)^2 = 1. \quad (16)$$

Как известно [9, с. 138; 10, с. 278], теория Эйнштейна дает $\frac{G_H \cdot M}{c^2 \cdot R} = 1$, где R – радиус Вселенной, или $\frac{M}{m_{pl}} \frac{L_{pl}}{R} = 1$. Формула (15) позволяет записать выражение $\frac{1}{R^2} = \frac{3}{4\pi} \frac{G_H}{c^4} \rho \left(\frac{R}{t} \right)^2$; здесь ρ – плотность, $\rho = \frac{M}{V}$. При расширении Вселенной со скоростью света c в вакууме имеем $\frac{R}{t} = c$, что позволяет выйти на известное из теории соотношение между кривизной пространства и распределением скрытой материи во Вселенной [9, с. 138]:

$$\frac{3}{4\pi} \frac{G_H}{c^2} \rho = \frac{1}{R^2}. \quad (17)$$

Алгоритм выхода на (17) не лежит в русле сложившейся в ОТО традиции сложного отыскания решений исходных дифференциальных уравнений.

Во Вселенной присутствуют не только реликтовое излучение и вещество в виде огромного скопления галактик, но и ненаблюдаемые компоненты материи; полемика по этому поводу продолжается.

Список литературы:

1. Бриджмен П. Анализ размерностей / пер. с англ. Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика». 2001. - 148 с.
2. Вавилов С.И. Исаак Ньютон. М.: Наука. 1989. – 271 с.
3. Девис П. Случайная Вселенная / пер. с англ. М.: Мир. 1985. – 160 с.
4. Кошман В.С. Алгоритм и результат поиска уравнений космологической эволюции нашей Вселенной // Тенденции развития науки и образования. 2022. № 86 – 8. С. 113 – 119.
5. Кошман В.С. О генетическом сродстве составляющих Солнечной системы и изменчивости параметров ее родительского тела // Тенденции развития науки и образования. 2024. № 5 (13). С. 193 – 197.



6. Кутателадзе С.С. Анализ подобия и физические модели. Новосибирск: Наука. 1986. – 296 с.
7. Марков М.А. Предельная плотность материи как универсальный закон природы // Письма в ЖЭТФ. 1982. Т. 16. Вып. 6. С. 214 – 216.
8. Планк М. О необратимых процессах излучения // М. Планк. Избранные труды. М.: Наука. 1975. С. 191 – 233.
9. Редже Т. Этюды о Вселенной / пер. с итал. М.: Мир. 1985. – 191 с.
10. Томилин К.А. Фундаментальные физические постоянные в историческом и методическом аспектах. М.: ФИЗМАТЛИТ. 2006. – 368 с.
11. Фридман А.А. О кривизне пространства // А.А. Фридман. Избранные труды. М.: Наука. 1966. С. 229 – 239.
12. Цвибах Б. Начальный курс теории струн / пер. с англ. М.: Едиториал УРСС. 2011. – 784 с.
13. Шёпф Х. – Г. От Кирхгофа до Планка / пер. с нем. М.: Мир. 1981. – 192 с.
14. Эткинз П. Десять великих идей науки. Как устроен наш мир / пер. с англ. М.: АСТ: Астрель. 2008. – 384 с.
15. Методология и система мира Рене Декарта [Электронный ресурс]. URL: <https://studfile.net/preview/9701147/page:3> (дата доступа 11 августа 2024).

