

Приближение “оригами” для Космической Паутины

М. Нейринк (США)

Реферат подготовил М.Х. Шульман (shulman@dol.ru, www.timeorigin21.narod.ru)

arXiv:1412.6114v1 [astro-ph.CO] 18 Dec 2014

An Origami Approximation to the Cosmic Web

Mark C. Neyrinck (neyrinck@pha.jhu.edu)

Department of Physics and Astronomy, The Johns Hopkins University, Baltimore, MD 21211

Зельдович ввел в космологию мощный подход к исследованию образования структуры на основе использования лагранжиана. Согласно современной космологической парадигме, 3-мерная ячеистая структура в 6-мерном фазовом пространстве координат-скоростей в момент Большого Взрыва была плоской (с исчезающе малой скоростью). Затем гравитация растянула и связала эту структуру вместе в разных местах, образовав космическую паутину.

В данной статье объясняются некоторые свойства приближения “оригами”¹, в котором структура не растягивается и не сжимается (вообще говоря, во Вселенной это не так), но может складываться. Даже в отсутствие растяжения ячеистая структура может образовывать идеализированную космическую паутину с выпуклыми многогранными пустотами (войдами), разделенными прямыми стенками и нитями, связанными выпуклыми многогранными узлами. Узлы получаются при коллапсе многоугольных или многогранных образований, что-то типа сферического или эллипсоидального коллапса, исключая случай одновременного объединения нитей и формирования стенок. Приближение оригами воспроизводит геометрию в фазовом пространстве узлов, нитей и стенок, что гораздо легче для понимания, а также облегчает понимание корреляции спина между соседними галактиками. Это позволяет работать с кинематическими оригами-моделями, дающими начальные поля скоростей.

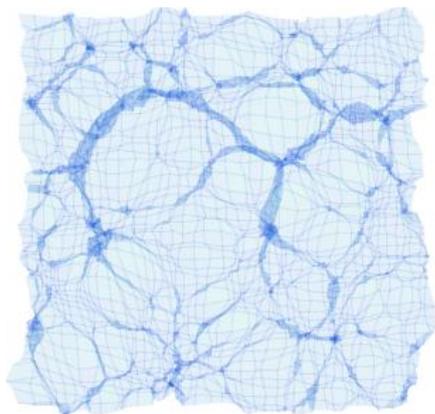


Рисунок 1. Ячеистая структура темной материи в двумерной области размером $200 h^{-1}$ Мпк, искаженная и сложенная согласно приближению Зельдовича. Степень затемнения в каждой области показывает число потоков. Вначале все вершины образовывали решетку, близкую к регулярной. После этого гравитация исказила форму ячеек, заставляя области с плотностью материи чуть больше средней накапливать материю вокруг себя. Узлы соответствуют галактиками или скоплениям галактик.

В текущей парадигме формирования структуры стенки, нити и узлы космической паутины во Вселенной образуют нечто типа оригами-складок ячеистой структуры. В бумажном оригами 2-мерная нерастянутая ячеистая

¹ Оригами: буквально — «сложенная бумага», вид декоративно-прикладного искусства; древнее искусство складывания фигурок из бумаги (Википедия).

структура сложена в 3 направлениях. При космологическом формировании структуры она может быть растянута в 3 направлениях, т.е. в симплектическом 6-мерном фазовом пространстве координат и скоростей. Как и в бумажном оригами, структура непрерывна и не может ни разрываться, ни пересекать себя в 6-мерном пространстве. Эта концепция существенна в основанной на концепции лагранжиана динамике жидкости (в сопутствующей системе отсчета элемента массы, без использования фиксированной пространственной системы координат). Если столкновения в (темной) материи отсутствуют, участки, по которым вычисляется лагранжиан, не могут самопересекаться в координатном пространстве, образуя складки структур.

Рис. 1 показывает пример космической паутины, сложенной из ячеистой структуры бесстолкновительной темной материи, вершины которой были размещены в соответствии с подходом Зельдовича. Это проекция 2-мерной структуры темной материи, располагающейся в 4-мерном фазовом пространстве, если ограничиться пространством координат.

В теории катастроф сингулярности (каустики, или складки), которые могут возникать в этой структуре, могут быть формально классифицированы (Arnold et al., 1982; Hidding et al., 2014). Однако эти описания применимы только к локальной окрестности каустик. В данной статье речь идет о множестве каустик, которые возникают в 'узлах', аппроксимирующих внешнюю геометрию каустик гало.

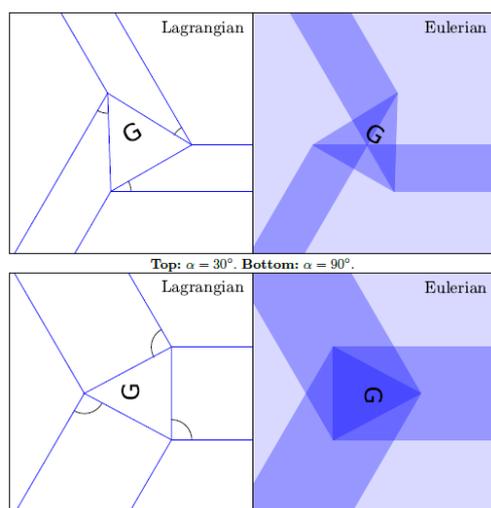


Рисунок 2. Модели треугольного коллапса с различными углами поворота α . Верхние панели показывают коллапс без поворота, ближайший аналог сферического коллапса, если допускается растяжение ячеистой структуры темной материи.

Ссылки

- Arnold, V. I., Shandarin, S. F., and Zeldovich, I. B.: 1982, *Geophysical and Astrophysical Fluid Dynamics* 20, 111
- Demaine, E. and O'Rourke, J.: 2008, *Geometric Folding Algorithms: Linkages, Origami, Polyhedra*, Cambridge University Press
- Diemer, B. and Kravtsov, A. V.: 2014, *ApJ* 789, 1
- Falck, B. and Neyrinck, M. C.: 2014, *MNRAS*, submitted, arXiv:1410.4751
- Falck, B. L., Neyrinck, M. C., and Szalay, A. S.: 2012, *ApJ* 754, 126
- Gjerde, E.: 2008, *Origami tessellations: awe-inspiring geometric designs*, A K Peters
- Hahn, O., Angulo, R. E., and Abel, T.: 2014, *MNRAS*, submitted, arXiv:1404.2280
- Hidding, J., Shandarin, S. F., and van de Weygaert, R.: 2014, *MNRAS* 437, 3442
- Kawasaki, T.: 1989, in *Proceedings of the 1st International Meeting of Origami Science and Technology*, pp 229-237

Kawasaki, T.: 1997, in K. Miura (ed.), *Origami Science and Art: Proceedings of the Second International Meeting of Origami Science and Scientific Origami*, pp 31-40

Neyrinck, M. C.: 2014, submitted for refereeing to the *Proceedings of the 6th International Meeting on Origami in Science, Mathematics, and Education*

Pichon, C. and Bernardeau, F.: 1999, *A&A* 343, 663

Shandarin, S. F. and Medvedev, M. V.: 2014, arXiv:1409.7634