

世界最大宇宙中微子数值模拟研究

宇宙大尺度结构是测量中微子质量和判定中微子质量顺序的重要手段，其关键问题在于精确计算中微子对大尺度结构的影响、以及精准的测量方法。目前 N-Body 数值模拟是研究宇宙晚期非线性尺度最有效的方法。

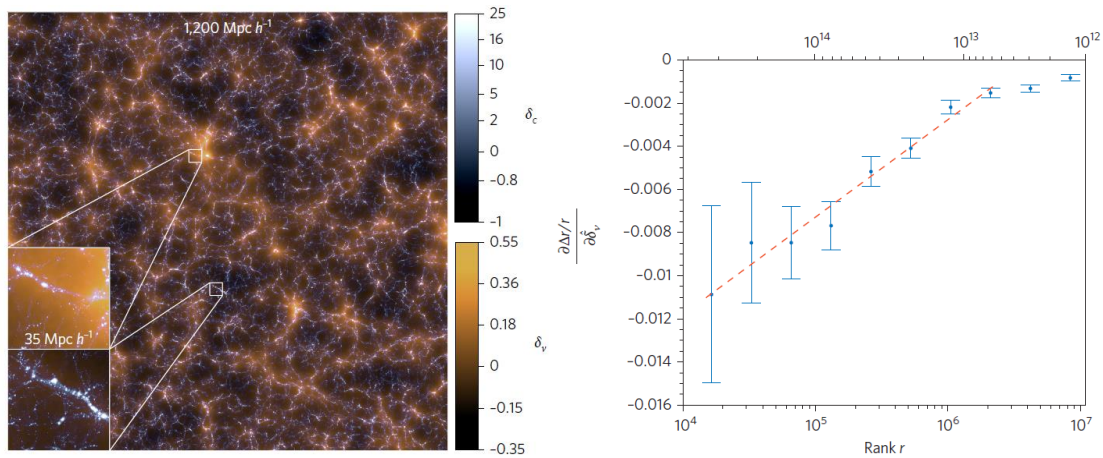
中微子由于其速度相对于暗物质而言较高，因此会通过自由穿梭效应压低小尺度的结构形成，既压低其功率谱，不同质量的中微子压低程度也不同。中微子的宇宙学效应要求在暗物质存在条件下精确计算其非线性结构演化和功率谱，并且需要利用极大数目的粒子进行模拟以压低中微子分布的泊松噪声，以达到区分不同质量的中微子的微小宇宙学效应，这要求克服计算机巨大的内存消耗和计算量。“天河二号”超算以其 5.49 亿亿次/秒的峰值浮点运算速度、1.4P 内存的高性能，连续 6 次登上最新全球超算 500 强榜首，其超快的计算速度和巨大内存能够克服上述数值模拟计算上的困难。

北京师范大学天文系张同杰团队作为核心团队与加拿大 CITA、北京大学、国家天文台和高能所以及“天河二号”超算团队合作，利用 CUBEP^{3M} 程序，在“天河二号”超算上开展了中微子数值模拟研究，旨在为在宇宙学观测上限制中微子质量顺序及其绝对质量提供理论依据。2015 年团队启用了“天河二号”全系统(16000)的 14000 个节点，累计 CPU 计算时间 96 小时，成功地运行了暗物质和暗物质+中微子(质量 $m=0.05\text{eV}$) 两组世界上粒子数最高的 3 万亿(Trillion)粒子的数值模拟，创造了新的世界纪录。

数值模拟生成共计约 2P 的数据量。经过一年多对数据的处理和分析，团队首次发现了以往任何宇宙学数值模拟测量不到的宇宙结构的 Differential Neutrino Condensation [中微子微分凝聚]效应：中微子质量可以通过对比宇宙中含有不同中微子丰度(即本地中微子与暗物质密度比)的区域中星系的特性来测量。相对于“贫”中微子区域，在“富”中微子区域，更多的中微子被大质量暗物质晕俘获，这种凝聚效应导致暗物质晕的质量函数的扭曲，最终导致星系的特性发生变化。因此这种凝聚效应在当今和将来的宇宙学观测中开辟了一条独立测量中微子质量的道路。

2017 年研究成果发表在 Nature Astronomy 上引起广泛关注，并被

同行引用，也被中央电视台、人民日报、光明日报、科技日报、新华网、凤凰网、人民网和科学网等媒体多次报道和转载。



图注. 左图: 中微子数值模拟二维分布。蓝白色代表暗物质分布, 橙色代表中微子分布。两幅特写小图表明: 在相似的暗物质分布的两个区域中, 中微子与暗物质密度之比却不同。右图: 中微子微分凝聚效应。横轴 r 是暗物质晕的质量顺序, r 越小质量越大。纵轴代表有无中微子两组数值模拟的暗物质晕对(pair)的质量顺序的相对变化相对于中微子密度比(密度比较大为“富”中微子区域, 小则为“贫”中微子区域)的微分。暗物质晕质量越大中微子凝聚效应越显著; 质量越小则反之。

发表文章

Yu, Hao-Ran; Emberson, J. D.; Inman, Derek; **Zhang, Tong-Jie**(通讯作者); et al
2017, **Nature Astronomy**, Volume 1, id. 0143 (<https://www.nature.com/articles/s41550-017-0143>)
(arXiv:1609.08968)
Differential Neutrino Condensation onto Cosmic Structure

媒体报道

1. 电视: CCTV-新闻直播间:“天河二号”超级计算机 3 万亿粒子数字宇宙中微子数值模拟
<http://tv.cntv.cn/video/C10616/48ce975f6f9546a2b37aba23a19ea261>

2. 报纸

[1]科技日报 2017 年-第 1 版

http://digitalpaper.stdaily.com/http_www.kjrb.com/kjrb/images/2017-06/14/01/DefPub2017061401.pdf

[2]人民日报-第 12 版: 文化 2015 年 5 月 14 日- 人民日报海外版-第 4 版

http://paper.people.com.cn/rmrbhwb/html/2015-05/14/content_1564707.htm

[3]光明日报-第 1 版

http://epaper.gmw.cn/gmrb/html/2015-05/16/nbs.D110000gmrb_01.htm

[4]中国科学报-第 1 版

http://news.sciencenet.cn/dz/dznews_photo.aspx?id=23138

3. 网络

科学网 <http://news.sciencenet.cn/htmlnews/2015/5/319105.shtm>

新华网 http://news.xinhuanet.com/2015-05/13/c_1115275115.htm

凤凰网 http://news.ifeng.com/a/20150516/43768652_0.shtml

人民网 <http://military.people.com.cn/n/2015/0514/c1011-26998593.html?t=1431702212002>