

DOI 10.58351/2949-2041.2024.17.12.018

Кошман Валентин Семенович

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

РЕЛИКТОВОЕ ФОТОННОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ И ОЦЕНКА ВОЗРАСТА СФЕРИЧЕСКОЙ ВСЕЛЕННОЙ RELIC PHOTON RADIATION AND AGE ESTIMATE OF THE SPHERICAL UNIVERSE

Аннотация: Показано, что безразмерная планковская энергия реликтового излучения равна третьей степени безразмерного времени расширения Вселенной помноженной на четвертую степень безразмерной температуры излучения.

Abstract: It is shown that the dimensionless Planck energy of the relic radiation is equal to the third power of the dimensionless expansion time of the Universe multiplied by the fourth power of the dimensionless radiation temperature.

Ключевые слова: модель Вселенной, космологическое расширение, реликтовое излучение, закон Стефана – Больцмана, планковские единицы.

Keywords: model of the Universe, cosmological expansion, relic radiation, Stefan-Boltzmann law, Planck units.

Поиск уравнений связи между характеристиками Вселенной относится к числу актуальных задач современного естествознания. Ниже приведем краткую историческую справку и аргументы в пользу модели сферической Вселенной, получим уравнения связи между безразмерными планковскими величинами, выполним оценки возраста Вселенной t_n и количества реликтовых фотонов \mathcal{N}_{en} . Как известно, планковские единицы есть размерные комбинации из таких мировых констант как гравитационная постоянная G , скорость света c , постоянная Планка \hbar и постоянная Больцмана k_B .

Историческая справка. На рубеже XIX – XX вв. М. Планк в согласии с результатами лабораторного опыта теоретически устанавливает формулу для колоколообразной кривой спектра излучения абсолютно черного тела: $\frac{du_\varepsilon}{dv} dv = \frac{d(\frac{U_\varepsilon}{V})}{dv} dv = \frac{8\pi h\nu^3 dv}{c^3} \frac{1}{e^{h\nu/k_B T} - 1}$ (здесь U_ε и T – соответственно энергия и температура теплового излучения, V – занимаемый им объем, ν – частота). Интегрируя формулу Планка, вычисляется площадь под кривой спектра на координатной плоскости $\frac{du_\varepsilon}{dv} - \nu$, то есть реализуется выход на установленный также в эксперименте закон/уравнение Стефана – Больцмана: $u_\varepsilon = \frac{U_\varepsilon}{V} = \frac{8\pi^5}{15} \frac{k_B^4}{c^3 h^3} T^4$. В 1922 г. А.А. Фридман, исследуя мировые дифференциальные уравнения А. Эйнштейна, показывает, что не стационарность Вселенной относится к числу ее самобытных свойств, причем в космологическом прошлом было мгновение $t = 0$ секунд, на которое мир был сосредоточен в математической точке. По свидетельству академика В.А. Фока [6, с. 356], «Фридман не раз говорил, что его дело указать на возможные решения уравнений Эйнштейна, а там пусть физики делают с этими решениями что они хотят».

К середине XX в. Г.А. Гамов дополняет геометрию и динамику Фридмана идеями ядерной физики и термодинамики. По Гамову, в начале был термоядерный взрыв, который заполнил «пространство Вселенной горячим веществом, из которого через миллиарды лет образовались все наблюдаемые тела Вселенной – Солнце, звезды, галактики, планеты, в том числе Земля и все что на ней... Удивительно, но факт: сам Гамов считал, что идея горячего начала мира принадлежит не ему, а его учителю Фридману» [7, с. 871]. Гамов предсказал реликтовое излучение, его температуру и планковский спектр. В конце XX в. прецизионными измерениями с борта искусственного спутника Земли окончательно установлено, что реликтовое излучение представляет собой абсолютно черное тело, которое создано самой природой.



Аргументы в пользу шарообразности Вселенной. На наш взгляд, при реконструкции космологического прошлого Вселенной особый интерес представляет закономерность Стефана – Больцмана для объемной плотности энергии теплового излучения $u_\varepsilon = \frac{U_\varepsilon}{V} = \frac{8\pi^5}{15} \frac{k_B^4}{c^3 \cdot h^3} T^4$ или

$$u_\varepsilon = \frac{U_\varepsilon}{V} = U_\varepsilon^{(1)} \cdot n_\varepsilon = \frac{U_{\varepsilon PL}}{V_{PL}} \left(\frac{T}{T_{PL}} \right)^4 \quad (1)$$

($U_\varepsilon^{(1)}$ – энергия одного фотона; n_ε – количество фотонов на единицу объема, $n_\varepsilon = \frac{\mathcal{N}_\varepsilon}{V}$) [5].

О чем говорит нам закон природы (1)? Его теоретическая интерпретация позволяет отметить следующее:

- массив реликтовых фотонов возникает у истока расширения Вселенной сразу же вслед за планковским временем $t_{pl} \approx 10^{-44}$ с;

- каждая из таких характеристик Вселенной, как ее объем V , температура T реликтового излучение и его энергия U_ε , изменяются в своих естественных пределах:

$$V_{pl} \approx L_{pl}^3 \approx 10^{-105} \text{ м}^3 < V \leq V_n; \quad (2)$$

$$T_{pl} \approx 10^{32} \text{ К} > T \geq T_n = 2,725 \text{ К}; \quad (3)$$

$$U_{pl} \approx 10^9 \text{ Дж} < U_\varepsilon \leq U_{\varepsilon n}, \quad (4)$$

или, иными словами, возникнув (причем не одноактно), «В ходе космологического расширения излучение охлаждается, но не исчезает, а в результате сохраняется в мире вплоть до нашей эпохи» [8, с. 892].

В однородной Вселенной во все времена реликтовые фотоны движутся со скоростью распространения света в вакууме c , и в согласии с законом Стефана – Больцмана (1) естественно принять уравнение связи

$$R = c \cdot t \quad (5)$$

(здесь R – радиус сферы Вселенной, t – космологическое время, $c \cong 3 \cdot 10^8$ м/с). С этой же скоростью c в пространстве движутся и Земли, и Солнечная система, и наша галактика (со времен их становления), поскольку в ином случае изучать реликтовое излучение, пожалуй, невозможно.

По данным современных астрономических наблюдений [2, с. 76], для объемной плотности энергии реликтового излучения $u_{\varepsilon n}$ и барионного вещества звезд u_{bn} выполняется неравенство

$$u_{\varepsilon n} = \frac{M_{\varepsilon n} \cdot c^2}{V_n} \approx 10^{-14} \text{ Дж/м}^3 < u_{bn} = \frac{M_{bn} \cdot c^2}{V_n} \approx 10^{-11} \text{ Дж/м}^3. \quad (6)$$

Вывод рабочих формул. В уравнении Стефана – Больцмана (1) выделяем сомножитель $\frac{U_{\varepsilon PL}}{V_{PL}}$, который дает $\frac{U_{\varepsilon PL}}{V_{PL}} = \frac{U_{\varepsilon PL}}{\frac{4\pi}{3} t_{pl}^3} = \frac{U_{\varepsilon PL}}{\frac{4\pi}{3} c^3 \cdot t_{pl}^3}$, а с учетом формулы (5) и $\frac{U_{\varepsilon PL}}{V_{PL}} = \frac{U_{pl}}{\frac{4\pi}{3} \left(\frac{R}{t}\right)^3 t_{pl}^3}$.

Вселенной $V = \frac{4\pi}{3} R^3$. При исключении R^3 из уравнения (1) получаем

- искомое уравнение связи между переменными величинами $\frac{M_\varepsilon}{m_{pl}} = \frac{U_\varepsilon}{U_{pl}} \cdot \frac{t}{t_{pl}}$ и $\frac{T}{T_{pl}}$:

$$\frac{M_\varepsilon}{m_{pl}} = \frac{U_\varepsilon}{U_{pl}} = \left(\frac{t}{t_{pl}} \right)^3 \left(\frac{T}{T_{pl}} \right)^4, \quad (7)$$

- формулу для космологического времени

$$t = t_{pl} \left(\frac{M_\varepsilon}{m_{pl}} \right)^{1/3} \left(\frac{T_{pl}}{T} \right)^{4/3}, \quad (8)$$

- формулу для количества реликтовых фотонов

$$\mathcal{N}_\varepsilon = \frac{U_{pl}}{U_\varepsilon^{(1)}} \left(\frac{t}{t_{pl}} \right)^3 \left(\frac{T}{T_{pl}} \right)^4. \quad (9)$$

Как видно из формул (7) - (9), нарастающий от планковского конечный объем Вселенной, и особенно в начале пути, со временем заселяется фотонами.



Решим две задачи.

Задача 1. Найти возраст Вселенной (то есть время, прошедшее с начала расширения) t_n . Массу видимого вещества звезд принять равной $M_{bn} = 10^{52}$ кг [3, с. 148].

Решение. В согласии с данными наблюдательной астрономии (6) находим величину $\frac{M_{\varepsilon n}}{M_{bn}} \approx 10^{-3}$, а далее и массу газа реликтовых фотонов $M_{\varepsilon n} = \frac{M_{\varepsilon n}}{M_{bn}} M_{bn} \approx 10^{-3} 10^{52} \approx 10^{49}$ кг. Поскольку $M_{\varepsilon n}$ известна только с точностью до порядка величины, точное вычисление t_n по формуле (8) не представляется возможным. Расчет дает величину $t_n \approx 10^{-44} \left(\frac{10^{49}}{10^{-8}}\right)^{1/3} \left(\frac{10^{32}}{1}\right)^{4/3} \approx 4,6 \cdot 10^{17} \text{ с} \approx 14,5$ млрд лет. Эта цифра имеет иллюстративное значение.

Задача 2. Определить количество реликтовых фотонов $\mathcal{N}_{\varepsilon n}$. Возраст Вселенной t_n принять равным 13,7 млрд лет [9] при температуре реликтового излучения $T_n = 2,73$ К. Энергию одного фотона $U_{\varepsilon}^{(1)}$ вычислить по формуле Вайнберга $U_{\varepsilon}^{(1)} = k_B \cdot T$ [1, с. 81].

Решение. В формуле (9) $U_{\varepsilon}^{(1)} = k_B \cdot T$, а $U_{pl} = k_B \cdot T_{pl}$. При заданных числовых значениях величин количество реликтовых фотонов $\mathcal{N}_{\varepsilon n} \approx \left(\frac{t_n}{t_{pl}} \frac{T_n}{T_{pl}}\right)^3 = \left(\frac{13,7 \cdot 10^9 \cdot 3,16 \cdot 10^7 \cdot 2,73}{5,39 \cdot 10^{-44} \cdot 1,41 \cdot 10^{32}}\right)^3 \approx 3,76 \cdot 10^{87}$. Принимая для Вселенной (как для газовой смеси) $\frac{\mathcal{N}_{\varepsilon}}{\mathcal{N}_b} = Z_{\varepsilon b} = \left(\frac{m_{bpl}}{m_b^{(1)}}\right)^{1/2}$ [4], а для реликтовых барионов (протонов, нейтронов) «космологическое число» Эддингтона \mathcal{N}_{bn} , расчетное количество реликтовых фотонов $\mathcal{N}_{\varepsilon n}$ оказывается равным $\mathcal{N}_{\varepsilon n} = Z_{\varepsilon bn} \cdot \mathcal{N}_{bn} = \left(\frac{m_{bpl}}{m_{bn}^{(1)}}\right)^{1/2} \left(\frac{c \cdot \hbar}{G \cdot (m_{bn}^{(1)})^2}\right)^2 \approx 10^9 \cdot 10^{78} \approx 10^{87}$ [5].

Основные выводы. Начало космологического расширения Вселенной было горячим; верховье ее космологического расширения экспериментально недоступно. Для понимания общей картины хода космологических событий и физические законы излучения абсолютно черного тела представляют интерес. Уяснение сущности физических процессов рождения элементарных частиц – одна из важных задач современного естествознания.

Список литературы:

1. Вайнберг С. Первые три минуты: Современный взгляд на происхождение Вселенной / пер. с англ. М.: Энергоиздат. 1981. – 208 с.
2. Девис П. Случайная Вселенная / пер. с англ. М.: Мир. 1985. – 160 с.
3. Долгов А.Д., Зельдович Я.Б., Сажин М.В. Космология ранней Вселенной. М.: Издательство Моск. ун – та. 1988. – 199 с.
4. Кошман В. С. О роли естественных единиц измерения Макса Планка в познании Вселенной // Многомерная гравитация и космология: тезисы докладов международной школы – семинара, 20-26 июня 1994 г., г. Ярославль. М.: Нефтяник, 1994. С. 22.
5. Кошмар В.С. Физические законы излучения как ключ к выявлению космологических тайн Вселенной // Sciences of Europe. 2020. № 59 – 1. P. 52 – 56.
6. Фок В.А. Работы А.А. Фридмана по теории тяготения Эйнштейна // Успехи физических наук. 1963. Т. 80. № 3. С. 353 – 356.
7. Чернин А.Д. Гамов в Америке: 1934 – 1968 // Успехи физических наук. 1994. Т. 164. № 8. С. 867 – 878.
8. Чернин А.Д. Как Гамов вычислил температуру реликтового излучения, или немного об искусстве теоретической физики // УФН. 1994. Т. 164. №8. С. 889 – 896.
9. Возраст Вселенной [Электронный ресурс]. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Возраст_Вселенной (дата доступа 19.12.2024).

