

Probing Cosmology via Morphology: Redshift-Space distortions and Massive Neutrinos Imprint

Seyed Mohammad Sadegh Movahed^{1,2}

¹ Department of Physics, Shahid Beheshti University, 1983969411, Tehran, Iran

² School of Astronomy, Institute for Research in Fundamental Sciences, P. O. Box 19395-5531, Tehran, Iran

<http://facultymembers.sbu.ac.ir/movahed/>

<http://ccg.sbu.ac.ir/>

The intersection of algebraic topology and computational geometry with powerful algorithms provides unrivaled sets in the ultra-precision data era. Traditionally, when we are dealing with morphology, we are interested in utilizing those measures that are satisfying in conditions such as *motion invariance*, *additivity*, and *conditional continuity* in the sense of Hadwiger's theorem. While relaxing the mentioned terms, allows us to introduce novel and useful measures that are appropriate for evaluating anisotropy in the presence of non-Gaussianity and we call it the weighted morphology. Also, the morphological measures, enables us to elucidate any high-dimensional data using low-dimensional algebraic representations. Cosmological and astrophysical fields such as Large-scale structures (LSS), Gravitational wave (GW), CMB, etc. are some appropriate cases to implement the topological- and geometrical-based analysis. Particularly, one can point out to some applications of the morphological notion as: removing or reducing degeneracies, putting pristine constraints on the parameters, and distinguishing between different theories.

In this talk, I will give a brief review of the various categories of geometrical and topological measures in the context of morphology, and then I will explain the theory- and data-based modeling in cosmology. For the first example, I will go through the LSS emphasizing on the red-shift space and corresponding distortion (RSD). After introducing new measure named "conditional moments of the first derivative" (cmd), I derive the perturbative expansion of the cmd. My criteria can successfully recognize the contribution of linear Kaiser and Finger of God effects. As the second case and motivated by various theoretical approaches for evaluating the neutrino oscillation and associated masses, I will focus on the N-body simulations for the Quijote suite modified by the Massive Neutrinos. Utilizing the super-level filtration of various 3-dimensional density fields, the Persistent Homology are computed.

The Fisher forecasts indicate an almost significant enhancement in constraining the cosmological parameters, dark matter energy density, fluctuation of matter density at 8Mpc/h, and initial scalar spectrum index and total mass of massive neutrinos, when using weighted morphological and Persistent Homology measures. Also, the higher dimensions of Betti-numbers are proper indicators to reveal the impact of massive neutrinos.

The take-home message of my talk is that incorporating the morphology of fields would open a promising window to make proper indicators for breaking degeneracies and constraining the free parameters in various fields, particularly in cosmology.

References:

- [1] Mohammad Hossein Jalali and **S. M. S. Movahed**, "Probing the anisotropy and non-Gaussianity in redshift space by derivative of excursion set moments", The Astrophysical Journal 963.1 (2024): 31.
- [2] Mohammad Hossein Jalali, Saeed Ansarifard and **S. M. S. Movahed**, "Imprint of massive neutrinos on Persistent Homology of large-scale structure", arXiv:2311.13520;
- [3] H. Masoomy, S. Tajik, and **S. M. S. Movahed**, "Homology groups of embedded fractional Brownian motion", Physical Review E 106.6 (2022): 064115.
- [4] H. Masoomy, B. Askari, M. N. Najafi and **S. M. S. Movahed**, "Persistent homology of fractional Gaussian noise", Physical Review E, 104.3 (2021):034116.

بررسی کیهان‌شناسی با استفاده از ریخت‌شناسی: اعوجاجات فضای انتقال به سرخ و

اثر نوترینوهای جرم‌دار

سید محمد صادق موحد^{۱، ۲}

^۱ دانشکده فیزیک دانشگاه شهید بهشتی، ۱۹۸۳۹۶۹۴۱۱، تهران

^۲ پژوهشکده نجوم، پژوهشگاه دانش‌های بنیادی (IPM)، صندوق پستی ۱۹۳۹۵-۵۵۳۱، تهران

<http://faculty.members.sbu.ac.ir/movahed/>

<http://ccg.sbu.ac.ir/>

چکیده

تلاقی توپولوژی جبری و هندسه محاسباتی با الگوریتم‌های قدرتمند مجموعه‌های بی نظیری را در عصر داده‌های فوق دقیق ارائه می‌دهد. به طور سنتی، زمانی که ما با ریخت‌شناسی سروکار داریم، علاقه‌مندیم که از معیارهایی استفاده کنیم که ویژگی‌هایی مانند ناوردایی حرکتی، جمع‌پذیری و تداوم شرطی به معنای قضیه هادویگر را ارضاء کنند. اما اگر اجازه دهیم که برخی از ویژگی‌های مذکور وجود نداشته باشند در آن صورت، این امکان فراهم می‌شود که معیارهای جدید و مفیدی را برای ارزیابی ناهمسانگردی در حضور ناگاسیت، معرفی کنیم. ما آن را ریخت‌شناسی وزنی می‌نامیم. همچنین اندازه‌گیری‌های ریخت‌شناسی، ما را قادر می‌سازد تا داده‌ها با ابعاد بالا را با استفاده از نمایش‌های جبری کم‌بعد، توصیف کنیم. میدان‌های کیهانی و اخت‌فیزیکی مانند ساختارهای مقیاس بزرگ (LSS)، موج گرانشی، CMB و غیره برخی از موارد مناسب برای اجرای تحلیل‌های توپولوژیکی و هندسی هستند. به ویژه می‌توان به برخی از کاربردهای مفهوم ریخت‌شناسی به صورت زیر اشاره کرد: حذف یا کاهش تبهگنی‌ها، مقیدسازی پارامترها، و تمایز بین نظریه‌های مختلف.

در این سخنرانی، به بررسی مختصری از دسته‌های مختلف اندازه‌گیری‌های هندسی و توپولوژیکی در زمینه ریخت‌شناسی می‌پردازم و سپس مدل‌سازی مبتنی بر نظریه و داده در کیهان‌شناسی را توضیح می‌دهم. برای مثال اول، LSS را با تاکید بر فضای انتقال به سرخ و اعوجاج مربوطه (RSD)، را مرور خواهیم کرد. پس از معرفی معیار جدیدی به نام "ممان‌های شرطی مشتق اول" (cmd)، بسط اختلالی cmd را استخراج می‌کنم. معیار ما می‌تواند با موفقیت سهم اثرات خطی کاینر و اثر انگشت خدا را تشخیص دهند. به عنوان مورد دوم و با انگیزه رویکردهای نظری مختلف برای ارزیابی نوسانات نوترینو و جرم‌های مرتبط، بر شبیه‌سازی‌های N-body برای مجموعه Quijote اصلاح شده توسط نوترینوهای جرم‌دار تمرکز خواهیم کرد. با استفاده از فیلتراسیون بالای تراز میدان‌های چگالی سه بعدی مختلف، همسانی پایدار محاسبه می‌شود.

پیش‌بینی‌های فیشر هنگام استفاده از معیارهای ریخت‌شناسی وزنی و همسانی پایدار، حاکی از بهبود تقریباً قابل توجهی در محدود کردن پارامترهای کیهانی مانند چگالی انرژی ماده تاریک، نوسان چگالی ماده در 8Mpc/h ، و شاخص طیف اسکالر اولیه و جرم کل نوترینوهای جرم‌دار است. همچنین، ابعاد بالاتر اعداد بتی شاخص مناسبی برای آشکار کردن تأثیر نوترینوهای جرم‌دار است. پیام اصلی صحبت من این است که ترکیب ریخت‌شناسی میدان‌ها دریچه امیدوارکننده‌ای را برای ایجاد شاخص‌های مناسب برای شکستن تبهگنی‌ها و محدود کردن پارامترهای آزاد در زمینه‌های مختلف، به ویژه در کیهان‌شناسی باز می‌کند.