Космология и астрофизика

УДК 523.11:524.827:539.12:524.854:530.11

Букалов А.В.

УРАВНЕНИЯ ОБЩЕЙ ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ КАК АНАЛОГ УРАВНЕНИЙ ЭЛЕКТРОННОЙ СВЕРХПРОВОДИМОСТИ

Центр физических и космических исследований, Международный институт соционики, ул.Мельникова, 12, г.Киев-50, 04050, Украина. e-mail: bukalov.physics@socionic.info

Показано, что уравнения общей теории относительности можно рассматривать как аналог уравнений электронной сверхпроводимости — Лондонов и Ландау-Гинзбурга. Такая интерпретация вытекает из космологической модели со сверхпроводимостью, решающей проблему темной энергии. При этом космологическая константа Λ задает радиус действия гравитационного поля во Вселенной, фактически определяя масштаб наблюдаемой Вселенной, содержащей материю и излучение, которые гравитируют.

Ключевые слова: гравитация, сверхпроводимость, плотность темной энергии, плотность энергии вакуума, космологическая постоянная.

PACS numbers: **98.80.–k; 95.36. + x; 11.30.Rd; 42.40.-i**

1. Введение

В предыдущих работах автора [1] было показано, что наблюдаемая величина плотности темной энергии ρ_{DE} может быть получена в рамках модели сверхпроводимости вакуума, в которой первичные b-фермионы конденсируются в куперовские пары. Этот процесс уменьшает плотность энергии на 120 порядков по сравнению с обычно получаемой в теории поля планковской плотностью энергии:

$$\rho_{DE} = \frac{M_P^4}{256\pi^3 e^{2\lambda^{-1}}} = \frac{M_P^4}{256\pi^3 e^{2\alpha_{em}^{-1}}} = \frac{c^5}{256\pi^3 G_N^2 \hbar e^{2\alpha_{em}^{-1}}} \approx 6,092\cdot 10^{-30}\,\text{г/см}^3, \quad (1)$$

где $\lambda \approx \alpha_{em}$, α_{em} — постоянная тонкой структуры.

Поэтому Вселенную можно рассматривать как конденсатную систему фермионов, в котором происходят фазовые переходы в сверхпроводящее состояние. Конденсат первичных фермионов образует различные фазы, эволюционирующие по разным законам в зависимости от константы связи λ_i, λ_j. В силу этого мы можем рассматривать текущие в такой структуре токи, состоящие из нормальной и сверхтекучей компонент и получить уравнения макроскопической теории сверхпроводимости для Вселенной.

2. Уравнения космической сверхпроводимости

Вначале рассмотрим электронную сверхпроводимость. Согласно Лондонам [9, 13], при плотности электронов n, массе m_e, заряде электрона e движение электронов в электрическом поле E описывается уравнением $-eE = m_e\ddot{x}$, плотность тока $j = -ne\dot{x}$. В магнитном поле для сверхпроводника $E = -\frac{1}{c}\frac{\partial A}{\partial t}$, $\frac{d\rho}{dt} = -\Lambda_e \frac{\partial A}{\partial t}$, $-\Lambda_e(A - A_0) = j$, где $\Lambda_e = ne^2/(m_e c) = \text{const}$. При $A_0 = 0$ $j = -\Lambda_e A$, поэтому, при лондоновской калибровке $divA = 0,\ A\vec{n} = 0$

$$rot\,rotA = \nabla^2 A = \frac{4\pi}{c}\Lambda_e A. \quad (2)$$

Поэтому магнитное поле $A \sim e^{\pm\sqrt{\frac{4\pi\Lambda}{c}}x}$ проникает в образец на глубину $r \sim \sqrt{\dfrac{c}{4\pi\Lambda_e}}$ [6].

Рассмотрим теперь уравнения общей теории относительности:

$$G_{\mu\nu} - 8\pi\Lambda g_{\mu\nu} = R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} g_{\mu\nu} R - 8\pi\Lambda g_{\mu\nu} = -8\pi \frac{G_N}{c^5} T_{\mu\nu}. \tag{3}$$

При $T_{\mu\nu} = 0$ уравнение (3) преобразуется в уравнение:

$$G_{\mu\nu} = 8\pi\Lambda g_{\mu\nu}, \tag{4}$$

Преобразуем метрический тензор в тензорный потенциал — аналог электромагнитного векторного потенциала:

$$\frac{g_{\mu\nu} c^2}{\sqrt{G_N}} = B_{\mu\nu}. \tag{5}$$

или, с учетом (5),

$$\frac{c^2}{\sqrt{G_N}} G_{\mu\nu} = 8\pi\Lambda_s B_{\mu\nu} = 8\pi J^{(s)}_{\mu\nu}, \tag{6}$$

где $J^{(s)}_{\mu\nu}$ — тензорный ток сверхтекучей компоненты тока, образованного первичными фермионами.

В такой записи уравнения ОТО с космологической постоянной аналогичны уравнению Лондонов (2).

Как известно, решение уравнения (4) нашел де Ситтер. Для масштабного фактора $a(t) = a_0 e^{\sqrt{\Lambda t/3}}$ возникает экспоненциальное увеличение, что используется для описания расширения Вселенной в эпоху инфляции.

При $T_{\mu\nu} \neq 0$

$$\frac{c^2}{\sqrt{G_N}} G_{\mu\nu} = -8\pi J^{(m)}_{\mu\nu} + 8\pi J^{(s)}_{\mu\nu}, \tag{7}$$

где $8\pi J^{(m)}_{\mu\nu} = 8\pi\sqrt{G_N} T_{\mu\nu} / c^2$.

Уравнение (7) формально эквивалентно уравнению ОТО (3), но значительно отличается от него по интерпретации. Фактически оно показывает, что гравитационное поле можно рассматривать не только как кривизну, но и как аналог электромагнитного поля, а вещество и темную энергию («вакуум») можно рассматривать как нормальную и сверхтекучую компоненты токов, образованных первичными фермионами.

Согласно Лондонам, квантомеханическое выражение для электрического поля

$$j = -\frac{\hbar e}{2im_e} (\psi^* \nabla\psi - (\nabla\psi)^* \psi).$$

В магнитном поле оператор импульса p равен $p + eA/c$. Поэтому ток

$$j = -\frac{e}{2m_e} \left\{ \psi^* \left(\frac{\hbar}{i}\nabla + \frac{eA}{c} \right)\psi + \left[\left(\frac{\hbar}{i}\nabla + \frac{eA}{c} \right)\psi \right]^* \psi \right\} = -\frac{\hbar e}{2im_e} \left(\psi^* \nabla\psi - (\nabla\psi)^* \psi \right) - \frac{e^2 A}{m_e c} \psi^* \psi = j_p + j_s, \tag{8}$$

где j_p — парамагнитная составляющая тока, j_s — диамагнитная составляющая тока, m_e — масса электрона.

Очевидно, что уравнения (7) и (8) аналогичны. При этом плотность потока частиц $\frac{i\hbar}{4m_e}\left(\psi\nabla\psi^* - \psi^*\nabla\psi\right) = \frac{n_s v_s}{2}$. Учитывая, что волновая функция конденсатной частицы куперовской пары $\psi(r) = \left(\frac{n_s}{2}\right)^{1/2} e^{i\Phi}$, получим $\hbar\nabla\Phi = 2m_e v_s$. При движении частицы с массой $2m_e$ и зарядом $2e$ в магнитном поле импульс частицы равен

$$\hbar\nabla\Phi = 2mv_s + \frac{2e}{c}A. \qquad (9)$$

Тогда плотность сверхпроводящего тока электронов

$$j_s = n_s e v_s = \frac{\Lambda}{c}\left(\frac{\Phi_0}{2\pi}\nabla\Phi - A\right), \qquad (10)$$

где $\Phi_0 = \pi\hbar c / e$ — квант магнитного потока [6].

Отметим, что тензор энергии-импульса материи, используемый в ОТО, можно рассматривать как аналог парамагнитной компоненты тока, т.е. тока, обладающего тяготением, в отличие от антигравитирующего $J^{(s)}_{\mu\nu}$ — аналога диамагнитного тока. При этом

$$\frac{8\pi G_N}{c^4}\frac{c^2}{\sqrt{G_N}}T_{\mu\nu} = 8\pi n_G \frac{\sqrt{G_N}}{c^2} m_0 U_\mu U_\nu = n_G Q_G U_\mu U_\nu, \qquad (11)$$

где n_G – обобщенная плотность гравитационных зарядов как функция плотности и давления, m_0 – масса, Q_G – гравитационный заряд, U_μ – 4-скорость. Тогда уравнения ОТО (3) преобразуются в

$$\frac{c^2}{\sqrt{G_N}}G_{\mu\nu} = -8\pi n_G \frac{\sqrt{G_N}}{c^2} m_0 U_\mu U_\nu + 8\pi\Lambda_s B_{\mu\nu}. \qquad (12)$$

При волновой функции $\Psi_b(r) = (\tilde{n}_G / 2)^{1/2} \cdot e^{i\theta}$ конденсатной частицы b-фермионной куперовской пары с эффективной массой m_x, $\frac{\hbar}{m_x}\nabla_\mu\theta = U_\mu$, $\frac{\hbar}{m_x}\nabla_\nu\theta = U_\nu$. Тогда

$$\frac{c^2}{\sqrt{G_N}}G_{\mu\nu} = -8\pi n_G Q_G \left(\frac{\hbar}{m_x c}\right)^2 \nabla_\mu\theta\nabla_\nu\theta + 8\pi\Lambda_s B_{\mu\nu} \qquad (13)$$

Таким образом, возникают гравитационные уравнения для сверхпроводящего тока фермионов, которые по форме и смыслу аналогичны уравнениям Лондонов и Ландау-Гинзбурга. Мы можем записать их в квантовом виде.

$$\frac{c^2}{\sqrt{G_N}}G_{\mu\nu} = -8\pi\left|\frac{\hbar^2 Q_x}{(2m_x)^2 c^2 |\psi_b|^2}(\psi_b^*\nabla_\mu\psi_b - \psi_b\nabla_\mu\psi_b^*)(\psi_b^*\nabla_\nu\psi_b - \psi_b\nabla_\nu\psi_b^*) + \frac{2Q_x^2}{m_x c}|\psi_b|^2 B_{\mu\nu}\right|. \qquad (14)$$

$$\sigma\psi_b + \varsigma\psi_b|\psi_b|^2 + E_b\psi_b = 0, \qquad (15)$$

где E_b — энергия фермионной пары.

Или плотность «тока» в рассматриваемом «сверхпроводнике»-Вселенной

$$\frac{c^2}{\sqrt{G_N}}G_{\mu\nu} = 8\pi J^{(s)*}_{\mu\nu} = -8\pi J^{(m)}_{\mu\nu} + 8\pi J^{(s)}_{\mu\nu}, \qquad (16)$$

что эквивалентно уравнениям ОТО:

$$G_{\mu\nu} = -8\pi\chi T_{\mu\nu} + 8\pi\Lambda g_{\mu\nu},$$

при $\Lambda_s = n_s Q_x^2 / m_x c^2$.

В общем случае к уравнениям (14)–(16) надо добавить выражение для внешних токов $J^{(ex)}_{\mu\nu}$ [12]

$$\frac{c^2}{\sqrt{G_N}}G_{\mu\nu} = 8\pi J^{(s)*}_{\mu\nu} + 8\pi J^{(ex)}_{\mu\nu}. \qquad (17)$$

С этой точки зрения **уравнения гравитации Эйнштейна с Λ-членом можно рассматривать как описание движения нормальной и сверхтекучей компонент токов первичных фермионов в гравитационном поле**.

Уравнение (14) можно записать в виде:

$$\frac{c^2}{\sqrt{G_N}}G_{\mu\nu} = -8\pi\frac{\tilde{\Phi}_B}{2\pi}\frac{\hbar}{2m_x c}\frac{1}{|\psi_b|^2}(\psi_b^*\nabla_\mu\psi_b - \psi_b\nabla_\mu\psi_b^*)(\psi_b^*\nabla_\nu\psi_b - \psi_b\nabla_\nu\psi_b^*) + 8\pi\Lambda_s B_{\mu\nu}, \quad (18)$$

где $\tilde{\Phi}_B = \dfrac{\pi\hbar c}{Q_x}$ — квант гравитационного потока, $Q_x = \sqrt{G_N}\, m_x$

При $\psi_b = |\psi_b| e^{i\theta}$

$$\frac{c^2}{\sqrt{G_N}}G_{\mu\nu} = -8\pi\Lambda_s\left(\frac{\tilde{\Phi}_B}{2\pi}\cdot\frac{\hbar}{2m_x}\nabla_\mu\theta\nabla_\nu\theta - B_{\mu\nu}\right). \quad (19)$$

При

$$\frac{c^2}{\sqrt{G_N}}G_{\mu\nu} = -8\pi\Lambda_s\left(\frac{\sqrt{G_N}\,\tilde{\Phi}_B^2}{4\pi^2}\nabla_\mu\theta\nabla_\nu\theta - B_{\mu\nu}\right). \quad (20)$$

В уравнении $\dfrac{c^2}{\sqrt{G_N}}G_{\mu\nu} = 8\pi(-J_{\mu\nu}^{(m)} + J_{\mu\nu}^{(s)} + J_{\mu\nu}^{(ex)})$ имеется определенная неоднозначность — считать ли плотность энергии тяготеющего вещества $8\pi G_N^{1/2} c^{-2} T_{\mu\nu} = 8\pi J_{\mu\nu}^{(m)}$ парагравитационной компонентой тока первичных b-фермионов или рассматривать как отдельный ток?

Более общее уравнение имеет вид

$$\frac{c^2}{\sqrt{G_N}}G_{\mu\nu} = -8\pi\underbrace{(\nabla_\mu\chi\nabla_\nu\chi + \Lambda_m B_{\mu\nu})}_{J_{\mu\nu}^{(m)}} + 8\pi\underbrace{(\nabla_\mu\theta\nabla_\nu\theta + \Lambda_s B_{\mu\nu})}_{J_{\mu\nu}^{(s)}} + 8\pi J_{\mu\nu}^{(ex)}. \quad (21)$$

При $\Lambda_m = 0$ и $\nabla_\mu\theta\nabla_\nu\theta \to 0$

$$\frac{c^2}{\sqrt{G_N}}G_{\mu\nu} = -8\pi J_{\mu\nu}^{(m)}(n_{s_m} Q_m \nabla_\mu\chi\nabla_\nu\chi) + 8\pi J_{\mu\nu}^{(s)}(\Lambda_m B_{\mu\nu} + \Lambda_s B_{\mu\nu}) + 8\pi J_{\mu\nu}^{(ex)},$$

т.е. для тяготеющей материи с условным средним зарядом Q_m антигравитирующая компонента может быть минимальной или близкой к нулю. Для бозе-конденсата куперовских пар b-фермионов импульс также может быть равен нулю.

С другой стороны, на более фундаментальном уровне тяготеющая материя также может быть представлена как результат взаимодействия первичных b-фермионов. Тогда на этом первичном уровне

$$\frac{c^2}{\sqrt{G_N}}G_{\mu\nu} = 8\pi(-J_{\mu\nu}^{(m)} + J_{\mu\nu}^{(s)}). \quad (22)$$

В самом общем случае

$$\frac{c^2}{\sqrt{G_N}}G_{\mu\nu} = -8\pi\sum(n_{s_m} Q_m \nabla_\mu\chi\nabla_\nu\chi + n_v Q_v \nabla_\mu\theta\nabla_\nu\theta) + 8\pi(\Lambda_m + \Lambda_v)B_{\mu\nu} + 8\pi J_{\mu\nu}^{(ex)}. \quad (23)$$

Возможно, что «паргравитационная» компонента $J_{\mu\nu}^{(s)} = n_v Q_v \nabla_\mu\theta\nabla_\nu\theta$ вносит вклад в эффекты, связанные с действием непосредственно ненаблюдаемой «темной материей» в виде вихрей, обладающих эффективной гравитационной массой. Феноменологические модели таких полей рассматривались рядом авторов [8, 11].

Таким образом Λ_s выражает с одной стороны глубину проникновения внешнего гравитационного поля во Вселенную как сверхпроводник, с другой стороны, массу гравитонов $\Lambda_s = m_G^2$, которые приобретают эту массу в результате взаимодействия сверхпроводящего тока с внешним полем подобно появлению массы фотонов в электромагнитном сверхпроводнике. Аналогично эффекту Мейсснера сверхпроводящий ток первичных b-фермионов выталкивает внешнее гравитационное поле, поэтому он проявляет себя как антигравитация. При этом временная компонента проникновения внешнего поля внутрь Вселенной наблюдается как антигравитационный эффект и ускорение расширения Вселенной.

$$a(t)=a_0 e^{\sqrt{8\pi\Lambda}t}, \text{ где } x=ct.$$

В эпоху инфляции и Большого Взрыва внешнее поле проникает в первичную, начальную Вселенную, что приводит к фазовому переходу с выделением тепла, подобно электрическим сверхпроводникам. При этом плотность сверхпроводящей компоненты падает, т.к. изменяется параметр взаимодействия b-фермионов, фермионов и планковских доменов в квазикристаллической решетке $\lambda_i=\alpha_i$, и расстояние между ними увеличивается по закону

$$r\sim e^{\alpha_i^{-1}}\cdot 8\pi l_P. \tag{24}$$

Динамические уравнения де Ситтера и Фридмана–Леметра в ОТО описывают аспекты фазового перехода II рода как эволюции Вселенной. Это подтверждает сделанный нами ранее вывод [1], что наблюдаемая в настоящее время эволюция Вселенной также является протекающим фазовым переходом II рода с изменением параметра связи $\lambda_j=2\alpha_j^{-1}$ в «состояние сверхпроводимости», а параметр физического времени является функцией изменяющегося параметра взаимодействия фермион-фононного взаимодействия

$$\alpha_j^{-1}=\frac{\hbar c}{e_j^2},\; t=8\pi t_P\cdot e^{\alpha_j^{-1}}. \tag{25}$$

Но этот процесс протекает в другой, формирующейся фазе фермионного конденсата Вселенной. Поэтому наблюдаемую эволюцию Вселенной можно рассматривать как следствие протекающего фазового перехода под воздействием уменьшающегося внешнего поля — гравитационного аналога магнитного поля [1]. Этот фазовый переход и изменение константы взаимодействия $\alpha_j=\lambda_j$ ослабляет внешнее гравитационное поле. При этом эволюция критической плотности Вселенной определяется следующими формулами:

$$\rho_c=\frac{3H_0^2}{8\pi G_N}=\frac{3}{8\pi G_N\cdot(8\pi t_P e^{\alpha_j^{-1}})^2}. \tag{26}$$

Однако современный вакуум Вселенной, вероятно, является статичным, и вакуумный радиус кривизны Вселенной задается глубиной проникновения внешнего поля, и этот радиус, по-видимому, близок к размерам нашей Вселенной:

$$\lambda_s=(\Lambda_s)^{-1/2}\approx 47{,}7\cdot 10^9 \text{св.лет.}$$

Если первичные фермионы не гравитируют, то мы учитываем только эффективную массу и эффективный заряд энергетической щели ($m_x=m_{eff}=\Delta_b$, $Q_{x_{eff}}=G_N^{1/2}m_{ef}=2\Delta_b G_N^{1/2}$).

Исходя из равенства

$$\Lambda=\frac{n_s Q_x^2}{m_x}=\frac{1}{R_\Lambda^2}\approx\frac{1}{R_H^2} \tag{27}$$

рассмотрим варианты различных возможных значений n_s, Q_x и m_x, с учетом того, что $Q_x=G_N^{1/2}m_x$:

1) при $n_s\approx 10^{60}$, $Q_x=(\hbar c)^{1/2}=Q_P$, $m_x=m_P$;

2) при $n_s\approx 10^{90}\approx e^{3\alpha^{-1}/2}$, $Q_x\approx 10^{-30}Q_P\approx Q_P e^{-\alpha^{-1}/2}$ и $m_x\approx 10^{-30}m_P\approx m_P e^{-\alpha^{-1}/2}$;

3) при $n_s\approx 10^{120}$, $Q_x\approx 10^{-60}Q_P=Q_P e^{-\alpha^{-1}}$ и $m_x\approx 10^{-60}m_P\approx m_P e^{-\alpha^{-1}}$.

Для ранней Вселенной перед началом фазового перехода при $n_s\approx 10^{45}$, $Q_x\approx 10^{-15}Q_P\approx Q_P e^{-\alpha^{-1}/4}$ и $m_x\approx 10^{-15}m_P\approx m_P e^{-\alpha^{-1}/4}$ возможная величина космологической постоянной $\Lambda_{U_0}=\dfrac{1}{r_\Lambda^2}\approx\dfrac{1}{(10^{30}\cdot 8\pi l_{Pl})^2}\approx\dfrac{1}{(8\pi l_{Pl}e^{\alpha^{-1}/2})^2}$.

5. Выводы

Квантовые макроскопические уравнения гравитационной сверхпроводимости объясняют не только уравнения ОТО на квантовом уровне, но и дают описание вещества и вакуума как элементов гравитирующей («парагравитационной») и антигравитирующей («диагравитационной») компонент токов в сверхпроводящей структуре Вселенной.

Литература:

1. *Букалов А. В.* Решение проблемы космологической постоянной и свехпроводящая космология. // Физика сознания и жизни, космология и астрофизика. — 2011. — № 1. — С. 17–23.
2. *Букалов А.В.* Квантовые макроскопические уравнения гравитации и сверхпроводящей космологии. Природа сил инерции // Физика сознания и жизни, космология и астрофизика. — 2011. — № 2. — С. 41–48.
3. *Букалов А.В.* Решение проблемы темной энергии и энергии вакуума в космологической модели со сверхпроводимостью // Физика сознания и жизни, космология и астрофизика. — 2014. — № 1. — С. 5–14.
4. *Лившиц Е. М., Питаевский Л. П.* Статистическая физика. Часть 2. — М.: Наука, 1978. — 448 с.
5. *Фомин П. И*. О кристаллоподобной структуре физического вакуума на планковских расстояниях // Пробл. физ. кинетики и физики тв. тела. — Киев: Наук. думка, 1990. — С. 387–398.
6. *Шмидт В. В.* Введение в физику сверхпроводников. — М.: Наука, 1982. — 240 с.
7. *Bardeen J., Cooper L., Schrieffer J. R.* Phys. Rev., 108, 1175 (1957).
8. *Arbey A.* arXiv: astro-ph/0601274, 12 January, 2006.
9. *Feynman R. P.* Statistical mechanics. A set of lectures. — Massachusetts: W. A. Benjamin, Inc., 1972.
10. *Fomin P. I.* Zero cosmological constant and Planck scales phenomenology // Proc. of the Fourth Seminar on Quantum Gravity, May 25–29, Moskow / Ed. by M. A. Markov. — Singapore: World Scientific, 1988. — P. 813.
11. *Fomin P. I., Fomina A. P.* Vacuum model of the dark matter. // Proc. Ann. Intern. Conf. “Relativistic Astrophysics, Gravitation and Cosmology”, May 25-27, 2010, Kiev, Ukraine.
12. *Kirzhnits P. A.* Sov.Phys.Usp. 21, 470-486 (1978).
13. *London F., London H.* // Proc. Roy. Soc., 1935, v. A149, p.71.
14. *Weinberg S.* Mod.Phys. 61.1. (1989).

Статья поступила в редакцию 12.05.2014 г.

Bukalov A.V.

The equations of general relativity as an analogue of equations of electronic superconductivity

It is shown that the equations of general relativity can be regarded as analogous to equations of electron superconductivity by London and Landau-Ginzburg. This interpretation follows from the cosmological model with superconductivity, solves the problem of dark energy. In this case, the cosmological constant Λ sets the radius for action of the gravitational field in the universe, actually determining the scale of the observable universe containing matter and radiation, which gravitate.

Keywords: gravity, superconductivity, dark energy density, energy density of the vacuum, cosmological constant.