

УДК 539

НЕУСТОЙЧИВОСТИ И АННИГИЛЯЦИОННАЯ БЛОКАДА МАКРОСФЕР В МОДЕЛИ ГРАВИТАЦИОННО-НЕЙТРАЛЬНОЙ ВСЕЛЕННОЙ

С. А. Триггер^{1,2}

Получены поправки к спектрам, описывающим джинсовскую неустойчивость и звуковые колебания, за счет учета аннигиляционных процессов в гидродинамической модели гравитационно-нейтральной Вселенной. Обсуждается также проблема аннигиляции галактических кластеров и антикластеров, возникающих на стадиях образования массивных гравитационных скоплений в период, следующий за рекомбинацией заряженных частиц ранней Вселенной. На примере сферических макроскопических объектов показано, что гравитационное отталкивание между кластером и антикластером приводит к невозможности их аннигиляции из-за наличия конечного расстояния максимального сближения, если последнее превосходит расстояние между центрами макросфер.

Ключевые слова: гравитационно-нейтральная Вселенная, джинсовская неустойчивость, спектры колебаний, аннигиляционная блокада.

Наблюдательные открытия последних лет в астрофизике [1, 2], обнаружившие ускоренное расширение Вселенной, наряду с оптически невидимыми и имеющими непонятную природу темной энергией (~70 процентов) и холодной темной материей (~26 процентов), составляющими 96 процентов всего имеющегося “вещества” во Вселенной, заставляют искать новые космологические модели. Недавний критический анализ принятой стандартной Λ -CDM-космологии [3], с участием одного из ее создателей, также как некоторые недавно обнаруженные серьезные отклонения от космологического принципа (КП) – гипотезы об однородном и изотропном распределении во Вселенной Обыч-

¹ Объединенный институт высоких температур РАН, 125412 Россия, Москва, Ижорская ул. 2; e-mail: satron@mail.ru.

² ИОФ РАН, 119991 Россия, Москва, ул. Вавилова, 38.

ной Материи [4], привели к необходимости рассмотрения различных альтернативных космологических моделей.

В ряде недавних работ [5–11] получила развитие гипотеза о существовании двух типов гравитационных масс (гравитационных зарядов) во Вселенной. В частности, физической основой работ [5, 7–10] является высказанная в 1958 году Л. Шиффом (L. Schiff [12]) гипотеза о гравитационном отталкивании частиц и античастиц. Принятие этой гипотезы, как базового космологического принципа, позволяет дать объяснение важнейшим необъясненным наблюдательным крупномасштабным (КМ) свойствам Вселенной: КМ-однородность и изотропность, КМ-плоскостность [13] и КМ-пенообразную структуру с пустотами $\sim 10^8$ световых лет [14], занимающими ~ 50 процентов ее объема [15]. До сих пор “не найдено исчерпывающей и полностью соответствующей теории” происхождения этой КМ-пены [15]. Кроме того, признание гипотезы Л. Шиффа как одной из базисных концепций космологии, и принятие модели полностью гравитационно-нейтральной Вселенной (ПГНВ, или TGNU – Totally Gravitationally Neutral Universe) [7–10] дает возможность утвердить барионную симметрию Вселенной на всем протяжении ее эволюции. В ПГНВ эта эволюция идет от Большого Взрыва (Big Bang, BB), при котором, в отличие от принятой концепции, высокооднородная и изотропная среда с необычайно высокой плотностью энергии, температурой и давлением состоит из равного количества частиц и античастиц всех типов, причем частицы и античастицы гравитационно отталкиваются друг от друга, в то время как для пар частица–частица и античастица–античастица имеет место гравитационное притяжение. Для заряженных частиц и античастиц электромагнитные силы преобладают над гравитационными, которые могут играть доминирующую роль только для электрически нейтральных частиц или электронейтральных кластеров.

В работе [16] также исследовался вопрос о возможности модели Вселенной, содержащей кластеры материи и антиматерии. Основной вывод работы сводится к невозможности существования кластеров антиматерии во Вселенной из-за отсутствия наблюдений мощных вспышек рентгеновского излучения, вызываемых аннигиляцией при столкновении кластеров материи и антиматерии. Однако, как будет видно из дальнейшего изложения, такой механизм, в теории ПГНВ, должен отсутствовать. Согласно стандартной Λ -CDM-космологии [3], гравитационные силы начинают играть определяющую роль после короткой фазы рекомбинации заряженных частиц, произошедшей через $3.8 \cdot 10^5$ лет после Большого Взрыва. Именно тогда в модели ПГНВ начали образовываться кластеры (частицы) и антикластеры (из античастиц), аннигиляция которых

в силу гравитационного отталкивания представляется затруднительной.

Необходимо отметить, что согласно пионерской работе Г. Гамова [17], в начальной стадии эволюции Вселенной имелся нейтронный период, когда “the extremely high pressures obtaining near the point of complete collapse (singular point at $t=0$) would have squeezed the free electrons into the protons, turning the matter into the state of over-heated neutron fluid”. Если такой сценарий действительно имел место, то в этот период в модели ПНГВ тоже могло происходить образование кластеров и антикластеров. При любом сценарии в период отсутствия или сильного обеднения заряженных элементарных частиц в модели ПНГВ должно происходить образование кластеров и антикластеров, инициируемое джинсовской неустойчивостью [7, 11].

Рассмотрим гидродинамические уравнения для двух типов электрически нейтральных частиц (напр., нейтронов и антинейтронов), предполагая, что их гравитационные заряды противоположны и гравитационное взаимодействие частиц и античастиц является отталкивательным

$$\frac{\partial n_a}{\partial t} + \operatorname{div}(n_a \mathbf{V}_a) = -\nu_{a,\bar{a}} n_a n_{\bar{a}}, \quad (1)$$

$$m n_a \left[\frac{\partial \mathbf{V}_a}{\partial t} + (\mathbf{V}_a \cdot \nabla) \mathbf{V}_a \right] = -\frac{\partial p_a}{\partial \mathbf{r}} + n_a \mathbf{F}_a, \quad \mathbf{F}_a = -m_a \nabla \Phi. \quad (2)$$

Здесь n_a – плотность частиц сорта a , $p_a = n_a(\mathbf{r}, t)T$ – давление частиц сорта a , индекс $a = \{m, -m\}$ и $\bar{a} = -a$. Гравитационные массы имеют противоположные знаки (выберем для определенности $m > 0$). Однако инерциальные массы всегда положительны $|m_a| = m$. Предположим, что температура T системы постоянна и уравнение энергии можно не рассматривать. Ниже пренебрегается также как процессами вакуумного рождения пар, так и влиянием фотонного газа, который предполагается не взаимодействующим с нейтральным веществом. Величина $\nu_{a,\bar{a}} = \nu_{\bar{a},a} \equiv \nu$ – характерный параметр для скорости аннигиляции, имеющий размерность см³/сек.

Уравнение Пуассона имеет вид

$$\Delta \Phi = 4\pi G m (n_m - n_{-m}). \quad (3)$$

Линеаризация написанной системы уравнений приводит к дисперсионному уравнению, определяющему характерные частоты $\omega = \omega(\kappa)$ для гидродинамической модели ПНГВ

$$\begin{aligned} & \omega^4 + i2\omega^3 n^0 \nu + 2\omega^2(\Omega^2 - c^2 k^2) + \\ & + i\omega 2n^0 \nu (2\Omega^2 - c^2 k^2) + c^4 k^4 - 2c^2 \Omega^2 k^2 = 0, \end{aligned} \quad (4)$$

где k – волновой вектор возмущения, $c = \sqrt{T/m}$ – скорость звука для случая равных по модулю масс m частиц и античастиц.

В пренебрежении аннигиляционными процессами ($\nu = 0$) уравнение (4) имеет точные решения, описывающие обобщенную для ПГНВ джинсовскую неустойчивость и характерный лишь для ПГНВ звук

$$\varpi_1^2 = -2\Omega^2 + c^2k^2, \quad \varpi_2^2 = c^2k^2. \quad (5)$$

Как следует из (5), наиболее быстро нарастают длинноволновые возмущения ($k \rightarrow 0$), а характерный масштаб возмущений, при котором неустойчивый режим сменяется на волновой, дается значением $\lambda_0 \equiv 1/k_0 = c/(\sqrt{2}\Omega)$.

Рассмотрим малые поправки к спектрам (5), связанные с аннигиляцией. Для джинсовского спектра из (4) находим

$$\delta\varpi_1 = -i\frac{n_0\nu}{4\Omega^2}(\Omega^2 - c^2k^2). \quad (6)$$

Таким образом, в длинноволновом случае $\Omega^2 \gg c^2k^2$ поправка ведет к уменьшению инкремента джинсовской неустойчивости в области ее наиболее сильного проявления, а в области $c^2k^2/2 < \Omega^2 < c^2k^2$ к его возрастанию (в области длин волн, где джинсовская неустойчивость слабее проявляется). Наконец, в области $\Omega^2 \leq c^2k^2$, где джинсовская неустойчивость отсутствует, поправка к спектру за счет аннигиляции (5) приводит к аннигиляционной неустойчивости “джинсовской волны” $\omega_D = \sqrt{c^2k^2 - \Omega^2}$.

Обратимся теперь к влиянию аннигиляции на звуковой спектр $\varpi_2 = ck$. Для поправки к звуковому спектру из (5) находим

$$\delta\varpi_2 = i\frac{n_0\nu}{2\Omega^2}(\Omega^2 - c^2k^2). \quad (7)$$

Поэтому процесс аннигиляции приводит к неустойчивости звука при $\Omega^2 > c^2k^2$ и к его затуханию в обратном случае (при этом условия гидродинамического приближения могут соблюдаться).

Возникает вопрос об условиях аннигиляции для уже образовавшихся за счет механизмов джинсовской и аннигиляционной неустойчивостей массивных электронейтральных кластеров материи и антиматерии в ПГНВ модели.

Покажем, что при определенных условиях процесс аннигиляции массивных кластеров и антикластеров невозможен, что и обуславливает разлет гравитационно-нейтральной на больших расстояниях Вселенной. При этом КМ гравитационная нейтральность позволяет пренебречь эффектами ОТО и ограничиться на этих масштабах ньютоновской механикой [8–11].

Закон сохранения энергии для двух гравитационно отталкивающихся тел имеет вид

$$\frac{GM_1M_2}{r^2} + \frac{M_1v_1^2}{2} + \frac{M_2v_2^2}{2} = \left(\frac{M_1v_1^2}{2}\right)_{r=\infty} + \left(\frac{M_2v_2^2}{2}\right)_{r=\infty}, \quad (8)$$

где справа от знака равенства в (8) стоит полная кинетическая энергия частиц K_∞ при их бесконечном удалении друг от друга $r \equiv |\mathbf{r}_1 - \mathbf{r}_2| = \infty$. Поскольку текущая кинетическая энергия $K \equiv M_1v_1^2/2 + M_2v_2^2/2 > K_\infty$ на любых конечных расстояниях между частицами $r \neq \infty$, а максимально возможная скорость частиц равна скорости света c , из равенства (8), представленного в виде

$$r = \frac{GM_1M_2}{K_\infty - K}, \quad (9)$$

вытекает, что наименьшее возможное расстояние R между такими объектами равно

$$R_B \equiv r_{\min} = \frac{2GM_1M_2}{(M_1 + M_2)c^2}. \quad (10)$$

Расстояние R_B имеет структуру радиуса Шварцшильда для черной дыры (см., напр., [18, 19]), но его физический смысл иной, скорее противоположный, поскольку связан не с невозможностью выйти из поля тяготения некоего объекта, а с невозможностью сблизиться двум антигравитирующим объектам. При этом, поскольку рассматриваемые макрообъекты состоят из частиц и античастиц (кластеры и антикластеры), то они не могут аннигилировать друг с другом, если выполняется условие $R_1 + R_2 > R_B$. В этом смысле радиус R_B может быть назван радиусом аннигиляционной блокады. Вместе с тем это условие является необходимым, но возможно недостаточным, и расстояние, при котором аннигиляция невозможна, может оказаться большим.

Таким образом, в настоящей работе получены джинсовская неустойчивость и звуковой спектр в двухкомпонентной модели ПГНВ с учетом аннигиляции исходных электро-нейтральных частиц. Кроме того, показано, что на этапе, следующим за рекомбинацией, макроскопические кластеры и антикластеры не могут аннигилировать из-за наличия конечного расстояния R_B их наибольшего сближения, зависящего от их приведенной массы, гравитационной постоянной и скорости света (аналог шварцшильдовского радиуса для случая отталкивания). Аннигиляция невозможна, если R_B превосходит сумму радиусов кластера и антикластера.

Основной вопрос заключается в справедливости модели ПГНВ, основанной на гипотезе Л. Шиффа [12] о гравитационном отталкивании элементарных частиц и античастиц. Прямые экспериментальные измерения возможности антигравитации обычной

материи и обычной антиматерии (имеющие решающее значение для подтверждения ПГНВ-концепции) на протяжении ряда лет, начиная с 2010 года, подготавливаются в ЦЕРНе [20–22]. Основной проблемой является получение достаточно плотного пучка атомов антиводорода. Можно надеяться, что в ближайшие 1–2 года будут получены экспериментальные результаты, отвечающие на фундаментальный вопрос о характере гравитационного взаимодействия материи и антиматерии.

Автор благодарен Российскому научному фонду за поддержку этой работы (грант № 14-50-00124).

Л И Т Е Р А Т У Р А

- [1] S. Perlmutter et al., *Astrophysical J.* **517**(2), 565 (1999).
- [2] A. G. Riess et al., *Astron J.* **116**, 1009 (1998).
- [3] A. Ijjasa, Paul J. Steinhardt, Loeb Abraham, *Phys. Lett. B* **723**, 261 (2013).
- [4] L. Perivolaropoulos, *Large Scale Cosmological Anomalies and Inhomogeneous Dark Energy*, arXiv:1401.5044 v1 [astro-ph.CO] (2014).
- [5] M. Villata, *Europhysics Letters* **94**, 20001 (2011).
- [6] A. Benoit-Levy and G. Chardin, *Astronomy and Astrophysics* **537**, **A78**, 1 (2012); 012121 (2015).
- [7] S. A. Trigger, I. A. Gribov, *J. Phys.: Conf. Series* **653**, 012121 (2015).
- [8] С. А. Тригер, Ю. А. Грибов, А. А. Рухадзе, *Краткие сообщения по физике ФИАН* **42**(12), 43 (2015).
- [9] I. A. Gribov and S. A. Trigger, *Journal of Physics: Conference Series* **774**, 012045 (2016).
- [10] А. М. Игнатов, С. А. Тригер, *Краткие сообщения по физике ФИАН* **43**(7), 38 (2016).
- [11] M. Giovanni, R. Jean-Louis, M. Bruce, C. Gabriel, *Cosmological structure formation with negative mass*, arXiv: 1804.03067v1 [gr-qc] (2018).
- [12] L. I. Schiff, *Phys. Rev. Lett.* **1**, 254 (1958).
- [13] Planck collaboration "Planck 2013 results. XVI. Cosmological parameters". arXiv:1303.5076 [astro-ph.CO] (2013).
- [14] H. El-Ad, T. Piran, *The Astrophysical Journal* **491**, 421 (1997).
- [15] S. Capozziello, M. Funaro, C. Stornatolo, *Astronomy and Astrophysics* **420**, 847 (2004).
- [16] A. G. Cohen, A. De Rujula, S. L. Glashow, *A Matter-Antimatter Universe?* <http://arxiv.org/abs/astro-ph/9707087> (1997).

- [17] G. Gamow, *Nature* **162**, 680 (1948).
- [18] Ч. Мизнер, К. Торн, Дж. Уилер, *Гравитация*, Т. 1–3 (М., Мир, 1977).
- [19] V. A. Rubakov, *Cosmology*, arXiv:1504.03587v1 [astro-ph.CO] (2015).
- [20] G. B. Andresen et al., *Nature Physics* **7**, 55 (2011).
- [21] S. Aghion et al., (AEGIS Collaboration), *Prospects for measuring the gravitational free-fall of antihydrogen with emulsion detectors*, <http://arXiv:1306.5602> (2013).
- [22] G. Chardin et al., Preprint: CERN-SPSC-2011-029/SPSC-P-342 (CERN, 2011).

Поступила в редакцию 14 сентября 2018 г.