
“东方”超级计算系统助力格点QCD研究

作者：writer 来源：中国科学院

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/20627.html>

本文仅供学习交流之用，版权归原作者所有，请勿用于商业用途！

“东方”超级计算系统助力格点QCD研究。

“东方”超级计算系统是中国科学院新一代超级计算机。基于该系统的强大算力，LPC合作组完成了最大3亿格点数的大规模模拟计算，为量子多体问题中高能物理实验密切关注的物理量作出第一性原理预言提供了证实数据。

在处理量子多体问题时，具有噪音的NISQ量子计算机有望在几十个量子比特的特定问题上具有超出经典计算的能力，实现量子霸权；以2022年的戈登-贝尔奖为例，结合优秀的经典算法与超级计算机，也能打破量子霸权。在自由度提高到数百万甚至上亿的量子多体问题中，量子霸权理论上一定存在，但对应的量子计算机目前无法制造出来。从而这样的量子多体问题只能通过超级计算机进行经典模拟。

描述夸克和胶子这样的基本粒子如何形成质子和中子的格点量子色动力学(QCD)，就是这种目前无法用量子计算机模拟的超高自由度量子多体问题。格点量子色动力学(QCD)通过研究虚时间上的四维格点系统，可以部分地绕过随自由度指数增加的“维数灾难”，对部分子分布函数(PDF)、横向动量分布(TMD)以及介子光锥分布振幅(LCDA)等高能物理实验密切关注的物理量作出第一性原理预言。

格点上计算PDF、LCDA和TMD需要在多种格距、不同格点数的格子上进行高精度计算。同时，只有精确消除随格距减小指数增长的短程发散，才能得到可靠的连续极限预言。而将格点QCD计算边长增加一倍或者将格距缩小一倍，会带来在计算资源上16倍以上的开销。除了算法上的突破改进，只能通过使用更为强大的超级计算机来解决LQCD计算对计算资源的需求。

“东方”超级计算系统具有强大算力，LPC合作组基于该系统完成了最大3亿格点数的大规模模拟计算，证实结合Wilson圈的平方根与短距离强子矩阵元，可以有效地消除准TMD算符中所有短程发散，并在短程时与解析计算结果一致(图1)；同时基于最大2亿格点数的大规模计算，可以得到图2所示的LCDA理论预言。近日，两项研究成果发表在Physical Review Letters上。

LPC合作组成立于2019年，包括中科院理论物理研究所、近代物理研究所、以及上海交通大学和德国雷根斯堡大学等，立足中国国内格点QCD研究人员和超算资源开展强子结构的研究。LPC合作组由理论物理所研究员杨一玻担任发言人，为合作组的LQCD计算提供架构和方案设计、以及数值计算培训。依托中科院战略性先导科技专项与“东方”超级计算系统的支持，合作组自成立以来已发表七篇论文(Phys.Rev.Lett. 4篇，Phys.Rev.D 2篇，Nuc.Phys.B 1篇)。

“东方”超级计算系统是中科院新一代超级计算机，由中科院计算机网络信息中心运行管理。系

统基于X86架构的国产处理器和类GPU架构的国产加速卡，融合了计算机体系结构、高效制冷、高速网络、海量存储等方面的最新研究成果，突破了传统冷却方式，攻克了制约产业发展的能耗瓶颈，支撑了高性能计算、AI、大数据等在天文、海洋、材料等领域的应用，为科学探索、产业升级等提供支撑。

图1.使用短程减除方案(右图)对准TMD矩阵元进行重整化的结果，不同颜色表示不同格距，颜色越暖格距越小。如图所示，短程减除方案可以得到收敛而与解析计算(虚线)在短程精确一致的结果。

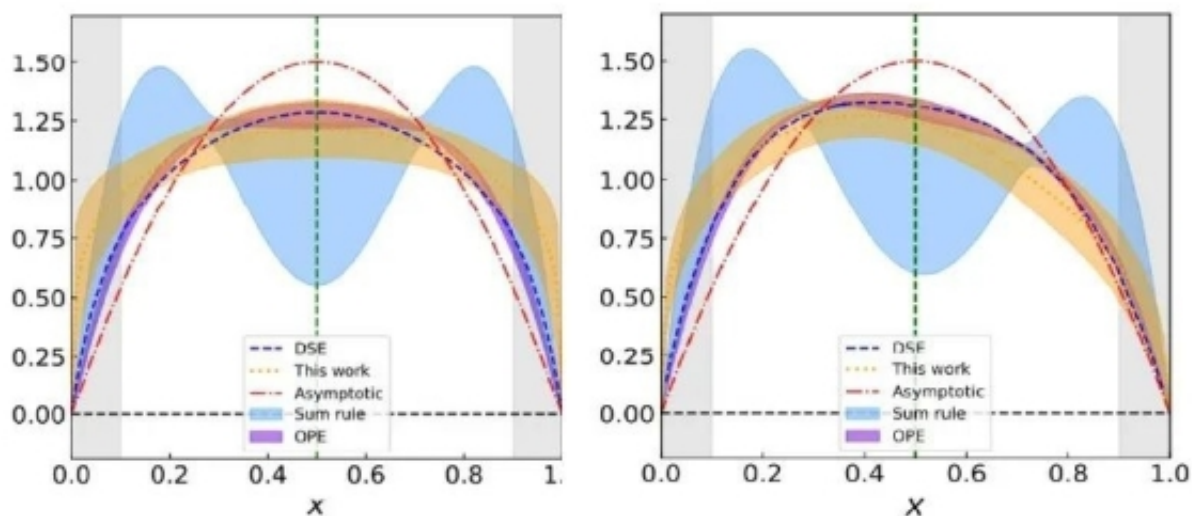


图2.格点QCD基于大动量有效理论对 π 介子(左图)和K介子(右图)的光锥分布振幅作出的预言(黄色条带)，已外推到连续极限与大动量极限。与介子的情形不同， π 介子的光锥分布振幅具有较为明显的不对称性。对于目前计算中使用的强子动量， $x < 0.1$ 与 $x > 0.9$ 区域的内秉能标过低，从而无法通过大动量有效理论给出可靠预言。

研究团队单位：计算机网络信息中心

更多 科学进展 请访问 <https://www.iikx.com/news/progress/>

本文版权归原作者所有，请勿用于商业用途，[爱科学iikx.com](http://www.iikx.com)转发