

[首页 / 教学科研](#)

地空学院田晖和Tanmoy Samanta等在《科学》发文揭示太阳针状物的产生机制和加热过程

2019/11/17 信息来源：地球与空间科学学院
 编辑：白杨 | 责编：凌薇

近日，北京大学地球与空间科学学院田晖教授和Tanmoy Samanta博士等人利用大熊湖天文台1.6米口径太阳望远镜和空间太阳观测卫星提供的数据在日冕加热领域取得重要进展。其研究揭示了太阳针状物的产生机制和加热过程，论文于2019年11月15日发表在*Science*杂志上，题目为“Generation of Solar Spicules and Subsequent Atmospheric Heating”。

日冕是太阳的外层大气，最早是在日全食的时候被发现的。当月亮完全挡住太阳的盘面，微弱的日冕辐射就能够被地球上的人们所观测到。上世纪中叶，人们通过日全食的观测发现日冕中存在高次电离的铁离子，如 Fe^{9+} 、 Fe^{13+} 等，从而推断日冕的温度高达百万度，比太阳表面（光球）的温度高两个数量级以上。由于太阳向外辐射的能量来自太阳内部核心区域的核聚变反应，按照热力学第二定律，离太阳核心越远温度应该越低。打个比方，当人们烤火时，离火越远，温度越低。从太阳核心往外到光球层，这个规律确实是满足的，温度从约1500万度下降到5700度。然而从光球往外，温度却反常升高，到日冕甚至达到百万度的量级。如此高温的日冕是如何产生和维持的？这就是日冕加热的问题，它是太阳物理和空间物理领域长期以来未能解决的难题之一，并于2012年被*Science*杂志选为当代天文学的八大未解之谜之一。

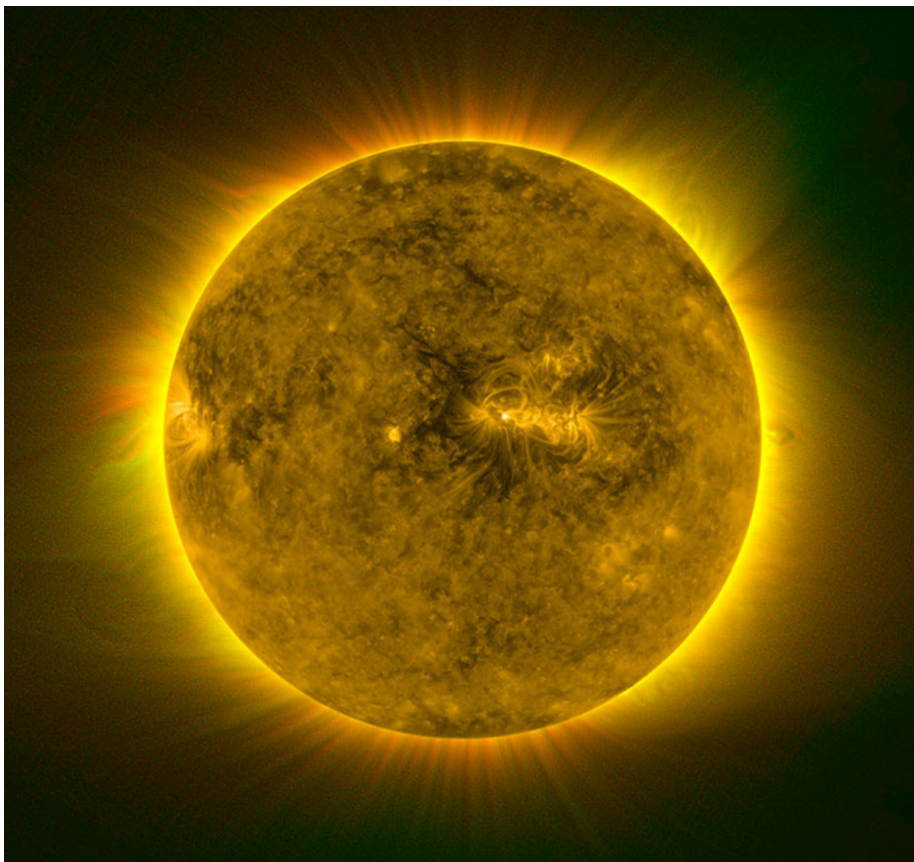


图1 2017年日全食期间，北京大学拍摄的日冕红线图像与云南天文台拍摄的日冕绿线图像、美国SDO卫星拍摄的日面图像拼接而成的日冕图像（Chen, Tian, Su, et al. 2018, *ApJ*）

田晖及其合作者长期从事日冕加热的相关研究工作。近年来，基于对地基大口径太阳望远镜和空间太阳观测卫星所获取的高分辨率科学数据的详细分析，他们发现，太阳低层大气里小尺度的普遍性喷流可能是理解日冕加热过程的关键。这些普遍性喷流中，最典型的当属位于太阳表面和日冕之间的所谓针状物（Spicules）。这些针状物的宽度通常只有200千米左右（太阳半径约70万千米），它们间歇性地从太阳表面往外喷射到日冕中，就像喷泉一样。任何时候，太阳表面上存在约百万个这种针状物。界面层成像光谱仪卫星（IRIS）的观测表明，很大一部分针状物至少被加热到了10万度左右（Tian et al. 2014）。此外，一些观测也显示，部分针状物可能会被进一步加热到百万度的量级。这些研究表明，针状物在日冕的物质和能量供应中起到了非常重要的作用，其产生和传输过程是理解日冕加热关键。

然而迄今为止，人们对针状物的产生机制仍不了解。许多太阳物理学者根据自己的认识，提出了多种针状物产生的图像或理论模型，这些模型中的核心物理过程包括慢激波、阿尔芬波、中性气体与电离气体之间的相互作用、

最新新闻

- 03
2020.02
 教育学院开启在线直播授课模式 保障推迟开学期间教学任务
- 03
2020.02
 北大学生云战“疫” 信息报送平台今日上线
- 03
2020.02
 北京大学党委统战部致全校统一战线成员的一封信
- 03
2020.02
 统一部署 上下联动——北大全力构建抗击疫情防线
- 03
2020.02
 燕园街道党工委致回社区报到的党员的倡议书

专题热点



[庆祝新中国成立70周年专题网站](#)

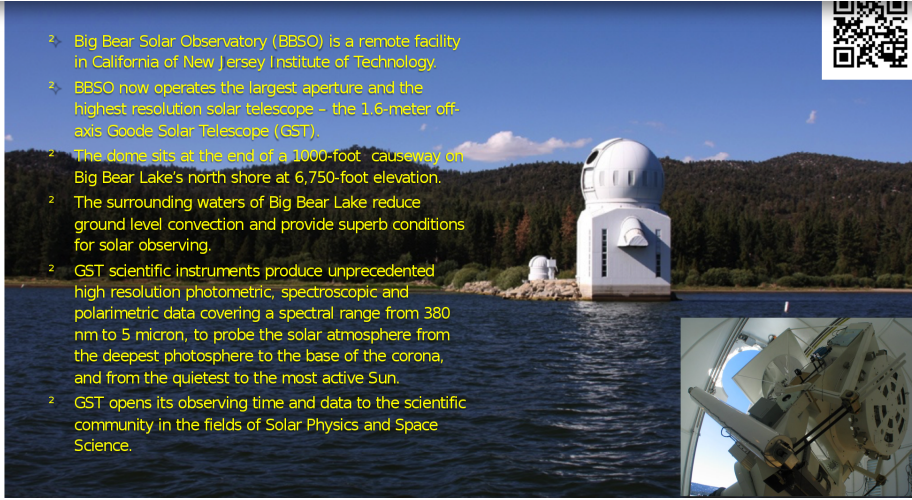


图2大熊湖天文台的古迪太阳望远镜（曹文达教授和Philippe Henarejos提供）

大熊湖天文台新一代古迪太阳望远镜(GST) (Cao et al. 2010) 口径1.6米，是目前世界上正在运营的最大口径的太阳望远镜(图2)，其得天独厚的观测台址和强大的观测仪器设备，为攻克该项极具挑战的研究课题提供了可能。在国家自然科学基金和中科院国家天文台太阳物理TAP项目等的支持下，田晖课题组与大熊湖天文台通力合作，利用GST对太阳宁静区（除去黑子及其周围谱斑以外的区域）针状物的产生机制和加热过程进行了成功的观测（图3）。利用氢原子H α 谱线，课题组对针状物进行了高时间（约3.5秒）和高空间分辨率（约45千米）的成像观测研究。通过测量铁原子1.56微米谱线的偏振轮廓，课题组获得了光球深处磁场演化的高质量数据，磁图的空间分辨率达150千米左右。在详细分析数据后，课题组发现，不同极性磁场结构之间的相互作用与针状物的产生紧密相关。这些针状物通常产生于太阳上一种对流单元边界处的强磁场区域（称为网络组织）附近（图4）。当网络组织附近出现相反极性的小尺度弱磁场结构时，通常便会产生针状物。一些相反极性的磁场结构在与网络磁场靠近的过程中逐渐变小并最终消失，在此过程中观测到伴随的针状物活动。

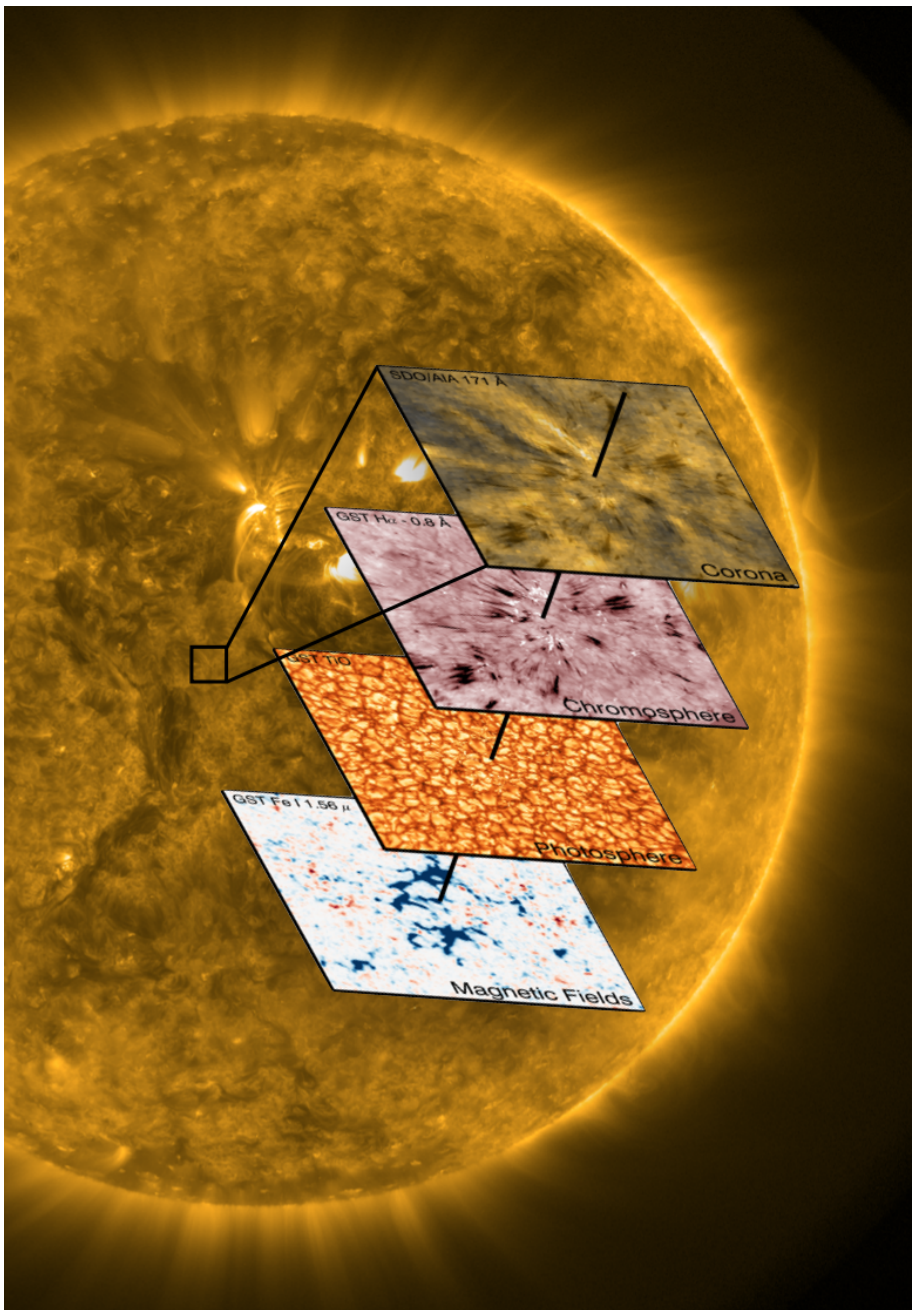


图3GST望远镜和SDO卫星对太阳大气不同层次的协同观测结果 (Samanta, Tian, Yurchyshyn, et al. 2019, Science)

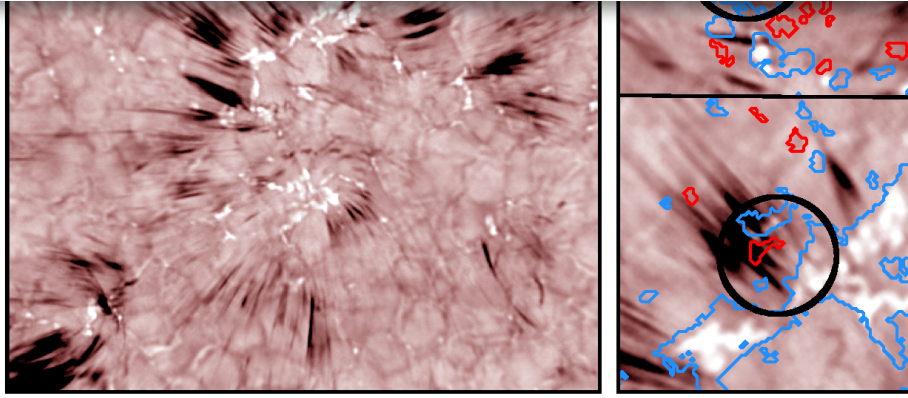


图4针状物与磁场演化之间的关系。左图为H α 谱线观测的针状物（细长的暗结构）。右图展示了针状物由相反极性磁场结构之间的相互作用所产生，蓝色和红色代表视向磁场分量的不同极性（Samanta, Tian, Yurchyshyn, et al. 2019, *Science*）

这些观测结果为磁重联驱动针状物的观点提供了强有力的支持。磁重联是等离子体中磁场拓扑结构发生改变，导致磁场的能量释放出来加热和加速物质的一种物理过程。太阳上普遍存在小尺度的磁流浮现（即磁场结构从太阳内部上浮到太阳大气中）过程。当这些新浮现出来的小尺度磁场结构靠近强磁场的网络组织，并且二者接触面上磁场极性相反时，磁重联便可能发生。磁重联将位于低层大气的物质加速往外抛出，形成针状物。这与当前最流行的两种针状物产生机制（磁流体激波、中性与电离成分之间的相互作用）截然不同。

太阳动力学天文台卫星（SDO）上搭载的大气成像望远镜（AIA）（Lemen et al. 2012）也对GST的观测区域进行了观测。该望远镜可对日冕的极紫外辐射进行高灵敏度的观测。其数据显示，针状物上端出现了增强的171 Å辐射（主要来自Fe⁸⁺离子，产生于一百万度左右的环境中），表明针状物在传播过程中被加热到了百万度的量级（图5）。过去对太阳边缘和日面活动区（黑子周围区域）的少数观测显示，太阳低层大气的喷流能导致局地日冕的加热（De Pontieu et al. 2011; Ji et al. 2012）。本次对日面上最普遍的宁静区的观测表明，针状物被加热到日冕温度是一种普遍现象，研究日冕加热不能不考虑针状物的贡献。

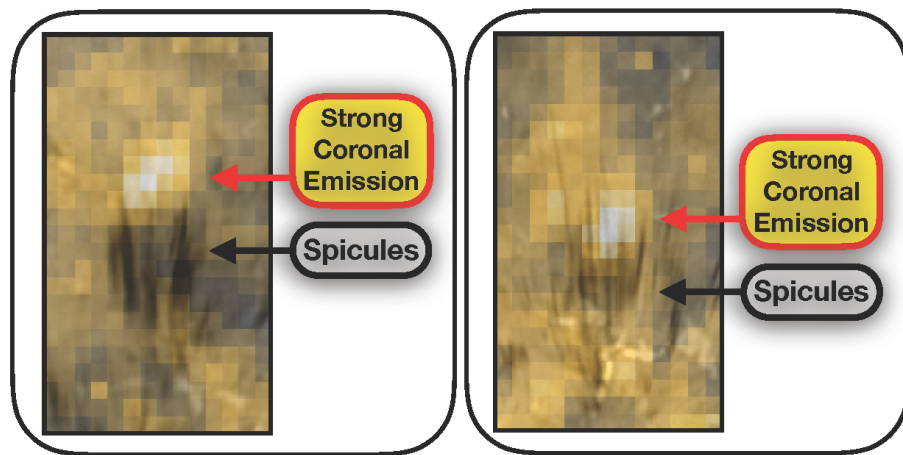


图5针状物被加热到日冕温度。图中黑色部分为H α 谱线观测的针状物，黄色部分为AIA 171 Å波段观测的日冕辐射。图中展示的两个例子均显示针状物上端出现增强的日冕辐射（Samanta, Tian, Yurchyshyn, et al. 2019, *Science*）

这一研究将太阳低层大气中的磁活动与日冕加热直接联系起来，这得益于地基和空间望远镜对太阳大气不同层次（不同温度）的协同观测。未来3年，我国的先进天基太阳天文台（ASO-S）、欧洲的太阳环绕器（Solar Orbiter）、印度的Aditya-L1等卫星将要发射，美国的4米口径太阳望远镜DKIST也将于明年正式投入运营，这些大设备将在多个电磁波段对太阳大气进行高分辨率和高灵敏度的观测，必将帮助我们进一步深入理解日冕加热与低层大气磁活动的关系。由于仪器的限制，本次磁场观测仍不足以用来研究一些更小尺度针状物的产生机制。我国推进中的先进地基太阳天文台（ASO-G）具有极高的分辨率和灵敏度，如能成功立项，必将大大推动日冕加热的相关研究。这一研究成果也将促进日冕加热和磁重联的有关理论和数值模拟研究。太阳低层大气是部分电离的，这种环境下磁重联的特征与完全电离环境下的磁重联相比有何不同，仍需进一步研究。此外，针状物在往外传输过程中的加热机制仍不清楚，未来需进行理论上的探讨。

论文通讯作者和第一作者分别为田晖及其博士后Tanmoy Samanta。其他作者包括大熊湖天文台台长曹文达教授、北京大学博士生陈亚杰、昆明理工大学冯松教授，以及来自美国新泽西理工学院、美国宇航局马歇尔空间飞行中心、德国马普学会太阳系研究所、英国谢菲尔德大学、奥地利格拉茨大学、印度天体物理研究所的多位太阳物理学者。

该工作得到了国家自然科学基金、中国科学院国家天文台太阳物理TAP项目、中国科学院天文台站设备更新及重大仪器设备运行专项经费、中科院A类战略性先导专项、云南省应用基础研究重点项目、德国马普伙伴小组等项目的

联合支持。



<http://www.bbso.njit.edu/scinews/SummaryMovie.mp4>

2. GST望远镜和SDO卫星对太阳大气不同层次的观测结果

<http://www.bbso.njit.edu/scinews/LayeredMovie.mp4>

参考文献:

T. Samanta, H. Tian, V. Yurchyshyn, H. Peter, W. Cao, A. Sterling, R. Erdélyi, K. Ahn, S. Feng, D. Utz, D. Banerjee, Y. Chen, Science366, 890 (2019).

H. Tian, E. E. DeLuca, S. R. Granmer, et al., Science 346, 1255711 (2014).

H. Ji, W. Cao, P. R. Goode, Astrophys. J. Lett. 750, L25 (2012).

B. De Pontieu, S. W. McIntosh, M. Carlsson, et al., Science 331, 55 (2011).

Y. Chen, H. Tian, Y. Su, et al., Astrophys. J. 856, 21 (2018).

W. Cao, et al., AstronomischeNachrichten 331, 636 (2010).

J. R. Lemen, et al., Sol. Phys. 275, 17 (2012).

转载本网文章请注明出处