上海天文台等构建天体物理喷流的解析模型

作者：writer 来源：中国科学院

本文原地址：https://www.iikx.com/news/progress/12685.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！

天体物理喷流是一类普遍的天文现象，等离子体离开一个“狭小”的天体空间，形成宽度很小的聚束向外发射出去，形似一把“光剑”插入宇宙深空。喷流传播距离最远可达初始半径的100亿倍以上，其速度最大可达到光速的99.99%。学界普遍认为，喷流如何产生、加速和准直，是天体物理未解决的核心问题之一。

近日，中国科学院上海天文台研究员陈亮和University of Nevada Las Vegas教授张冰合作，在上述问题的研究中取得进展，构建了磁主导喷流的通用解析模型，定量解析地刻画了喷流的所有性质（包括磁场、速度、密度、电流和电荷等的三维分布），这意味着描述了喷流的产生、加速和准直整个过程。相关研究成果以《天体物理磁主导喷流和风的解析解：喷流的产生、加速和准直》（*Analytical Solution of Magnetically Dominated Astrophysical Jets and Winds: Jet Launching, Acceleration, and Collimation*）为题，发表在《天体物理学杂志》（*The Astrophysical Journal*）上。

人类在100多年前发现了宇宙中的喷流现象；50多年前开始对喷流开展大规模研究，这主要得益于当时射电天文望远镜的空前发展。学界普遍认为，磁场在整个喷流过程中发挥重要作用。描述磁主导喷流的最核心方程是维持其径向动力学平衡的方程，其被称为“脉冲星”方程（无力条件成立时），其在20世纪60年代就已建立，但由于该方程是一个高度非线性方程和具有奇点特性，即使通过数值方法也不易进行求解。

随着计算机能力的提升，利用大规模数值模拟研究喷流问题得到迅速发展，增加了学界对喷流物理的理解。然而，数值方法的复杂性导致其结果不易定量解释不断累积的各类观测数据。

该研究中，受数值模拟启发，研究人员将“脉冲星”方程一分为二，形成描述旋转项和非旋转项的两个方程，并发现它们不但存在解析解，而且互相吻合。基于此近似解析解，研究人员进一步构建了喷流的解析模型，定量解析地刻画了喷流的所有性质。从定性上来说，喷流形成之初，强大的磁场像一根坚硬的钢丝绳被致密天体系统带着旋转。等离子体几乎不能横穿磁力线运动，只能被束缚、冻结在磁力线上，沿其自由滑动。旋转的磁力线通过离心力将冻结于磁力线上的等离子体甩出去，产生喷流。此时，喷流中的旋转磁场以极向主导，等离子体以环向运动主导。随着喷流向外传播，磁场不断衰减，由于磁场强度不同产生的磁压梯度力，不断加速喷流。随着磁场能逐渐转化为喷流的动能，磁力线变得扭曲环绕起来。在跨过被称为“阿尔文面”的特征面后，磁力线几乎扭曲到以环向主导，而喷流逐渐体现为以极向主导，即喷流主要沿远离致密星系统的方向向外运动。

该解析模型与已有的数值理论结果一致，其还能够应用于黑洞、中子星等致密星系统，用于解释活动星系核、伽玛射线爆和脉冲星等天体的主要观测现象，如喷流轮廓、喷流的加速、周期性光

变、结构化喷流及脉冲星喷流的产生和其极高的星风速度等；预言了更丰富的现象，等待学界检验。该解析模型注重抓主要矛盾，未考虑诸如局域不稳定性等细节问题；而数值模拟像开展基于不同参数设置的实验研究，考虑了不同情况的细节。解析模型和数值模拟相互补充，解析模型有助于理解数值模拟并为其提供检验，数值模拟为解析模型增加了更多的细节测试和描述。

论文链接

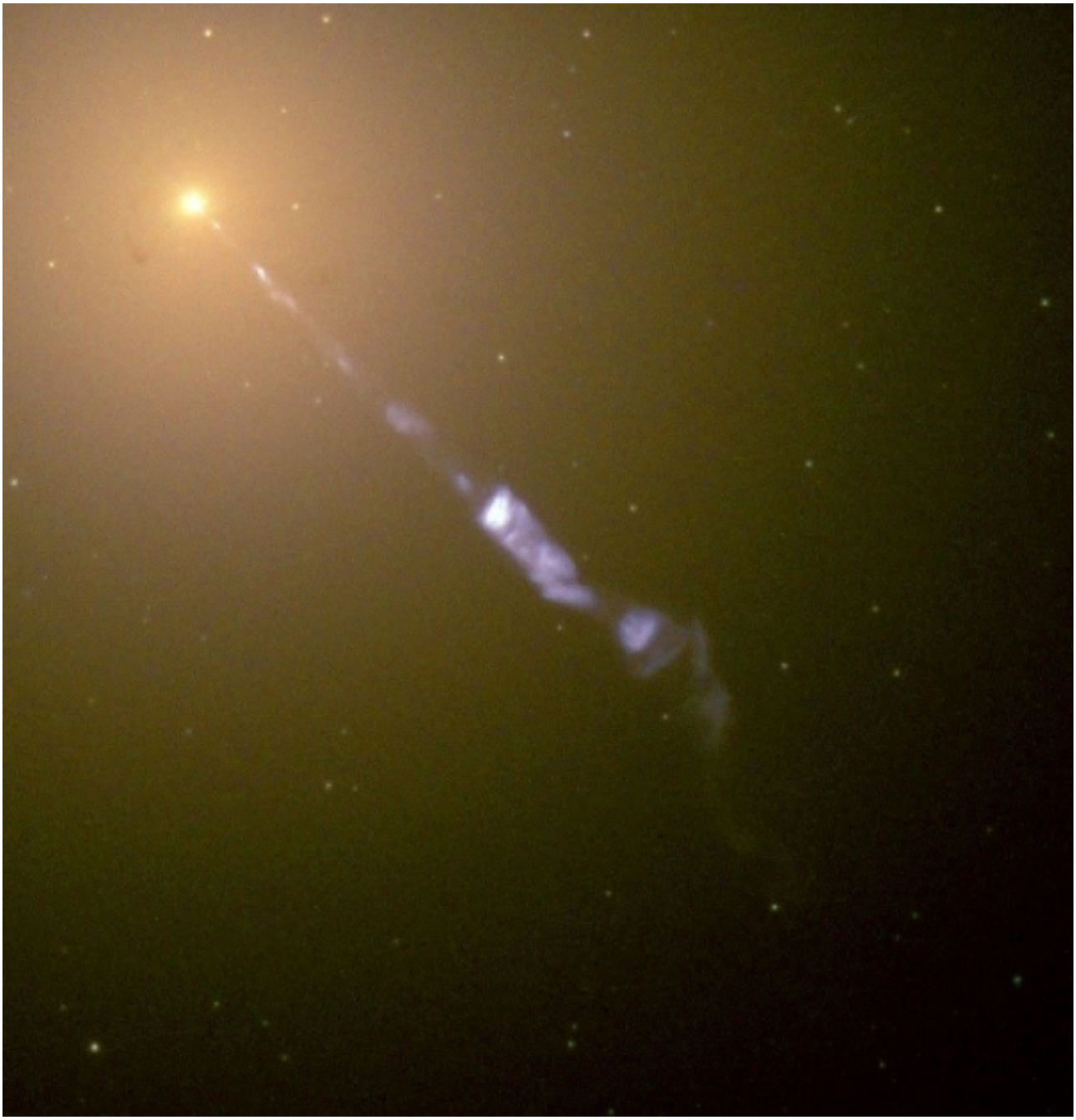


图1.M87喷流，图片版权：NASA、ESA和哈勃遗产场团组（STScI/AURA）

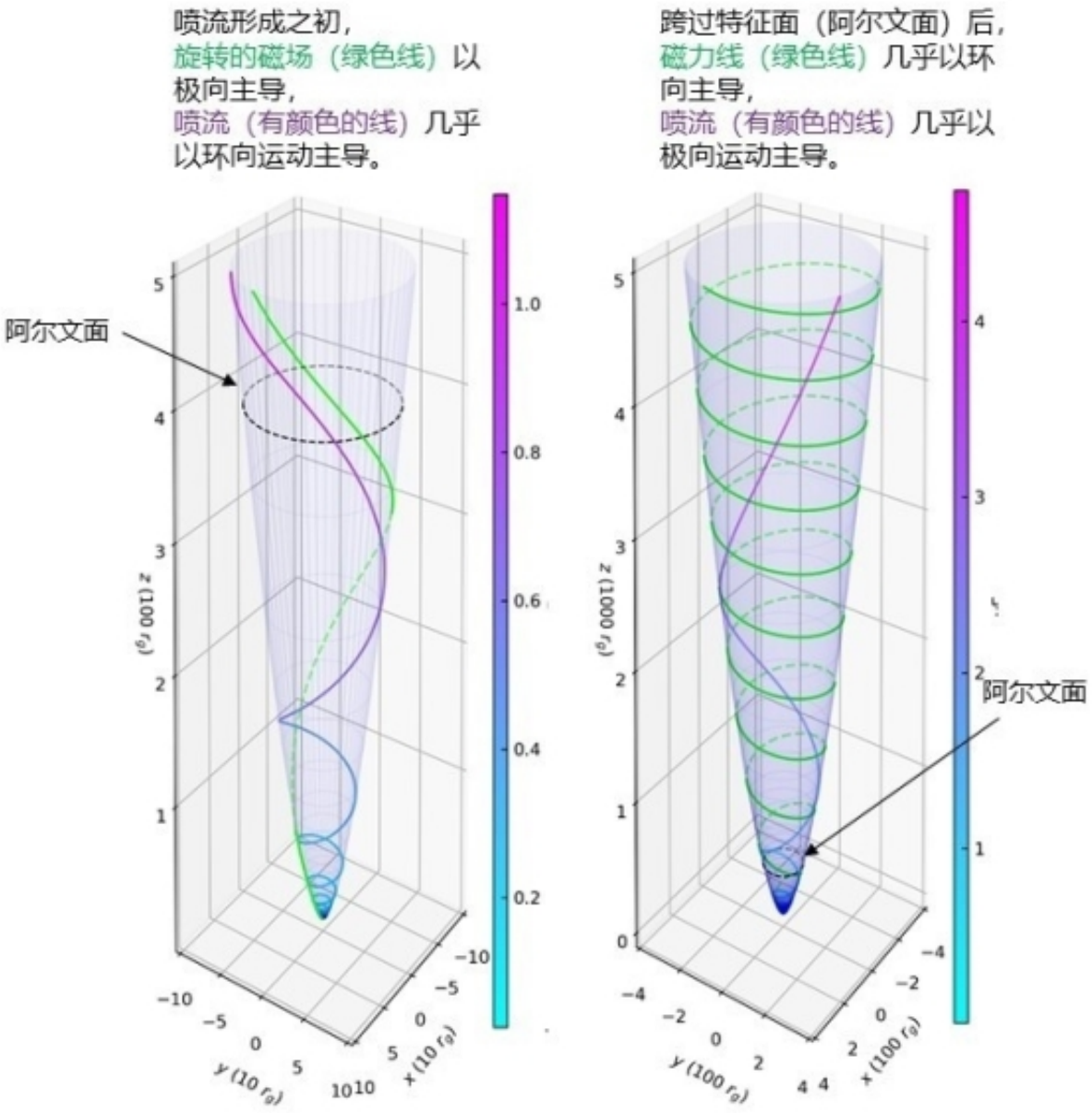


图2.黑洞自旋a=0.1产生的喷流，其中绿线代表磁力线；有颜色的线表示喷流中等离子体的轨迹线，不同颜色对应不同速度，颜色越紫，速度越接近光速

研究团队单位：上海天文台

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转发