

DOI 10.58351/2949-2041.2024.17.12.011

Кошман Валентин Семенович,

кандидат технических наук, доцент, независимый исследователь, Пермь
Koshman Valentin Semenovitch, candidate of technical sciences,
associate professor, independent researcher, Perm

**О КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКЕ ПЛОТНОСТИ ЭНЕРГИИ
РЕЛИКТОВОГО ГРАВИТАЦИОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ВСЕЛЕННОЙ
ON THE QUANTITATIVE ASSESSMENT OF THE ENERGY DENSITY
OF THE RELIC GRAVITATIONAL RADIATION OF THE UNIVERSE**

Аннотация: В работе приведены аргументы в пользу того, что помимо регистрируемого реликтового излучения и видимого вещества звезд, во Вселенной присутствует и скрытое реликтовое гравитационное излучение.

Abstract: The paper presents arguments in favor of the fact that in addition to the registered relic radiation and visible matter of stars, there is also hidden relic gravitational radiation in the Universe.

Ключевые слова: модель, расширение Вселенной, реликтовое излучение, гравитация, законы физики, планковские единицы.

Key words: model, expansion of the Universe, relic radiation, gravity, laws of physics, Planck units.

Работа относится к области физики космоса и теории эволюции Вселенной, а также к области основ и устройства материального мира. Вселенная и ее изучение имеют историю.

В 1609 году Г. Галилей сконструировал первый телескоп и направил его на небо. С тех пор возможности погружения в глубины космоса неуклонно нарастали. В 1781 году благодаря телескопу на удалении 2,8 млрд км от Солнца была открыта планета Уран. В дальнейшем благодаря и математическим расчетам на удалениях 4,5 млрд км и 5,9 млрд км от Солнца были открыты планеты Нептун и Плутон. В 1965 г. случайно установлен факт присутствия реликтового излучения во Вселенной. В наши дни размер наблюдаемой Вселенной составляет где – то порядка 10^{14} млрд км. В конце 1990-х гг. по результатам наблюдения за экстремально удалёнными небесными телами сделан вывод об **ускоренном расширении Вселенной**. В аналитическом описании этой идеи есть согласие с фактом расширения Вселенной, но нет параллелей и пересечений с такими наблюдательными фактами как космическая распространенность водорода и гелия, реликтовое излучение, его температура и спектр абсолютно черного тела, а также гравитационное взаимодействие на Земле и в Солнечной системе.

Изучению движения Вселенной естествознание обязано «теории гравитации...Эйнштейна» [9, с. 19]. В работе «Основные идеи и проблемы теории относительности» А. Эйнштейн отмечает, что «особенно живо волнует умы проблема единой природы гравитационного и электромагнитного полей» [16, с. 127]. Энергия гравитационных полей массивных тел применяется в технике. Однако вклад гравитационной составляющей в рецепте «энергетической смеси» современной Вселенной не учитывается. Возможно ли выйти на те или иные свидетельства в пользу присутствия во Вселенной реликтового гравитационного излучения?

В космологии речь идет и о моделях, которые позволяют не только заглянуть «в большой космос, но и посмотреть на те миллиарды лет, что прошли до появления людей с их телескопами» [12, с. 154]. Еще Р. Декарт рассматривал движение материи в пространстве и во времени как наиболее фундаментальное физическое явление в природе. Однако о том, что называть материей, не могут пока договориться между собой даже эксперты [10, с. 121]. Условимся в первом приближении под материей (и Вселенной) понимать поток смеси материальных частиц, компоненты которой наделены единством происхождения, связями, свойствами (масса, спин, энергия), характеристиками.



Перед физиками, исследующими то или иное физическое явление, стоят две задачи. С одной стороны, необходимо понять причину и механизм явления, а с другой – установить законы, описывающие это явление математически. И. Ньютон установил закон гравитации и, поскольку формулы и уравнения не могли объяснить механизм тяготения, сформулировал позицию: «Довольно того, что тяготение на самом деле существует и действует согласно изложенным нами законам и вполне достаточно для объяснения движений всех небесных тел» [13, с. 21]. Заметим, что в литературе обсуждаются частицы гравитационного поля – гравитоны, «которые пока не открыты и наверняка не будут открыты в обозримом будущем», но «теория гравитонов позволяет понять все известные свойства гравитационного взаимодействия» [10, с. 140]. Такой способ познания – прежде ответить на вопрос «как?», а затем на вопрос «почему?» – довольно часто встречается в науке [там же].

Ниже приведем аргументы в пользу наличия скрытого гравитационного излучения Вселенной.

Для закона всемирного тяготения $F_{\text{пр}} = G \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2} = F_{pl} \left(\frac{L_{pl}}{r} \right)^2 \frac{m_1 \cdot m_2}{m_{pl}^2}$, формулы Планка $\frac{d(\frac{U_\varepsilon}{V})}{dv} = \frac{8\pi h v^3}{c^3} \frac{1}{\exp(\frac{h \cdot v}{k_B \cdot T}) - 1} = \frac{U_{pl}}{V_{pl} \cdot v_{pl}} \left(\frac{v}{v_{pl}} \right)^3 \frac{1}{\exp(\frac{v \cdot T_{pl}}{v_{pl} \cdot T}) - 1}$ и закона Стефана – Больцмана для объемной

плотности энергии регистрируемого реликтового излучения $u_\varepsilon = \frac{U_\varepsilon}{V} = \frac{U_\varepsilon^{(1)} \cdot \mathcal{N}_\varepsilon}{V} = \frac{\pi^2 k_B^4}{15 c^3 h^3} T^4 = \frac{U_{pl}}{V_{pl}} \left(\frac{T}{T_{pl}} \right)^4$ характерно богатство космологической информации. Установленные в согласие с опытом законы физики позволяют мысленно погрузиться в глубинное прошлое Вселенной, удаленное от нас, как полагают, на 13,7 млрд. лет и заметить следующее:

- гравитационная постоянная G возникает на планковское время $t_{pl} \approx 10^{-44}$ с как комбинация из планковских длины L_{pl} , массы m_{pl} и времени t_{pl} : $G = \frac{L_{pl}^3}{m_{pl} \cdot t_{pl}^2}$ [15, с. 88], а в дальнейшем сохраняется [6]:

$$G = \frac{L_{pl}^3}{m_{pl} \cdot t_{pl}^2} = \frac{F_{pl} L_{pl}^2}{m_{pl}^2} = \frac{F_{\text{пр}} \cdot r_{12}^2}{m_1 \cdot m_2} \quad (1)$$

вне зависимости от числовых значений силы притяжения $F_{\text{пр}}$, масс m_1 и m_2 материальных частиц/тел, а также расстояния между ними r_{12} ;

- из сомножителя $\frac{m_1 \cdot m_2}{m_{pl}^2}$ в записи закона всемирного тяготения следует, что первые материальные частицы во Вселенной возникают сразу же за распадом планковского сгустка материи массой m_{pl} ;

- космологически огромная масса $M_{\Sigma n}$ Вселенной многократно превышает планковскую массу $m_{pl} \approx 10^{-8}$ кг, что объяснимо высвобождением энергии той космической среды, в просторы которой расширяется Вселенная;

- реликтовые фотоны возникают сразу же вслед за планковским мгновением времени, тогда же при температуре чуть ниже планковской $T_{pl} \approx 10^{32}$ К средства измерения фиксируют и кривую спектра излучения;

- с ростом объема V Вселенной от его планковской величины $V_{pl} \approx 10^{-105}$ м³ температура T газа реликтовых фотонов понижается;

- возникнув на планковское время t_{pl} , комбинация из постоянной Больцмана k_B , постоянной Планка $\hbar$ и скорости распространения света в вакууме c сохраняется [6] и на сегодняшний день

$$\frac{k_B^4}{c^3 h^3} = \frac{U_{pl}}{V_{pl} \cdot T_{pl}^4} = \frac{U_\varepsilon}{V \cdot T^4} \quad (2)$$

При энергии одного фотона $U_\varepsilon^{(1)} = k_B T$ [2, с. 81] из (2) следует взаимосвязь $\mathcal{N}_\varepsilon V_{pl} T_{pl}^3 = VT^3$, где $\mathcal{N}_\varepsilon$ – количество ныне реликтовых фотонов. Соотношение между одновременным изменением трех величин $\mathcal{N}_\varepsilon$, V , T следующее: $\frac{d\mathcal{N}_\varepsilon}{\mathcal{N}_\varepsilon} = \frac{dV}{V} + \frac{dT^3}{T^3}$. Прирост количества фотонов



развернут по времени t , а фотоны от планковского масштаба движутся со скоростью распространения света в вакууме c . В однородном массиве радиус Вселенной R , время t в пути и скорость движения фотонов c связаны соотношением

$$\frac{R}{t} = c \cong 3 \cdot 10^8 \text{ м/с.} \quad (3)$$

К формуле $N_\varepsilon V_{pl} T_{pl}^3 = VT^3$ можно прийти и в согласие с закономерностью для объемной концентрации фотонов $n_\varepsilon = \frac{N_\varepsilon}{V} = \frac{2,404}{\pi^2} \left(\frac{k_B}{\hbar \cdot c} \right)^3 T^3$ [7, с. 313].

П. Девис [4, с.102] отмечает, что «теория Ньютона и общая теория относительности приводят к одному и тому же дифференциальному уравнению»: $\frac{\dot{a}^2}{a^2 \cdot c^2} + \frac{k}{a^2} = \frac{8\pi G \rho}{3c^4}$. Девис полагает, что числовое значение величины « k настолько мало, что в уравнении...можно пренебречь членом, содержащим k . В предположении, что $\rho = \sigma \cdot T^4$ (уравнение Стефана – Больцмана)», выходит на результат

$$k_B \cdot T = \left(\frac{45 \cdot \hbar^3 \cdot c^5}{32 \cdot \pi^3 \cdot G \cdot f} \right)^{1/4} \frac{1}{t^{1/2}}. \quad (4)$$

Здесь f – весовой множитель, «принимая во внимание, что может существовать несколько видов излучения» [там же, с.113].

Как известно [3, 4 и др.], в уравнения гравитации Эйнштейна входит ключевая комбинация мировых констант $\frac{8\pi G}{c^4}$. По аналогии с решениями (1) и (2) выходим [6] на уравнение связи между массой гравитационной составляющей M_g Вселенной, радиусом R ее сферы и космологическим временем t : $\frac{G}{c^4} = \frac{t_{pl}^2}{m_{pl} \cdot L_{pl}} = \frac{t^2}{M \cdot R}$ и $\frac{M}{m_{pl}} = \frac{L_{pl}}{R} \left(\frac{t}{t_{pl}} \right)^2$, на формулу $R = \frac{c^4 \cdot t^2}{G \cdot M}$, а также и на зависимость объемной плотности энергии u от времени t :

$$\frac{u}{c^2} = \frac{U}{V \cdot c^2} = \frac{M}{V} = \rho = \frac{1}{G \cdot t^2}. \quad (5)$$

Иными словами, «мы получаем сферическую Вселенную радиусом $R = c \left(\frac{3}{8\pi G \rho} \right)^{1/2}$ » [1, с. 447], в которой между кривизной ее пространства и распределением материи существует соотношение вида $\frac{1}{R^2} = \frac{G}{c^2} \rho$ [11, с. 138].

Пусть Вселенная представляет собой однородную и изотропную смесь газов с весьма незначительной примесью вещества [4, с. 113]. Принимаем обозначения: H – параметр Хаббла; a – масштабный фактор; точка над H и a означает производную по времени; u – энергия; p – давление. Для однородной Вселенной уравнения Фридмана без Λ - члена: $2\dot{H} + H^2 = \frac{8\pi G}{c^2} (u + p)$ и $\dot{a} = H \cdot a$ дополняются уравнением состояния $p = \frac{u}{3}$ [3, 8]. Для условия (4) $\dot{H} = 0$ и $H = \frac{1}{t}$. При $(u + p) = \frac{4u}{3}$ получаем формулу

$$\frac{u}{c^2} = \frac{3}{32\pi} \frac{1}{G \cdot t^2}, \quad (6)$$

которая известна [8, с. 488] из теории поля Эйнштейна для модели Вселенной заполненной излучением. Со временем растет и радиус R , и объем $V = \frac{4\pi R^3}{3}$ сферы Вселенной, а объемная плотность энергии газа $u = \frac{U}{V}$ уменьшается, причем обратно пропорционально квадрату времени, которое отсчитывается от начала расширения, то есть от $t = 0$ секунд. Формула (6) с точностью до безразмерного множителя совпадает с (5).

На формулу (4) можно выйти и следующим путем. В (7) переменная u есть объемная плотность энергии доминирующего во Вселенной скрытое гравитационного излучения; u можно определить в долях от плотности энергии газа реликтовых фотонов u_ε . Принимаем $u = f \cdot u_\varepsilon$, получаем $\frac{3}{32\pi} \frac{1}{G \cdot t^2} = f \frac{\pi^2 k_B^4}{15c^3 \hbar^3} T^4$ и выходим на соотношение (4), а далее на взаимосвязь [5]:

$$\frac{T}{T_{pl}} = \frac{1}{f^{\frac{1}{4}}} \left(\frac{t_{pl}}{t} \right)^{1/2}. \quad (7)$$

Уравнения (5) и (6) приводит к $u \rightarrow \infty$ при $t \rightarrow 0$. С физической точки зрения стремление переменных величин к бесконечности не имеет смысла; в таких случаях обычно говорят о том,



что требуется более адекватное описание. Однако рассматриваемое описание однозначно остается в силе, поскольку формулы (5) и (6) можно записать следующим образом

$$\frac{u}{u_{pl}} = \left(\frac{t_{pl}}{t}\right)^2, \quad (8)$$

где u_{pl} – планковская плотность энергии. Формула (8) показывает, что гравитационное излучение возникает сразу же вслед за планковским временем t_{pl} . Как и фотонное, гравитационное излучение – это реликтовое излучение. Для выхода на (8) достаточно $u \propto t^{-2}$ поделить на $u_{pl} \propto t_{pl}^{-2}$. Запись формул (5) и (6) в безразмерных планковских единицах, позволяет оценить $\frac{u_n}{u_{pl}}$, если известно $\frac{t_n}{t_{pl}}$, и $\frac{t_n}{t_{pl}}$, если известна $\frac{u_n}{u_{pl}}$. Решим три задачи.

Задача 1. При известных планковских единицах длины L_{pl} , массы m_{pl} и времени t_{pl} найти числовое значение гравитационной постоянной G .

Решение. В согласии с формулой (1) имеем искомую величину $G = \frac{L_{pl}^3}{m_{pl} t_{pl}^2} = \frac{(1,616 \cdot 10^{-35})^3}{2,176 \cdot 10^{-8} (5,391 \cdot 10^{-44})^2} = 6,673 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3 \text{ кг}^{-1} \text{ с}^{-2}$. Здесь точность результата зависит и от точности величин G , c и $\hbar$, заложенных в основу L_{pl} , m_{pl} и t_{pl} .

Задача 2. Оценить объемную плотность энергии реликтового гравитационного излучения Вселенной. Возраст Вселенной t_n , плотность энергии реликтового излучения u_{en} , его температуру T_n , планковские время t_{pl} и температуру T_{pl} принять соответственно равными $t_n = 10^{18} \text{ с}$ [5], $u_{en} = 2,44 \cdot 10^{-14} \text{ Дж/м}^3$, $T_n = 2,73 \text{ К}$, $t_{pl} = 5,39 \cdot 10^{-44} \text{ с}$, $T_{pl} = 1,41 \cdot 10^{32} \text{ К}$.

Решение. Из (7) имеем формулу $\frac{u}{u_e} = \left(\frac{T_{pl}}{T}\right)^4 \left(\frac{t_{pl}}{t}\right)^2$, которая позволяет найти величину отношения плотностей: $\frac{u_n}{u_{en}} = \left(\frac{1,41 \cdot 10^{32}}{2,73}\right)^4 \left(\frac{5,39 \cdot 10^{-44}}{10^{18}}\right)^2 = 2,06 \cdot 10^4$, а далее и величину $u_n = \frac{u_n}{u_{en}} u_{en} = 2,06 \cdot 10^4 \cdot 2,44 \cdot 10^{-14} = 5,02 \cdot 10^{-10} \text{ Дж/м}^3$.

Задача 3. Определить возраст Вселенной t_n , если вычисления показали величину плотности энергии реликтового гравитационного излучения $u_n = 5,02 \cdot 10^{-10} \text{ Дж/м}^3$. Планковскую плотность массы ρ_{pl} принять равной $\rho_{pl} = 5,15 \cdot 10^{96} \text{ кг/м}^3$ [9].

Решение. Вычисляем планковскую объемную плотность энергии $u_{pl} = \rho_{pl} \cdot c^2 = 5,15 \cdot 10^{96} (3 \cdot 10^8)^2 = 4,63 \cdot 10^{113} \text{ Дж/м}^3$. Для возраста Вселенной t_n выражение (8) дает формулу $t_n = \left(\frac{u_{pl}}{u_n}\right)^{1/2} t_{pl}$, следуя которой $t_n = \left(\frac{4,63 \cdot 10^{113}}{5,02 \cdot 10^{-10}}\right)^{1/2} 5,39 \cdot 10^{-44} = 1,63 \cdot 10^{18} \text{ с}$ [5].

А.А. Фридмана интересовали и «Теория излучения» Планка, и динамика атмосферы, и теория интегрирования дифференциальных уравнений. Для Пермского классического университета Фридман – первый профессор механики, а в естествознании – основоположник теории не стационарной Вселенной. Фридман показал, что уравнения Эйнштейна не допускают статичности Вселенной. Нужно было либо изменять взгляды, либо изменять уравнения. Эйнштейн выбрал второй путь [17]. Фридман (1923 г.): «Мир, схематическая картина которого создается принципом относительности, есть мир естествоиспытателя, есть совокупность лишь только таких объектов, которые могут быть измерены или оценены числами» [14, с.245]. С. Вайнберг (1977 г.): «Каждый физик рад, что он может получать числовые результаты, что он способен сказать, что в такой – то и такой – то момент времени температура, плотность и химический состав Вселенной имели такие – то и такие – то значения. Откровенно говоря, мы не абсолютно уверены во всем этом...» [2, с. 8]. В дальнейшем точность количественной оценки искомых характеристик Вселенной будет возрастать.

Основные выводы. Начало Вселенной было горячим. Формула Планка, закон всемирного тяготения (1), уравнение Стефана – Больцмана (2) и уравнение для плотности энергии реликтового гравитационного излучения (8) в равной мере представлены в безразмерных планковских единицах. Возрастает информативность физических законов, а их космологический смысл смыкается с идеей единства природы от ее истока. Вопрос механизма появления элементарных частиц остается открытым.



Список литературы:

1. Акоста В., Кован К., Грэм Б. Основы современной физики / пер. с англ. М.: Просвещение. 1981. - 495 с.
2. Вайнберг С. Первые три минуты: Современный взгляд на происхождение Вселенной / пер. с англ. М.: Энергоиздат. 1981. - 208 с.
3. Горбунов Д.С., Рубаков В.А. Введение в теорию ранней Вселенной. Теория горячего Большого взрыва. М.: Изд – во ЛКИ. 2002. - 552 с.
4. Девис П. Случайная Вселенная / пер. с англ. М.: Мир. 1985. - 160 с.
5. Кошман В.С. Алгоритм и результат поиска уравнений эволюции нашей Вселенной // Тенденции развития науки и образования. 2022. № 86. Ч. 8. С. 113 - 119.
6. Кошман В.С. Космологическая изменчивость пейзажа природы и уравнение связи массы Вселенной с ее объемом и временем // Тенденции развития науки и образования. 2024. № 113. Ч.4. С. 128 - 131.
7. Краснопевцев Е.А. Спецглавы физики. Статистическая физика равновесных систем: учебное пособие. Новосибирск: Из - во НГТУ. 2017. - 387 с.
8. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика. Т. 2. Теория поля. М.: ФИЗМАТЛИТ. 2003. 536 с.
9. Мизнер Ч., Тёрн К., Уиллер Дж. Гравитация. Т.1 / пер. с англ. М.: Мир. 1977. - 476 с.
10. Окунь Л.Б. Основные понятия и законы физики и свойства элементарных частиц // Л.Б. Окунь. О движении материи. М.: ФИЗМАТЛИТ. 2012. С. 120 - 155.
11. Редже Т. Этюды о Вселенной / пер. с итал. М.: Мир. 1985. - 191 с.
12. Смут Дж. Сигналы от начала времен // Вселенная. Емкие ответы на непостоянные вопросы / С. Хокинг и др. М.: АСТ. 2022. С. 135 – 156.
13. Спиридонов О.П. Универсальные физические постоянные. М.: Просвещение. 1984. – 160 с.
14. Фридман А.А. Мир как пространство и время // А.А. Фридман. Избранные труды. М.: Наука. 1966. С. 244 – 322.
15. Цвибах Б. Начальный курс теории струн / пер. с англ. М.: Едиториал УРСС. 2011. - 784 с.
16. Эйнштейн А. Основные идеи и проблемы теории относительности // А. Эйнштейн. Собрание научных трудов. Т. 2. М.: Наука. 1966. С. 121 – 129.
17. Яковлев В.И. К нам приехал А.А. Фридман // Вестник Пермского университета. 2013. Вып. 2 (21). С. 121 – 129.

