

О ВОЗМОЖНОМ СОСТОЯНИИ ВЕЩЕСТВА НА ПРЕДПОСЛЕДНЕЙ СТАДИИ КОЛЛАПСА

М.А.Марков

Рассматривается пример процесса (образование черных дыр), в результате которого различные формы материи в предпоследней стадии коллапса Вселенной унифицируясь могут сохранить лишь свойства гравитирующей гидродинамической материи. Но и эти свойства теряются в последней стадии коллапса, когда материя возникает в форме Λ -члена, лишенной гравитационной константы и свойств перемещения.

Некоторое время тому назад была высказана гипотеза о возможном существовании во Вселенной (в сопутствующей системе координат) предельной плотности любой формы материи. В качестве конкретного выражения для предельной плотности предложена величина $\rho_0 = c^5 / \hbar \kappa_0^2 \sim 10^{94} \text{ г/см}^3$, где κ_0 — гравитационная константа ^{1, 2}.

В настоящей статье выдвигается гипотеза, согласно которой при достижении предельной плотности унифицируются все различия в формах материи (полей) и в условиях предельной плотности материя должна характеризоваться лишь гидродинамическими свойствами. Физически это значит, что при каких-то плотностях в процессе сжатия материи частицы, составляющие материю, должны терять свои специфические характеристики. На другом языке это значит, что при соответствующих плотностях (может быть, различных для различного класса частиц) нарушаются законы сохранения, связанные с нарушением, в частности, инвариантности абелевых и неабелевых симметрий. В связи с гипотезой о предельной плотности материи обращает на себя внимание то обстоятельство, что в правой части уравнения Эйнштейна не содержится никаких величин, характеризующих гравитационное поле. Правая часть уравнения содержит лишь тензор плотности различных материй. Другими словами, гипотеза о существовании конечной плотности только этих материй не избавляет от появления в процессе коллапса Вселенной сингулярности, связанной, например, с гравитационным реликтовым излучением. Плотность энергии этого излучения в настоящее время оценивается $\rho_{grav} \sim 10^{-35} \text{ г/см}^3$. То есть примерно только на два порядка меньше плотности реликтового фотонного излучения ³. При размерах Вселенной $R_{max} \sim 10^{28} \text{ см}$ в процессе ее сжатия плотность гравитационной энергии только реликтовых гравитонов достигает планковской плотности $\rho_0 \sim 10^{94} \text{ г/см}^3$ уже на радиусе Вселенной $R \sim 10^{-5} \text{ см}$. Плотность энергии гравитационного поля, вообще говоря, описывается не тензором, а псевдотензором, и эта величина во многих случаях может исчезнуть при некоторых координатных преобразованиях. Но для случая полной энергии и импульса изолированной системы соответствующий псевдотен-

зор приобретает свойства тензора ⁴. Более того, в рамках квантовой теории давно началось рассмотрение реальных возможностей превращения энергии гравитонов в другие формы материи ⁵. Другими словами, гравитационная энергия должна также ограничиваться предельной плотностью. Вообще говоря, классические работы ^{6, 7} о возмущениях метрики гравитационного поля указывают на трудности, связанные с возникающими сингулярностями, которые пока не преодолены в известных моделях Вселенных.

Возвращаясь к обсуждению гипотезы об унификации всех форм материи при экстремальных плотностях, следует напомнить, что с появлением в теории таких объектов как черные дыры, известно, что (по терминологии Уилера) "черные дыры не имеют волос". Черная дыра как целое может обладать лишь массой, электрическим зарядом и моментом вращения. Известно, что закрытая Вселенная не может обладать отличными от нуля полной массой, зарядом и также, как следует из работы ⁸, моментом вращения. В результате сказанного выше, не представляется абсурдным предполагать, что когда закрытая Вселенная в процессе коллапса достигает планковских плотностей материи, вся материя Вселенной унифицируется в собрание элементарных черных дыр — по нашей терминологии "максимонов" ⁹, возможно не обладающих ни электрическим зарядом, ни спином. Более того, в этой стадии коллапса материя, состоящая из "максимонов", по-видимому, может быть и абсолютно холодной. Нагрев этой материи, состоящей из "плотной" упаковки максимонов, имеющих массу предельной плотности, может нарушить гипотезу предельной плотности. Предполагается, что элементарные черные дыры могут как непосредственно образовываться из гравитационного поля, так и трансформируясь предварительно в другие формы материи. Здесь речь идет как о поперечных возмущениях (гравитонов), так и возмущениях продольных — типа звука. Во всяком случае эта гипотеза выглядит естественной в линейном приближении. Не исключено, что описание нелинейной области явлений на классическом языке сведется к формализму типа формализма Борна — Инфельда, т.е. к конечности кривизны ¹.

Пока речь идет о стабильных элементарных черных дырах, в условиях их "плотной упаковки" в "непрерывной" максимонной среде. Рассмотрение физических свойств такой материи требует последовательной квантовой теории и гравитационного поля. Пример нейтрона стабильного в связанном состоянии, в принципе, может быть поучительным. Против стабильности конечного состояния свободной черной дыры имеются астрофизические соображения, также как и для существования большого числа магнитных монополей. Имеется и ряд аргументов в пользу их стабильности ¹⁰⁻¹² 1).

В ряде статей нами рассматривалась гидродинамическая модель в осциллирующей Вселенной, в частности, заполненной пылевидной материей. Предыдущие соображения показывают, что подобная модель, в которой роль пыли играет ансамбль элементарных черных дыр, может оказаться способной описывать состояние Вселенной в моменты, близкие к конечной стадии коллапса. С другой стороны, обращает на себя внимание, что конкретный вариант модели этого класса, изложенный нами в ряде статей ^{13, 14}, именно модель, называемая "Осциллирующей" Вселенной Фридмана — де Ситтера с Λ -членом, зависящим от плотности вещества" в начальной стадии расширения Вселенной имеет много общего с моделями так называемых инфляционных вселенных ²).

Напомним уравнение Эйнштейна, адаптированное нами для случая фридмановской осциллирующей пылевидной Вселенной

$$(\dot{a}/ca)^2 + \frac{1}{a^2} = \frac{8\pi\kappa_0}{3c^2} \{ \rho F(\rho^2/\rho_0^2) + \Lambda' \theta(\rho^2/\rho_0^2) \}, \quad (1)$$

где a — "радиус" Вселенной, ρ — плотность материи, Λ' — константа размерности плотнос-

¹) Видимо, в области масс черных дыр, близких к планковским, спектр хокинговского излучения деформируется, т.е. есть основания полагать, что уровни квантованной черной дыры не сильно перекрываются.

ти массы. Функции F и θ выбираются так, что $F \rightarrow 0$ при $\rho \rightarrow \rho_0$; $\theta \rightarrow 1$ при $\rho \rightarrow \rho_0$; $F \rightarrow 1$ при $\rho \ll \rho_0$, $\theta \rightarrow 0$ при $\rho \ll \rho_0$

$$\Lambda' \frac{8\pi\kappa_0}{3c^2} = \Lambda_0 - \text{константа } (\Lambda_0\text{-член}).$$

Подчеркиваем, что второй член в (1) не содержит гравитационной константы κ_0 — он представляет собой $\sim \Lambda' \kappa_0$ -член, зависящий только от плотности материи. Таким образом, при малых плотностях ($F \rightarrow 1$; $\kappa_0 \Lambda' \theta \rightarrow 0$) уравнение (1) описывает закрытую Вселенную Фридмана: Λ -член практически исчезает. При $\rho \rightarrow \rho_0$ наоборот, возрастает Λ -член: в пределе и он становится равным константе $\kappa_0 \Lambda'$, а плотность гравитирующей энергии стремится к нулю ($\rho F \rightarrow 0$) и Вселенная становится чисто де-ситтеровской. Закон перекачки плотности наблюдаемой гравитирующей энергии ρF в Λ -член дается уравнением „сохранения“:

$$\frac{1}{\sqrt{-g}} \frac{\partial}{\partial t} (\rho F \sqrt{-g}) + \Lambda' \frac{\partial}{\partial t} \theta = 0, \quad (2)$$

которое автоматически следует из обращения в нуль ковариантной дивергенции левой части уравнения Эйнштейна. Функции F и θ выбираются из добавочного условия — в данном случае требовалось, чтобы коллапс Вселенной останавливался при плотностях $\rho = \rho_{max} \ll \rho_0$ и радиусе Вселенной $a_{min} \sim l_{pl} \approx \sqrt{\hbar \kappa_0 / c^3} \sim 10^{-33}$ см. Этим условиям удовлетворяют простые функции:

$$F = [1 - (\rho^2 / \rho_0^2)]; \quad \theta = \rho^2 / \rho_0^2 \quad \text{и} \quad \Lambda' / \rho_0 = 2, \quad (3)$$

От выбора функции F , θ , значения ρ_{max} и Λ' зависит продолжительность де-ситтеровской фазы, т. е. фазы нового расширения Вселенной после остановки коллапса²⁾. Она может сильно варьироваться при выборе констант ρ_0 и Λ' и вида функций F и θ . Интегрирование уравнения (2) дает связь между ρ , ρ_0 , Λ' и константой интегрирования M_0 , имеющей смысл полной массы всех пылинок, образующих закрытую Вселенную:

$$[(\rho_0^2 - \rho^2) \times \rho \frac{(\rho_0 + \rho)}{|\rho_0 - \rho|}]^{\Lambda' / \rho_0} = \frac{M_0 \rho_0^2}{2\pi a^3}. \quad (4)$$

При $\rho \rightarrow \rho_{max}$, когда уравнение (1) принимает вид

$$(\dot{a}/ca)^2 + \frac{1}{a^2} \approx \Lambda_0 \quad (5)$$

в де-ситтеровской фазе

$$a \sim a_{min} e^{\pm c \sqrt{\Lambda_0} t}. \quad (6)$$

В инфляционных моделях роль Λ -члена обычно играет потенциальная энергия некоего скалярного поля φ . Предполагается, что $\dot{\varphi}$ — мало. При малых временах расширяющейся Вселенной физическое отличие нашей модели Вселенной от инфляционных заключается в том, что в последней нет истинного Λ_0 -члена, истинной константы де-ситтеровской метрики, характеризующей своеобразную не гравитирующую форму материи³⁾. Поэтому

2) Образование галактик требует рассмотрения различных возмущений в данной модели в фазе "отскока".

3) Из предыдущего следует, что унификация материи в форму среды элементарных черных дыр — это ступень дальнейшего превращения материи в физическую реальность, описываемую Λ -членом, которая по сути дела, является первоматерией в смысле Анаксагора¹⁴, для которой характерно свойство не состоять из частей, способных перемещаться друг относительно друга.

при коллапсе инфляционной Вселенной она не возвращается в состояние начальной де-ситтеровской Вселенной, автоматически не выполняется равенство нулю $\dot{\varphi}$ в процессе коллапса. А ставшие, например, "модными" Вселенные, возникающие из "ничего", по определению должны быть закрытыми.

Λ -член введен Эйнштейном в левую часть уравнения, не содержащую гравитационную константу κ : $R_{\mu\nu} - 1/2 g_{\mu\nu} R + g_{\mu\nu} \Lambda_0 = \kappa_0 T_{\mu\nu}$. В инфляционных моделях формальную роль Λ -члена обычно играет скалярное поле φ , т.е. — гравитирующая материя. При делаемых в этих предположениях ($\dot{\varphi} \neq 0$) в начальный момент можно получить решение типа де-ситтеровского, но, строго говоря, речь идет о квази-де-ситтеровской начальной фазе Вселенной.

В заключение выражаю благодарность В.Муханову за полезные обсуждения.

Литература

1. Марков М.А. Письма в ЖЭТФ, 1982, 36, 214.
2. Rosen Natan. The Astrophysical Journal., 1985, 297, 347.
3. Зельдович Я.Б., Новиков И.Д. Строение и эволюция Вселенной, 1975, с. 391.
4. Isaacson R. Phys. Rev., 1968, 166, 1263., 1272.
5. Иваненко Д.Д. Квантовая теория, 1952, с. 675.
6. Лифшиц Е.М. ЖЭТФ, 1946, 16, 587.
7. Лифшиц Е.М., Халатников И.М. УФН, 1963, 80, 391.
8. Березин В.А. Труды ФИАН, 1983, 152, 31.
9. Markov M.A. Progr. Theor. Phys. Suppl. Commemoration Issue for the 30th Anniversary of the Meson Theory by Dr. H. Yukawa.
10. Maltsev V.K., Markov M.A. Preprint P-0160, Inst. for Nucl. Res. Moscow, 1980.
11. Mikhanov V.F. Preprint. Evaporation and Entropy of Quantized Blackhole. Preprint Lab. Inst., №163, 1986.
12. Aharonov Y., Casher A., Nussinov S.N. Phys. Olett. B, 1987, 191, 51.
13. Markov M.A. Ann. of Phys., 1984, 155, 33.
14. Markov M.A. Group Theoretical Methods in Physics, Yurmala, USSR, 22–24 May, 1985.