

Естественные науки

УДК 530.12:531.51

РЕЛЯТИВИСТСКАЯ ТЕРМОДИНАМИКА РАННЕЙ ВСЕЛЕННОЙ

В.В. Ласуков

Томский политехнический университет
E-mail: lav_@list.ru

Получено уравнение состояния гравитационных атомов, которые могут быть той средой, которая породила содержимое нашей Вселенной, либо мини-вселенные. Найден гравитационный аналог первого закона термодинамики.

Введение

Подавляющее большинство ученых считает, что Вселенная является симметричной во времени, и на фундаментальном уровне описания природы стрела времени не существует. Считается, что стрела времени имеет субъективный характер, т.к. является следствием приближений, вносимых наблюдателем при описании природы. Необратимость – это видимость, которая исчезла бы, если бы мы располагали бы всей полнотой знания [1–3]. Однако в соответствии со вторым началом термодинамики часто реальные системы не обладают симметрией по отношению к обращению времени, что противоречит обратимости основных уравнений классической и квантовой теории.

Известно, что второй закон термодинамики является количественным определением необратимости. Второе начало термодинамики основано на неравенстве $d_i S \geq 0$, где $d_i S$ – описывает энтропию, производимую внутри системы, изменение энтропии $dS = d_e S + d_i S$, $d_e S$ – описывает перенос энтропии через границы. Считается, что необратимость процессов связана с однонаправленным временем ($t > 0$). Необратимые процессы, связанные с возрастанием энтропии, диктуют необходимость использования вероятностной формулировки динамики, т.к. индивидуальное описание на основе ньютоновской механики и статистическое описание не всегда эквивалентны. Существует мнение, что теорию необратимых процессов можно сформулировать на основе обратимых механических законов. Основным уравнением такого подхода является уравнение Лиувилля, описывающее эволюцию плотности вероятностей системы в фазовом пространстве [3–5].

В этой связи на основе релятивистской термодинамики исследуется необратимость процесса рождения нашей Вселенной.

Релятивистская термодинамика Вселенной без сингулярности

В первой части работы построим термодинамику ранее разработанной модели Вселенной без сингулярности [6]. В отличие от Мира де Ситтера, Мир без сингулярности [6], описываемый решением

$$a = a_0 \operatorname{ch}^{1/3}(vt), v = 4\omega, \omega = \sqrt{\frac{3\pi G U_0}{2}}, \quad (1)$$
$$\varphi = \varphi_0, U(\varphi) = U_0 > 0,$$

допускает представление уравнения состояния в параметрическом виде

$$P = P(n), \quad \varepsilon_a = \varepsilon(n),$$

где n – концентрация частиц, $G = M_p^{-2}$ – гравитационная постоянная, $M_p \approx 10^{-5}$ г – масса Планка, ω – постоянная, характеризующая скорость временной эволюции масштабного фактора $a(t)$, a_0 – константа интегрирования уравнения гравитационного поля, φ_0 – постоянное решение уравнения скалярного поля. В работе [6] показано, что решение (1) удовлетворяет дифференциальному закону сохранения плотности энергии вещества и гравитационного поля в **реальной** псевдоевклидовой метрике

$$\frac{\partial}{\partial t} [a^6 (\varepsilon_\varphi - \varepsilon_a)] = 0. \quad (2)$$

Одновременно это решение удовлетворяет дифференциальному закону сохранения плотности энергии вещества в **эффективном** римановом пространстве

$$\varepsilon'_\varphi a^3 + 3a^2 a' (\varepsilon_\varphi + P_\varphi) = 0, \quad (3)$$

здесь $\varepsilon_\varphi = \frac{1}{2} \varphi'^2 + U(\varphi)$, $P_\varphi = \frac{1}{2} \varphi'^2 - U(\varphi)$, $\varepsilon_a = \frac{3}{8\pi G} \left(\frac{a'}{a}\right)^2$.

Для решения (1)

$$\varepsilon_\varphi = U_0, \quad P_\varphi = -U_0, \quad \varepsilon_a = U_0 \cdot \operatorname{th}^2(vt).$$

Учитывая (3), (2) для гравитационной составляющей ε_a можно представить в форме первого закона термодинамики

$$dE_a = -\tilde{P} dV, \quad (4)$$

где $E_a = V\varepsilon_a$, $\tilde{P} = \varepsilon_a - 2U(\varphi)$, $V = \frac{4\pi}{3} a^3$.

Для скалярного поля

$$dE_\varphi = -P_\varphi dV, \quad (5)$$

здесь $E_\varphi = \varepsilon_\varphi V$.

Вычитая из (4) уравнение (5) и учитывая (1), получим релятивистский первый закон термодинамики

$$dE = -PdV, \quad (6)$$

где $\varepsilon = U_0 - \varepsilon_a = \frac{U_0}{\text{ch}^2(vt)}$, $E = \varepsilon V = \frac{4\pi U_0 a_0^3}{3 \text{ch}(vt)}$, $P = \varepsilon$.

Закон (6) описывает изменение собственной энергии E каждого элемента среды за счет работы PdV , совершаемой этим элементом над окружающей средой, так что между элементами среды в рассматриваемой модели не происходит теплообмена $dQ = dE + PdV = 0$ что является очевидным следствием однородности Вселенной.

Представим объем V в виде $V = \frac{N_0}{n}$, где $n(t)$ – концентрация и N_0 – число частиц. Тогда (6) примет вид

$$\frac{N_0}{n} d\varepsilon + \varepsilon d\left(\frac{N_0}{n}\right) = -\varepsilon d\left(\frac{N_0}{n}\right)$$

или

$$\frac{d\varepsilon}{\varepsilon} = -2n d\left(\frac{1}{n}\right) = 2 \frac{dn}{n},$$

решение которого с учетом соотношения

$\varepsilon = U_0 - \varepsilon_a = \frac{U_0}{\text{ch}^2(vt)}$ равно

$$n = \frac{n_0}{\text{ch}(vt)}, \quad (7)$$

n_0 – константа интегрирования. При этом, для решения (1), общее число частиц является постоянной величиной

$$N = Vn_a \equiv N_0, N_0 = \frac{4\pi n_0 a_0^3}{3}.$$

Исследуем устойчивость решения (1). Для этого введем обозначения

$$x = a(t), y = a'.$$

Тогда описывающее Вселенную без сингулярности дифференциальное уравнение второго порядка [6]

$$aa'' + 2(a')^2 = 8\pi GU_0 a^2$$

сводится к системе двух дифференциальных уравнений первого порядка

$$x' = y,$$

$$y' = 8\pi GU_0 x - 2 \frac{y^2}{x}.$$

Точка (0,0) на фазовой плоскости (ХОУ) является особой. Решение системы уравнений равно

$$x = a_0 \text{ch}^{1/3}(4\omega t), y = \frac{4a_0\omega}{3} \text{sh}(4\omega t) \text{ch}^{-2/3}(4\omega t).$$

Так как при $t \rightarrow \infty$ $|x| \rightarrow \infty$, $|y| \rightarrow \infty$, то решение (1) неустойчиво по Ляпунову. Исключая параметр t , получим характеризующее особую точку семейство гипербол на фазовой плоскости

$$\left(\frac{y}{y_0}\right)^2 - \frac{\left(\frac{x}{a_0}\right)^6 - 1}{\left(\frac{x}{a_0}\right)^4} = 0,$$

где $y_0 = \frac{4a_0\omega}{3}$.

В локальной классической термодинамике энтропия однородной среды определяется формулой Гиббса

$$dS = \frac{dE + pdV}{T} + \sum_{i=1}^N \frac{\partial S}{\partial n_i} dn_i,$$

где S – собственная энтропия любого малого элемента изучаемой среды, измеряемая локальным наблюдателем, E – собственная энергия элемента среды, V – его собственный объем, n_i – концентрации различных компонент. При этом предположение о локальном равновесии, выражаемое локальной формулой Гиббса, не противоречит тому факту, что система в целом не равновесна [7].

Из закона сохранения энергии (6) следует, что

$$dS = \frac{\partial S}{\partial n_a} dn_a, \quad (8)$$

так что из всех причин увеличения энтропии двухкомпонентной среды остается возможной единственной – изменение состава среды.

Из формулы Гиббса можно получить термодинамическое соотношение Кельвина

$$\left(\frac{\partial E}{\partial V}\right)_{T,n} = T \left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_{V,n} - P.$$

Так как $E = V\varepsilon$ и $P = \varepsilon$, то соотношение Кельвина можно представить в виде

$$\frac{d\varepsilon}{\varepsilon} = 2 \frac{dT}{T}.$$

Откуда находим $\varepsilon = C_0 T^2$, так что с учетом

$\varepsilon = U_0 - \varepsilon_a = \frac{U_0}{\text{ch}^2(vt)}$ закон эволюции температуры

имеет вид

$$T = \frac{T(0)}{\text{ch}(vt)}, \quad (9)$$

здесь $T(0)$ – константа интегрирования. Так как

$$P = \varepsilon = \frac{U_0}{\text{ch}^2(\nu t)} \text{ и } V = \frac{4\pi a_0^3}{3} \text{ch}(\nu t), \text{ то из (9) следует}$$

гравитационный аналог уравнения Менделеева-Клапейрона

$$\frac{PV}{T} = k_b N_0, \quad (10)$$

описывающего двухкомпонентную среду, составленную из гравитационного ε_a и скалярного ε_ϕ полей.

Здесь константа $N_0 = \frac{4\pi a_0^3 U_0}{3 k_b T(0)}$, k_b – постоянная Больцмана.

Если положить $n_0 = \frac{U_0}{k_b T(0)}$, то константу N_0

можно интерпретировать как число частиц гравитационной составляющей, в роли которых могут выступать образованные эффективной частицей Планка с массой M_p и скалярным полем U_0 гравитационные атомы, способные порождать обычное вещество по механизму спонтанного излучения. Эффект спонтанного излучения гравитационного атома решает поставленную Эйнштейном задачу определения инертной массы через кривизну пространства-времени [8] и реализует план количественного понимания спектра вещества, сформулированный Гейзенбергом [9]. Одновременно это позволяет реанимировать принцип Маха в форме: нет имитирующего космологическую постоянную скалярного поля ($U_0=0$) – нет инертной массы. Массивные кванты спонтанного излучения гравитационного атома можно интерпретировать и как мини-вселенные. Так как с учетом эффекта "уширения спектральной линии" [10] процесс рождения обычного вещества, или мини-вселенных по механизму спонтанного излучения является необратимым процессом, то он способен порождать значение энтропии от единицы и до ее современного значения.

Релятивистский второй закон термодинамики можно представить в форме [11]

$$\frac{\partial}{\partial x^\mu} \left[s \frac{dx^\mu}{d\sigma} \sqrt{-g} \right] \delta x_1 \delta x_2 \delta x_3 \delta x_0 \geq \frac{\delta Q_0}{T_0},$$

где s – собственная макроскопическая плотность энтропии, измеренная в данной точке в данный момент времени локальным наблюдателем; $\frac{dx^\mu}{d\sigma}$ – компоненты четырехмерного вектора макроскопической скорости среды в некоторой точке и в некоторый момент времени; g – детерминант, образованный из компонент метрического тензора $g_{\mu\nu}$, измеренных макроскопически; $\delta x_1 \delta x_2 \delta x_3 \delta x_0$ – макроскопически бесконечно малый элемент четырехмерного объема; δQ_0 – теплота, измеряемая относительно изучаемой среды локальным наблюдателем в данной точке в определенный момент времени, которая втекает в элемент среды, занимающий собственный объем δV_0 , за интервал собственного времени δt_0 ; T_0 – абсолютная температура на грани-

це элемента среды, измеренная с помощью обычных способов локальным наблюдателем, покоящимся в данный момент в выбранной точке.

Пространственные и временные интервалы при этом определены так, что

$$\delta V_0 \delta t_0 = \sqrt{-g} \delta x_1 \delta x_2 \delta x_3 \delta x_0.$$

В метрике Логунова релятивистский второй закон термодинамики с учетом релятивистского первого закона термодинамики (6) и (8) описывается простой формулой, позволяющей отличать обратимые процессы от необратимых процессов,

$$\frac{d}{dt}[S] \geq 0,$$

где $S = s \delta V_0$, $\delta V_0 = a^3 r^2 \sin^2(\vartheta) dr d\vartheta d\psi$ – собственный объем, $dt = a^3 dx^0$ – собственное время; знак равенства отвечает случаю обратимого процесса эволюции Вселенной, когда он протекает с **конечной** скоростью в отличие от классической термодинамики, в которой необратимость является неизбежным следствием **конечной** скорости процесса; знак неравенства соответствует необратимым процессам, которые могут протекать только внутри каждого элемента среды. Рассмотренный в работе [8] процесс трансформации отрицательной потенциальной энергии скалярного поля в вещество может быть таким необратимым процессом, производящим энтропию.

В заключение отметим, что для Вселенной, описываемой решением (1), согласно закону (6) отсутствуют тепловые потоки, нет трения, т.к. нет никаких резервуаров и движущихся частей, нет перепада давления на границе, так как по предположению давление однородно по всему объему. Поэтому в релятивистской термодинамике возможны обратимые процессы, протекающие с **конечной** скоростью, и для которых исчезают источники необратимости, неизбежные с классической точки зрения.

Проведенное исследование показывает, что для локального наблюдателя температура, плотность, давление и концентрация в непосредственной близости от него уменьшаются, а частота космологического свечения сдвигается в красную сторону [12]. Поэтому следует иметь в виду, что с помощью обратимо эволюционирующей модели Вселенной можно имитировать процессы в реальной Вселенной, которые с точки зрения классической термодинамики можно принять за необратимые процессы. Это не означает, что в реальной Вселенной не имеют место необратимые процессы. Просто изучение космологии следует проводить с релятивистских, а не классических термодинамических позиций.

Энтропия будет вычислена во второй части, где так же будет проанализирован случай отрицательного скалярного поля. Во второй части работы рассмотрим с точки зрения релятивистской теории гравитации Логунова связь между термодинамикой и гравитационным аналогом статистической механики. Заключение будет сделано во второй части.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Born M. The classical mechanics of atoms. — N.Y.: Ungar, 1960. — 453 p.
2. Gell-Mann M. The quark and the Jaguar. — L.: Little, Brown, 1994. — P. 218–220.
3. Пригожин И. Современная термодинамика. — М.: Мир, 2002. — 510 с.
4. Пригожин И. Неравновесная статистическая механика. — М.: Мир, 1964. — 314 с.
5. Зубарев Д.Н., Морозов В.Г., Ренке Г. Статистическая механика неравновесных процессов. Т. 1. — М.: Физматлит, 2002. — 431 с.
6. Ласуков В.В. Вселенная в метрике Логанова // Известия вузов. Физика. — 2002. — № 2. — С. 39–41.
7. Де Гроот С.Р., Мазур П. Неравновесная термодинамика. — М.: Мир, 1964. — 432 с.
8. Ласуков В.В. Рождение материи в ранней Вселенной // Известия вузов. Физика. — 2003. — № 9. — С. 49–55.
9. Гейзенберг В. Природа элементарных частиц // Успехи физических наук. — 1977. — Т. 121. — С. 657–668.
10. Зубарев Д.Н., Морозов В.Г., Ренке Г. Статистическая механика неравновесных процессов. Т. 2. — М.: Физматлит, 2002. — 139 с.
11. Толмен Р. Относительность, термодинамика и космология. — М.: Наука, 1974. — 520 с.
12. Ласуков В.В. Красное смещение // Известия вузов. Физика. — 2004. — № 4. — С. 88–92.

УДК 553.411.071:553.242.4

ОКОЛОРУДНЫЙ МЕТАСОМАТИЗМ КАК КРИТЕРИЙ ГЕНЕТИЧЕСКОЙ ОДНОРОДНОСТИ МЕЗОТЕРМАЛЬНЫХ ЗОЛОТЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ, ОБРАЗОВАННЫХ В ЧЕРНОСЛАНЦЕВОМ И НЕСЛАНЦЕВОМ СУБСТРАТЕ

И.В. Кучеренко

Томский политехнический университет
E-mail: lev@tpu.ru

Происхождение золотых месторождений в районах сланцевого типа составляет предмет дискуссий. Результаты изучения околорудных изменений углеродистых сланцев в сравнительном аспекте с околорудным метасоматизмом в ином, в том числе кристаллическом субстрате, представляют интерес для оценки генетической однородности или специфики месторождений, образованных в той или иной среде, и могут быть использованы как аргумент в системе доказательств магматогенного или метаморфогенного гидротермального генезиса оруденения "сланцевого" типа. В плане реализации этой задачи приведены и обсуждаются результаты исследования околорудного метасоматизма в Кедровском рудном поле (Северное Забайкалье), в котором промышленные руды образованы в различных, включая углеродистые сланцы протерозойской кедровской свиты, породах. Показано, что структура (порядок минеральной зональности) и минералого-петрохимические черты околорудного метасоматизма во всех средах единообразны, а ореолы принадлежат березитовой метасоматической формации. В совокупности с другими данными этот факт используется для заключения о магматогенном мезотермальном генезисе оруденения в рудном поле.

Введение

Альтернативные представления о магматогенном или метаморфогенном происхождении гидротермальных образованных в толщах углеродистых сланцев золотых месторождений, предполагающие магматические в первом случае или местные породные, во втором, источники золота и сопровождающих элементов, составляют предмет дискуссии в течение нескольких десятилетий, что способствует накоплению новых эмпирических и экспериментальных данных и разработке новых подходов к решению этой чрезвычайно важной и сложной проблемы.

Поскольку еще к началу восьмидесятых годов прошлого столетия и в последующие годы идея об исходных, а не приобретенных в ходе рудообразования повышенных или высоких содержаниях металлов в рудовмещающих углеродистых сланцах золотоносных районов, на которую опиралась и опирается концепция метаморфогенного рудообразования, подверглась сомнению или отрицанию, в том числе со стороны некоторых её разработчиков [1–5 и др.], вывод о породных источниках сос-

редоточенного в рудах золота стал менее очевидным и для реабилитации концепции потребовались дополнительные аргументы.

Были предложены новые идеи о достаточности околорудных концентраций металлов для образования в сланцевых районах промышленных руд в крупных масштабах [6], о рудоподготовительном многоэтапном накоплении золота в сланцах [5, 7–11 и др.], об "отработанном" золоте, сверхкларковые массы которого будто бы извлекались из субстрата при рудообразовании с сохранением в породах лишь "остаточных" субкларковых его содержаний [2], об образовании промышленных месторождений в ходе переработки сингенетического сланцам слабо золотоносного вулканогенно-осадочного сульфидного оруденения [11 и др.]

Все эти варианты аргументации, возможно, имеют право на существование и не исключено, что в некоторых районах природа шла упомянутыми путями, формируя промышленные руды отчасти за счет породных или слабо золотоносных рудных источников. Однако аргументы выдвигались,