

УДК 530.12:530.51

## **НОВЫЙ МЕХАНИЗМ УТИЛИЗАЦИИ КОСМИЧЕСКИХ ШЛАКОВ**

**В. М. Самсонов, Е. К. Петров**

Тверской государственный университет  
*кафедра теоретической физики*

Предложен новый механизм эволюции нейтронной звезды, не предполагающий ее трансформацию в черную дыру. Этот механизм названный механизмом утилизации космических шлаков, основывается на процессе аннигиляции нейтронов. Получено уравнение  $\rho_s = \lambda_n^{-3}$  для пороговой (критической) плотности нейтронного газа, который делает возможным указанный процесс аннигиляции. Здесь  $\lambda_n$  – комптоновская длина волны нейтрона. Показано, что найденное значение  $\rho_s$  соответствует имеющимся оценкам плотности нейтронных звезд.

**Ключевые слова:** нейтронная звезда, черная дыра, нейтрон, аннигиляция.

Обычно полагают если масса  $M$  нейтронной звезды больше трех солнечных масс, то она должна превратиться в черную дыру (ЧД) [1]. Такой объект, первоначально предсказанный в 1939 г. Оппенгейнером и Снайдером [2], мы будем называть классической или компактной ЧД. Поскольку классическая ЧД должна иметь очень малый размер и очень высокую плотность, ни частицы, ни свет не могут покинуть ее поверхность, или, точнее говоря, горизонт событий. Выдвинутая Оппенгейнером и Снайдером концепция гравитационного коллапса основывалась на решениях Шварцшильда уравнений Эйнштейна, лежащих в основе общей теории относительности (ОТО). Однако, как было отмечено в нашей работе [3], ОТО является калибровочной теорией. Среди наиболее известных калибровок можно отметить калибровки Шварцшильда (1916), Гильберта (1917), Дроста (1917), Вейля (1917), Эйнштейна-Розена (1935), изотропная, гармоническая, а также калибровка Пугачева-Гурко-Менцеля (1974-1976). И только некоторые из этих калибровок предсказывают шварцшильдовскую сингулярность и, соответственно, горизонт событий, являющийся основным атрибутом классической ЧД. Кроме того, хорошо известное преобразование Крускала-Шекереса [1, 4] позволяет сдвигать шварцшильдовскую сингулярность куда угодно, вплоть до бесконечности. В связи с этим мы удивлены тем, что авторы монографии [1] не обратили внимание на противоречие между концепцией ЧД и преобразованием Крускала-Шекереса. В [3] мы предсказали шварцшильдовскую сингулярность и, соответственно,

классическую ЧД, не используя уравнения ОТО. Мы полагаем, что наши результаты представляют интерес, поскольку мы устранили отмеченную выше неоднозначность, типичную для ОТО. Вместе с тем, в [2] мы сделали вывод, что в системе отсчета, связанной с удаленным (земным) наблюдателем, классическая ЧД могла сформироваться только за бесконечно большой промежуток  $\Delta t$ .

Если время существования нашей Вселенной конечно (как это предполагается современной наукой), то классические ЧД не могли возникнуть в нашей Вселенной. Этот вывод согласуется с заключением, сделанным [5] на основе динамического варианта ОТО и некоторых квантовых соображений. Таким образом, к настоящему времени концепция классической ЧД серьезно поколеблена. В тоже время, в [3] мы интерпретировали классическую ЧД как интересную и полезную физическую модель шварцшильдовской сингулярности, которая может быть реализована только асимптотически  $t \rightarrow \infty$ . Примечательно также, что в [6] мы выдвинули концепцию релятивистской ЧД для сферической области бесконечной Вселенной радиуса  $R$ , равного гравитационному радиусу  $R_G$ . Эта модель не требует огромной плотности и не провоцирует каких-либо сомнений в ее реализации.

Недавно Хокинг [7] представил некоторые новые критические соображения, касающиеся ЧД. Он сделал вывод, что концепция горизонта событий некорректна и, как следствие, не существует ЧД в обычном смысле, т.е. объектов, которые свет не может покинуть. В этой статье предложено переопределить ЧД как метастабильные связанные состояния гравитационного поля. Если такая концепция будет развита и подтверждена, она может рассматриваться как один из механизмов обратной эволюции ЧД.

В данной статье нейтронные звезды и классические ЧД образно интерпретируются как космический мусор, поскольку их вещество исключается из дальнейшей эволюции в качестве открытых термодинамических систем. Мы выдвигаем здесь другой принципиально новый механизм эволюции нейтронной звезды и утилизации космического мусора. Этот механизм связан с процессом аннигиляции нейтронов.

Рассмотрим модельную нейтронную звезду в виде сферы, состоящей из нейтронов, т.е. из полностью вырожденного газа Ферми. Давление  $P$  в таком газе может быть найдено следующим образом [8]

$$P = 2 \frac{\hbar^2}{m_n} \rho^{5/3}, \quad (1)$$

где  $\hbar$  – постоянная Планка,  $m_n$  – масса нейтрона и  $\rho$  – плотность (концентрация) частиц в рассматриваемом газе. Далее, внутренняя энергия  $U$  может быть представлена через давление газа  $P$  и его объем  $V$  [8]:

$$U = (3/2)PV.$$

Представленный здесь квазиклассический подход, основывающийся на уравнении состояния нейтронного газа, рассматриваемого как газ фермионов, позволяет не учитывать непосредственно энергию нейтронного газа в гравитационном поле. Роль гравитационного поля сводится к поддержанию очень высокой плотности нейтронного газа  $\rho$  в выбранной области пространства. Выражение для удельной (в расчете на один нейтрон) внутренней энергии  $u = U/N$  может быть записано в виде

$$u = 2 \frac{\hbar^2}{m_n} \rho^{2/3}. \quad (2)$$

Ниже будут рассматриваться превращения частиц. В связи с этим, следуя квазиклассическому приближению релятивистской термодинамики [9], вместо  $u$  должна рассматриваться полная энергия частицы  $E_1 = m_n c^2 + u$ , где  $m_n c^2$  – энергия покоя. Теперь проблема может быть сформулирована следующим образом: может ли энергия  $E_2 = 2E_1$  пары нейтронов оказаться достаточной, чтобы преодолеть порог образования антинуклона  $E_s$ , соответствующий реакции образования антинейтрона  $\bar{n}$  вследствие столкновения двух нейтронов  $n$  [10]

$$n + n = 3n + \bar{n}. \quad (3)$$

В соответствии с (3)

$$E_s = [(4m_n c^2)^2 - (2m_n c^2)^2] / 2m_n c^2 = 6m_n c^2 = 5.6 \text{ МэВ},$$

т.е. эта энергия много больше, чем энергия покоя нейтрона  $m_n c^2$ . Однако, энергия  $E_2$  также должна быть достаточно большой, и энергетическое условие (3) может быть записано следующим образом

$$2u + 2m_n c^2 = 6m_n c^2. \quad (4)$$

Принимая во внимание уравнение (2), условие (4) можно переписать как уравнение для пороговой критической плотности

$$\rho_s = \frac{m_n^3 c^3}{\hbar^3} = \left( \frac{m_n c}{\hbar} \right)^3.$$

Легко видеть, что рассматриваемая плотность равна обратному значению куба комптоновской длины волны  $\lambda_n = \hbar / m_n c$  нейтрона:

$$\rho_s = \lambda_n^{-3}. \quad (5)$$

Мы полагаем, что полученное соотношение очень важно для физики элементарных частиц и физики высоких энергий, а также для астрофизики. Принимая во внимание, что  $m_n = 939.5 \text{ МэВ}$ , мы находим, что  $\rho_s \approx 10^{39} \text{ см}^{-3}$ , т.е.  $\rho_s \approx 10^{15} \text{ г/см}^3$ . Весьма примечательно, что полученное значение  $\rho_s$  идеально соответствует имеющимся оценкам плотности нейтронной звезды  $10^{14} - 10^{15} \text{ г/см}^3$  [1]. Таким образом, реакция (3) представляется вполне возможной.

В свою очередь, антинейтрон, возникший вследствие реакции (3), может аннигилировать, столкнувшись с другим нейтроном. Аннигиляция пары нейтрон-антинейтрон сопровождается высвобождением энергии  $2m_n c^2 = 1900$  МэВ, которая может быть потрачена на образование  $\pi$ -мезонов или (с меньшей вероятностью) К-мезонов или  $\gamma$ -квантов [10]. Согласно [10], кроме реакции (3), которое имеет место при пороговой энергии 5.6 ГэВ, существует другая реакция



которая характеризуется меньшей пороговой энергии 3.6 ГэВ. Вследствие этой реакции, нейтроны могут трансформироваться в протоны  $p$  посредством следующего процесса



где  $e^-$  – электрон и  $\nu_e$  – электронное нейтрино. Протоны являются ядрами водорода, который, в свою очередь, является наиболее распространенным элементов в нашей Вселенной, термоядерным топливом в обычных горячих звездах. Таким образом, энергия аннигиляции может спровоцировать и поддерживать реакции (3), (6) и (7), т.е. цепной механизм обратной эволюции нейтронной звезды, которая может интерпретироваться, как утилизация космического мусора, т.е. нейтронных звезд, которые, в соответствии с традиционными представлениями, исключаются из обратимых процессов эволюции Вселенной. Следует отметить, что такой процесс не должен идеально соответствовать обратимому процессу в термодинамическом смысле. В частности, он может носить характер взрыва. Разумеется, в рамках данного краткого сообщения мы не можем детально описать и объяснить все аспекты предложенного механизма обратной эволюции электронной звезды.

**Список литературы:**

- 1 Мизнер Ч., Торн К., Уиллер Дж. Гравитация. Т.3. М.: Мир, 1977. 510 с.
- 2 Оппенгеймер Ю., Снайдер Г. О безграничном гравитационном сжатии. // Альберт Эйнштейн и теория гравитации. М.: Мир, 1979. С.153-361
- 3 Самсонов В.М., Петров Е.К. О физической интерпретации сингулярностей центрально-симметричного гравитационного поля. // Письма ЭЧАЯ. 2011. Т.8, №1 (164). С. 223-231.
- 4 Kruskal M.D. Maximal extension of Schwarzschild metric. // Phys. Rev., 1960. V.119. P.1743-1745.
- 5 Vachaspati T., Stojkovic D., Krauss L.M. Observation of incipient black holes and the information loss problem. // Phys. Rev. D, 2007. V.76. P.024005-1–024005-15.
- 6 Самсонов В.М., Петров Е.К. Существуют ли черные дыры? // Вестник ТвГУ. Серия «Физика». 2011. № 37. Выпуск 14. С. 27-37.
- 7 Howking S.W. arXiv:1401.5761.
- 8 Киттель Ч. Статистическая термодинамика. М.: Наука, 1997. 336 с.
- 9 Паули В. Теория относительности. М.: Наука, 1983. С.212-214.
- 10 Мухин К.Н. Экспериментальная ядерная физика. Т. 2. М.: Энергоатомиздат, 1993. 408 с.

**A NEW MECHANISM OF THE COSMIC SLAG RECOVERY**

**V. M. Samsonov, E. K. Petrov**

Tver State University

*Chair of Theoretical Physics*

A new mechanism of the neutron star evolution is put forward not proposing its transformation into a black hole. This mechanism referred to as the cosmic slag recovery relates to the neutron annihilation process. The equation  $\rho_s = \lambda_n^{-3}$  is obtained for the threshold density of the neutron gas which makes it possible the annihilation process in question where  $\lambda_n$  is the Compton wave length of the neutron. It is shown then the value of the neutron. It is shown then the value of  $\rho_s$  corresponds to the typical evaluated value of the neutron star density.

**Key words:** *neutron star, black hole, neutron, annihilation.*

**Об авторах:**

ПЕТРОВ Е.К. –научный сотрудник Тверского государственного университета;

САМСОНОВ Владимир Михайлович – заведующий кафедрой теоретической физики Тверского государственного университета, доктор физико-математических наук, профессор, e-mail: [samsonoff@inbox.ru](mailto:samsonoff@inbox.ru);