РАЗДЕЛ VI. ФИЗИКА

Кошман В.С.

О реликтовом излучении, энергетической модели Вселенной и элементарном кванте действия

ФГБОУ ВО «Пермский государственный аграрно-технологический университет
имени академика Д.Н. Прянишникова»
(Россия, Пермь)

doi: 10.18411/lj-06-2021-79

Аннотация

В работе рассмотрены особенности энергетической модели Вселенной с учетом завершения предыдущего цикла сжатия, а также спектра реликтового излучения как абсолютно черного тела. В развитие идеи элементарного кванта действия сформулирована задача изучения траектории движения массива квантов в эпоху Планка. Отмечена малость возмущения в плотности материи эпохи Планка, что после эпохи ядерных реакций обеспечивает наблюдаемую высокую степень изотропии и однородности реликтового излучения во Вселенной.

Ключевые слова: реликтовое излучение, модель Вселенной, физические законы излучения, планковские величины, эпоха Планка, ядерные реакции, элементарный квант действия.

Abstract

The paper considers the features of the energy model of the Universe, taking into account the completion of the previous compression cycle, as well as the spectrum of the relic radiation as a completely black body. In the development of the idea of an elementary quantum of action, the problem of studying the trajectory of an array of quanta in the Planck epoch is formulated. A small perturbation in the Planck-era matter density is noted, which, after the epoch of nuclear reactions, provides the observed high degree of isotropy and uniformity of the relic radiation in the Universe.

Keywords: relict radiation, model of the universe, physical laws of radiation, Planck quantities, Planck epoch, nuclear reactions, elementary quantum of action.

*«До полётов космических кораблей к другим звёздным системам нам ничего не остаётся, как экстраполировать законы, получившие «местное подтверждение»
Уильям Корлисс*

О Вселенной писали многие и по-разному. В целях познавательных, строго научных, популярно – художественных. Зачатки представлений об окружающем Землю космосе содержатся уже в трудах античных авторов. В XVII в. роль науки в познании природы была точно сформулирована И. Ньютоном: «Натурфилософия заключается в открытии каркаса природы и происходящих в ней движений и сведении их, насколько это возможно, к общим правилам и законам, в установлении этих законов с помощью наблюдений и экспериментов и выведении из этого причин и следствий явлений...» (цит. по данным работы [1]). Идея движения Вселенной зародилась сто лет назад, когда А.А. Фридман (1922 г.) реализовал возможность выхода на нестационарные решения мировых уравнений поля А. Эйнштейна. Из уравнений ОТО следует, что около десяти тысяч миллионов лет тому назад мир был сосредоточен в точке, а его плотность была невообразимо большой. В конце 1920 – х гг. Ж. Леметр в отношении начального

состояния Вселенной высказал идею «первоначального весьма радиоактивного атома», который мгновенно распался на части. В 1930 – х гг. А. Милн и М. Мак – Кри показали, что необходимость для Вселенной расширяться или сжиматься следует уже из законов Ньютона. В дальнейшем к середине прошедшего века Г.А. Гамов с сотрудниками в развитие идей ядерной физики и термодинамики предложили модель горячей Вселенной. Аналитические решения природных задач способствовали формированию мнения: в прошлом мир был не только достаточно плотным, но и горячим.

К настоящему времени достоверно установлено, что Вселенная действительно расширяется и что она заполнена фотонами фонового излучения. Также установлен тот факт, что главный вклад в плотность энергии и концентрацию заполняющих космос фотонов вносит микроволновое фоновое излучение. Данное излучение названо реликтовым излучением, оно считается сильным аргументом в пользу нестационарной модели Вселенной и обладает совершенно особыми свойствами:

- его спектр представляет собой спектр излучения абсолютно черного тела;
- ему характерна высокая степень пространственной однородности и изотропия. Это исключает необходимость выбора особых мест для проведения астрономических измерений и ожидает своего объяснения.

Распределение фотонов по энергиям в спектре реликтового излучения удовлетворяет уравнению планковской кривой [2, 3]:

$$\frac{du_\varepsilon}{d\nu} = \frac{8\pi h\nu^3}{c^3} \frac{1}{e^{h\nu/k_B T} - 1}, \quad (1)$$

где $\frac{du_\varepsilon}{d\nu}$ – спектральная плотность фотонного излучения (объемная плотность энергии из расчета на компоненту излучения с частотой ν), T – абсолютная температура излучения (в наши дни равная $T_n = 2,725 \pm 0,002$ K), а также три мировые константы; c – скорость распространения света в вакууме, h – постоянная Планка и k – постоянная Больцмана. Для реликтового излучения величина $u_{\varepsilon n}$ значительно больше объемной плотности энергии оптических, рентгеновских и γ – фотонов и сопоставима с плотностью энергии космических лучей.

Естественно возникает вопрос: как далеко назад во времени можно экстраполировать закон Планка (1)? Есть мнение [4]: экстраполяция в космологическое прошлое допустима «до момента пока работоспособны современные законы физики, но точно определить этот момент наступления «новой физики» не представляется возможным. Предполагается, что по величине он равен планковскому времени $\sim 10^{-43}$ с». Очевидна необходимость поиска искомых решений.

Как известно, планковские величины основаны на выборе и универсальных констант природы c , h и k_B , и гравитационной постоянной G . Малая по числовому значению константа G играет большую роль в описании Вселенной. В классической теории тяготения Ньютона и в общей теории относительности (совместно со скоростью света в вакууме c) постоянная гравитации G способствует формированию представлений по изменчивости реальной картины мира с позиций механики, геометрии и динамики. Постоянная гравитации G совместно с константами c , h и k_B информативно проявляет себя и при описании движения Вселенной с энергетических позиций [5 и др.]. Этому способствует прецизионно высокая точность измерений параметров реликтового излучения.

Космология изучает самобытное природное явление, а задача состоит в том, чтобы плод человеческого воображения возможно более полно отвечал астрономическим фактам, которые воспринимаются как данность. Однако в XXI в. построение космологических моделей, к сожалению, не сопровождается адекватным приростом новых достоверных опытных данных, что нельзя признать удовлетворительным. В аналогичных ситуациях отсутствие адекватного развития техники эксперимента приводит к «повисанию» новых теорий реальности в

«эмпирическом вакууме» [6]. Необходимо изыскание и привлечение надежных резервов. Считаем, что на пути поиска конкретных решений сложных многофакторных задач допустимо и отсутствие сложной математики. Однако научный поиск следует вести вне заметного удаления от надежно подтвержденных на практике законов физики. Полагаем вполне возможным изучение движения Вселенной и при следующих допущениях:

1. Начало движения нашей Вселенной отвечает мгновению завершения предыдущего цикла сжатия.
2. Понятия время, пространство, температура, внутренняя энергия сохраняют свою смысловую нагрузку на всех этапах движения Вселенной.
3. Планковские величины времени t_{pl} , объема V_{pl} , температуры T_{pl} , энергии U_{pl} , частоты ν_{pl} действительно характеризуют одно из состояний космологического движения Вселенной.

В 1981 г. А. Гут впервые выяснил, чем может быть привлекательна идея инфляции (от лат. *inflate* – раздувать), и тем самым побудил интерес к ней [7]. Это способствовало формированию сценария, согласно которому из - за инфляции планковская лаборатория экспоненциально уходит далеко за горизонт, и лишь только после этого наступает период ядерных реакций. Эпоха ядерных реакции прекращается при температуре T_0 порядка 10^{10} К [8] или 10^9 К [9]. Сложилось мнение, что вне радиоактивного распада фотоны могут с легкостью возникать и исчезать в реакциях. «Остаточное (реликтовое) излучение принято объяснять наличием фотонов, отделившихся от известной нам материи при образовании атомов на первых стадиях существования нашей Вселенной» [10]. Вопрос о появлении первых из ныне реликтовых фотонов в расширяющейся с охлаждением Вселенной в литературе не обсуждается. Ниже выскажем предположение в данной связи.

Примечательно, что прежде чем приступить к изучению историю развития Вселенной, С. Вайнберг [7] выходит на основное уравнение термодинамики равновесных процессов, получающееся из первого и второго начал термодинамики, а далее, в частности, и на закон (уравнение) Стефана – Больцмана для объемной плотности энергии фотонного излучения

$$u_\varepsilon = a_B T^4, \quad (2)$$

отмечая, что константа a_B не может быть определена на основе только термодинамического анализа. Следуя формуле Планка (1), постоянная энергии излучения a_B в (2) определяется через скорость света в вакууме c , постоянную Планка h и постоянную Больцмана k_B как $a_B = \frac{8\pi^5 k_B^4}{15h^3 c^3}$ [7]. Запись вида $u_\varepsilon = a_B T^4 = \frac{8\pi^5 k_B^4}{15h^3 c^3} T^4$ отличается тем недостатком, что в ней не отражена верхняя по температуре граница применимости физического закона. Однако, если взглянуть глубже, данный недостаток устраним.

Закон физики (2) особо притягателен тем, что он отвечает именно планковскому характеру спектра микроволнового фона. Для модели горячей Вселенной привлекательны планковские величины

— «фотонной» доли энергии

$$U_{\varepsilon pl} = b_\varepsilon U_{pl} = b_\varepsilon \left(\frac{h \cdot c^5}{G} \right)^{1/2} = 10^9 \text{ Дж}, \quad (3)$$

— объема

$$V_{pl} = b_V L_{pl}^3 = b_V \left(\frac{h \cdot G}{c^3} \right)^{3/2} = 10^{-105} \text{ м}^3, \quad (4)$$

— температуры

$$T_{pl} = \frac{1}{k_B} \left(\frac{h \cdot c^5}{G} \right)^{1/2} = 10^{32} \text{ К} \quad (5)$$

(U_ε – планковская энергия; L_{pl} – планковская длина; b_ε и b_V – числовые множители). Обращаем внимание на физический смысл (2): $u_\varepsilon = \frac{U_\varepsilon}{V} \propto T^4$, а также на наличие предпосылки $u_{\varepsilon pl} = \frac{U_{\varepsilon pl}}{V_{pl}} \propto T_{pl}^4$. Делим первое из выражений на второе и (пожалуй, наиболее простым из известных путем) выходим на достаточно информативную запись уравнения Стефана – Больцмана

$$u_\varepsilon = \frac{U_\varepsilon}{V} = \frac{U_{\varepsilon pl}}{V_{pl}} \left(\frac{T}{T_{pl}} \right)^4. \quad (6)$$

Здесь для постоянной энергии фотонного излучения a_B справедлива связь $a_B = \frac{U_{\varepsilon pl}}{V_{pl} T_{pl}^4} = \alpha_1 \frac{k_B^4}{h^3 c^3}$, которая однозначно свидетельствует в пользу горячего начала весьма плотной Вселенной.

Формула (6) приводит к формулировке космологического смысла уравнения Стефана – Больцмана: безразмерная планковская объемная плотность энергии фотонного излучения $\frac{u_\varepsilon}{u_{\varepsilon pl}}$ равна четвертой степени безразмерной планковской температуры. Согласно (6), можно прийти к выводу: моментом появления газа фотонов во Вселенной является мгновение завершения эпохи Планка.

И что характерно, если следовать (6), а также взаимосвязям $u_\varepsilon = U_\varepsilon^{(1)} n_\varepsilon$, $U_{\varepsilon pl} = k_B T_{pl}$ и простому мнемоническому правилу в отношении средней энергии единичного фотона: $U_\varepsilon^{(1)} = k_B T$ [11], то для объемной концентрации фотонов справедлива формула

$$n_\varepsilon = \frac{N_\varepsilon}{V} = \frac{1}{V_{pl}} \left(\frac{T}{T_{pl}} \right)^3. \quad (7)$$

Заметим, что на уравнение (7) без учета гравитационной постоянной G в его записи вида $n_\varepsilon = 0,244 \left(\frac{k_B}{c \cdot h} \right)^3 T^3$ (с опорой на статистику Бозе – Эйнштейна) можно выйти и методом статистической физики [12. 13].

Из выражения (7) имеем формулу

$$\frac{V}{V_{pl}} = \frac{N_\varepsilon}{\left(\frac{T}{T_{pl}} \right)^3}, \quad (8)$$

из которой видно, что по завершению эпохи Планка объем V Вселенной возрастает пропорционально числу фотонов N_ε и обратно пропорционально третьей степени температуры. Также из (8) следует, что при устойчивом росте объема Вселенной темп нарастания числа фотонов существенно превышает темп снижения температуры. Причиной роста числа фотонов – в согласии с моделью горячей Вселенной – полагаем проявление радиоактивности при наличии первичных нестабильных материальных частиц. В (8) находит отражение мысль о том, что вначале объем области ядерных реакций весьма близок планковскому объему, а затем при расширении Вселенной ядерные реакции по мере развития охватывают все больший и больший объем.

При фиксированной величине числа фотонов (*при* $N_\varepsilon = const$) из (7) и (8) реализуем выход на уравнение адиабаты газа фотонов: $VT^3 = const$. Тем самым, мы разделяем мнение о том, что по завершению эпохи ядерных реакций во Вселенной наступает эпоха её адиабатного расширения. По свидетельству автора [14], закономерность вида $VT^3 = const$ учтена Гамовым при теоретическом предсказании величины температуры остаточного фотонного излучения T_n .

На адиабатном режиме движения Вселенной масса каждой из составляющих материи Вселенной неизменна. Из газовой динамики известно адиабатическое

соотношение связи между плотностью газа и его температурой [15]: $\frac{\rho}{\rho_0} = \left(\frac{T}{T_0}\right)^{\frac{1}{k-1}}$. При величине показателя адиабаты газа фотонов $k = \frac{4}{3}$ [14] имеем уравнение

$$\frac{\rho_\varepsilon}{\rho_{\varepsilon 0}} = \left(\frac{T}{T_0}\right)^3, \quad (9)$$

согласно которому можно найти одну из входящих в него переменных величин. Экстраполируя в прошлое, для газа фотонов при числовых значениях современной объемной плотности газа фотонов $\rho_{\varepsilon n} \sim 10^{-31}$ кг/м³ и $T_n \sim 1$ К для температуры окончания ядерной эпохи $T_0 \sim 10^{10}$ К имеем величину плотности $\rho_{\varepsilon 0} = \frac{M_{\varepsilon 0}}{V_0} \sim 0,1$ кг/м³. Заметим, что на нашей планете Земля числовое значение $\rho = 0,1$ кг/м³ соответствует плотности атмосферного воздуха на высоте 20 км.

Если нарастание массы M Вселенной происходит в эпоху ядерных реакций, то для этого, как минимум, необходима и заселенность Вселенной в эпоху Планка, и активное участие космического вакуума в производстве материальных частиц. Выполнимость данных условий можно проиллюстрировать и с выходом на простую расчетную формулу, поскольку на сегодня сложилось мнение [16]: «вакуум при определенных условиях может рождать реальные частицы и это происходит без нарушения законов сохранения». Пусть энергия фотонной составляющей U_ε Вселенной нарастает по мере роста количества фотонов N_ε : $U_\varepsilon = k_B T N_\varepsilon$. Это позволяет записать следующую дифференциальную связь между энергией фотонов U_ε , температурой T и количеством фотонов N_ε в непосредственной близости от планковского состояния Вселенной $\frac{dU_\varepsilon}{U_{\varepsilon pl}} = \frac{dT}{T_{pl}} + \frac{dN_\varepsilon}{N_{\varepsilon pl}}$. Интегрируя данное уравнение согласно изменчивости параметров в период ядерных реакций, для фотонной доли планковских квантов имеем результат [17]: $N_{\varepsilon pl} = \frac{U_{\varepsilon pl}}{k_B T_0} = \frac{10^9}{1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 10^{10}} = 10^{22}$. Столь большое количество планковских квантов, в частности, свидетельствует в пользу малой средней массы каждого из них: $m_{ipl} = \frac{m_{pl}}{N_{\varepsilon pl}} = \frac{10^{-8}}{10^{22}} = 10^{-30}$ кг, а также о малом разбросе масс первичных квантов.

Модель горячей Вселенной можно дополнить, в частности, сопряженными с закономерностью (6) следствиями:

- уравнением взаимосвязи между объемными плотностями энергии барионного u_b и фотонного u_ε газов [5]: $\frac{u_b}{u_\varepsilon} = \frac{\beta^3 \cdot T_{pl}}{T}$;
- барион – фотонным соотношением [5]: $\beta = \frac{n_b}{n_\varepsilon} = \frac{N_b}{N_\varepsilon} = \left(\frac{m_b}{m_{bpl}}\right)^{1/2}$, согласно которому изменчивость функции β обусловлена снижением массы бариона m_b в эпоху ядерных реакций (по отношению к планковской массе m_{bpl}), или словами П. Дэвиса [18, с. 122]: «Появление 10^9 фотонов на каждый протон на ранних стадиях расширения Вселенной – это часть большой тайны образования самих протонов»;
- законом падения температуры во Вселенной [18, 19]: $\frac{T}{T_{pl}} = \frac{1}{f^{1/4}} \left(\frac{t_{pl}}{t}\right)^{1/2}$, где вид функции, которая изменяется в пределах от $f_{pl} = 1$ до $f_n \approx 5 \cdot 10^3$, еще только предстоит установить;
- уравнением объемной плотности энергии скрытой компоненты материи Вселенной [19]: $u_x = f \cdot u_\varepsilon = \frac{U_{xpl}}{V_{pl}} \left(\frac{t_{pl}}{t}\right)^2$.

Характерному для эпохи ядерных реакций хаосу, скорее всего, должно предшествовать упорядоченное течение. На наш взгляд, в эпоху Планка траекторию движения Вселенной надлежит установить методом атомной физики. В пользу этого свидетельствует возможность выхода [20] на элементарный квант действия $\hbar$ как через интеграл Планка [3], так и в согласии с формулой Планка (1).

Формулу Планка (1), отражающую наличие связи между переменными $\frac{du_\varepsilon}{dv}$, v и T , можно записать с учетом планковских величин энергии $U_{\varepsilon pl}$, объема V_{pl} и частоты ν_{pl} как

$$\frac{du_\varepsilon}{dv} = \frac{U_{\varepsilon PL}}{V_{PL} \cdot \nu_{PL}} \left(\frac{\nu}{\nu_{PL}} \right)^3 \frac{1}{e^{h \cdot \nu / k_B \cdot T} - 1}. \quad (10)$$

Присущие окружающей нас природе закономерности излучения абсолютно черного тела при их космологическом обобщении – см. (6) и (10) – позволяют сформулировать следующие суждения:

- спектр излучения абсолютно черного тела возникает на планковском масштабе времени;
- уже первых из возникших фотонов вполне достаточно для формирования планковского спектра излучения;
- наполнение Вселенной всё новыми фотонами не искажает форму спектра фотонного излучения;
- колоколообразная кривая спектра чернотельного фотонного излучения, как и предполагается [4], характерна для Вселенной на всем протяжении ее расширения с охлаждением.

Вместе с тем, для элементарного кванта действия $\hbar$ [3, с. 287] природная закономерность в ее архитектурах (1) и (10) при $b_\varepsilon = 1$ позволяет выйти на аналитическое выражение

$$\hbar = \frac{U_{\varepsilon pl}}{\nu_{pl}} = \frac{\left(\frac{h \cdot c^5}{G} \right)^{1/2}}{\left(\frac{c^5}{h \cdot G} \right)^{1/2}} = 6.625 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}, \quad (11)$$

что вряд ли обусловлено проявлением случайности.

Следуя сформулированным выше допущениям, обозначим в движении рождающейся Вселенной те моменты, которые считаем важными. При завершении предыдущего цикла сжатия, на нулевой момент времени $t = 0$ Вселенная находится в весьма сжатом состоянии, практически все кванты материи неподвижны, начальная температура $T_{\text{нач}}$ материи, сосредоточенной в весьма малом объеме ($V_{\text{нач}} \approx 0$), близка к абсолютному нулю: $T_{\text{нач}} \approx 0$.

Далее мир приходит в движение. Вселенная расширяется в окружающий её космический вакуум, в ней (вследствие природной обусловленности, самопроизвольно) происходит глубинный внутренний физический процесс. Это позволяет взглянуть на происходящее с позиции термодинамики. Напряжение можно свести к давлению (числовое значение начального давления $p_{\text{нач}}$ не известно). Давлению p и приращению объема dV отвечает выражение для элементарной работы внутренних сил давления $p \cdot dV$. Оно позволяет записать неравенство $p \cdot dV > 0$, которое широко используется при исследовании природных процессов на Земле.

В эпоху Планка каждому состоянию расширяющейся системы можно поставить в соответствие определенный момент времени, который характеризует временной интервал, отделяющий это состояние от начала расширения. Поскольку объем непрерывно возрастает, то можно принять единое направление космологической стрелы времени. Начальное расширение мира сопровождается его саморазогревом; температура возрастает от $T_{\text{нач}} \approx 0$ до космологически огромной величины, равной планковской температуре $T_{pl} = 10^{32}$ К. На момент окончания эпохи Планка при $t_{pl} =$

$\left(\frac{h \cdot G}{c^5}\right)^{1/2} = 10^{-43} \text{ с}$ внутренняя энергия U_{pl} мира связана с его температурой T_{pl} соотношением $U_{pl} = k_B T_{pl}$, а давление p_{pl} отвечает связи $p_{pl} = \frac{U_{pl}}{V_{pl}}$. И следовательно, есть смысл выделить время t , давление p и объем V в отдельную группу параметров, характеризующих движение Вселенной. Логично также предпринять попытку аналитически увязать космологическое время в его однонаправленности с фактом расширения Вселенной.

Обратимся к интегралу Планка [3]: $\iint dq dp = h$, который связывает элементарный квант действия (постоянную Планка h) с физической величиной q как обобщенной координатой изучаемой физической системы, а также с величиной p , где p – «соответствующий этой координате импульс (момент)». При пространственном движении за обобщенную координату q принимаем объем V зарождающейся Вселенной, которому соответствует импульс давления $p = pt$. В приложении к эпохе Планка, с одной стороны, имеем $\int dq = \int dV = V_{\text{кон}} - V_{\text{нач}} = V_{pl} - 0 = V_{pl}$, а с другой, $\int dp = \int d(pt) = (pt)_{\text{кон}} - (pt)_{\text{нач}} = \frac{U_{pl}}{V_{pl}} t_{pl} - p_{\text{нач}} \cdot 0 = \frac{U_{pl}}{V_{pl}} t_{pl}$. Тогда для интеграла

Планка можно записать $\iint dq dp = V_{pl} \cdot \frac{U_{pl}}{V_{pl}} t_{pl} = \left(\frac{h \cdot c^5}{G}\right)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{h \cdot G}{c^5}\right)^{\frac{1}{2}} = h = 6.625 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$.

Мы вновь имеем решение (11), но уже на основании предположения, сформулированного М. Планком. Под действием понимается функционал, который ставит в соответствие траектории движения системы некоторое число; действие считается минимальным лишь только на истинной траектории [21]. Как показано выше, применительно к мгновению окончания эпохи Планка есть возможность продублировать выход на наименьшее из возможных в природе действие (11), что ожидаемо в модели горячей Вселенной. В связи с рождением Вселенной упоминание о процессе ядерного альфа – распада встречается в работе А.Д. Долгова, Я.Б. Зельдовича и М.В. Сажина [22].

При $t = 0$ число способов, которыми может осуществляться состояние рассматриваемой природной многочастичной системы, близко к единице: $W_{\text{нач}} \approx 1$. На момент завершения эпохи Планка, скорее всего, $W_{pl} = e = 2,718$. Кинетика ядерных реакций неразрывно связана с числом Эйлера [23]; в эпоху ядерных реакций не исключена возможность экспоненциального (или близкого ему) роста и числа фотонов, и объема Вселенной. Космологическая интерпретация формул Планка и термодинамики эпохи Планка позволяет обратить внимание на вопрос изучения влияния траектории планковских квантов на ход событий в расширяющейся Вселенной. Возмущения в плотности материи эпохи Планка настолько малы, что после эпохи ядерных реакций обеспечивают аппаратно наблюдаемую высокую степень изотропии и однородности Вселенной.

Возможно, что изложенный выше материал труден для выпускников школ, но он должен быть понятен для студентов вузов, изучивших курс термодинамики. Контуры обозначенной выше схемы отличаются от тех, что характерны для осваиваемой в вузах теории Большого взрыва. Для теории гравитации характерно известное многообразие решений. Законы физики, установленные в земных лабораториях, позволяют выделить лишь только один вариант, что характерно для изучаемой физической системы. Необходимо проведение её дальнейших исследований. Эпиграф принят согласно работе [1, с. 4].

1. Корлисс У. Загадки Вселенной (М.: Мир. 1970 – фрагменты книги) [Электронный ресурс]. URL: <https://refdb.ru/look/1773308.htm> (дата обращения 21 мая 2021).

2. Реликтовое излучение [Электронный ресурс]. URL: nuclphys. Simp.msu.ru/photon/04.pdf (дата обращения 20 мая 2021).
 3. Планк М. Законы теплового излучения и гипотеза элементарного кванта действия // М. Планк. Избранные труды. М.: Наука. 1975. С. 282 – 310.
 4. Космологические модели [Электронный ресурс]. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Космологические_модели (дата обращения 24 мая 2021).
 5. Кошман В.С. Космологическое расширение Вселенной как самое грандиозное газодинамическое течение в природе // American Scientific Journal. 2019. No. 31. Vol. 1. pp. 41 – 45.
 6. Коняев С.Н. Проблема сложности и перспективы развития фундаментальной науки [Электронный ресурс]. URL: <https://iphras.ru/uplfile/root/biblio/ps/ps18/9.pdf> (дата обращения 22 мая 2021).
 7. Вайнберг С. Космология / пер. с англ. М.: ЛИБРИКОМ. 2013. 608 с.
 8. Зельдович Я.Б. «Горячая» модель Вселенной // Избранные труды. Частицы. Ядра. Вселенная. М.: Наука. 1985. С. 237 – 244.
 9. Пенроуз Р. Путь к реальности, или законы, управляющие Вселенной. Полный путеводитель / пер. с англ. М. – Ижевск: Институт компьютерных исследований, НИИ «Регулярная и хаотическая динамика». 2007. – 184 с.
 10. Циммерманис Л. – Х. Вселенная во Вселенной. М.: Изд – во ЛКИ. 2008. – 80 с.
 11. Вайнберг С. Первые три минуты: Современный взгляд на происхождение Вселенной / пер. с англ. М.: Энергоиздат. 1981. – 208 с.
 12. Клапдор – Клайнротхаус Г.В., Цюбер К. Астрофизика элементарных частиц / пер. с нем. М.: Изд – во УФН. 2000. – 496 с.
 13. Краснопевцев Е.А. Спецглавы физики. Статистическая физика равновесных систем: учебное пособие. Новосибирск: Изд – во НГТУ. 2014. – 387 с.
 14. 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.
 15. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа: учебник для вузов. М.: Наука. 1987. – 840 с.
 16. Комаров В.Н., Пановкин Б.Н. Занимательная астрофизика. М.: Наука. 1984. – 192 с.
 17. Кошман В.С. О зоне ближайшего к сингулярности развития нашей Вселенной // Sciences of Europe. 2020. No. 51. Vol. 1. pp. 29 -31.
 18. Девис С. Случайная Вселенная / пер. с англ. М.: Мир. 1985. – 160 с.
 19. Кошман В.С. Вариант обобщенного аналитического описания эволюции Вселенной и оценка ее возраста // Sciences of Europe. 2020. No. 53. Vol. 1. pp. 11 - 16.
 20. Кошман В.С. Обоснование необходимости переосмысления феномена «эпоха Планка» // The scientific heritage. 2021. No. 64. Vol. 1. pp. 11 -14.
 21. На пути к теории всего. Что такое действие и почему физики все время о нем говорят [Электронный ресурс]. URL: <https://npplus1.ru/material /2018/02/02/just-looking-for-some-action> (дата обращения 21 мая 2021).
 22. Долгов А.Д., Зельдович Я.Б., Сажин М.В. Космология ранней Вселенной. М.: Изд – во Моск. ун – та. 1988. – 199 с.
 23. Мировые константы “пи” и “е” в основных законах физики и физиологии. Б. Горобец [Электронный ресурс]. URL: <https://www.nki.ru/archive/articles/4774/> (дата обращения 25 мая 2021).
-