
空间中心在近日激波动理学研究中取得进展

作者：writer 来源：中国科学院

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/11067.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！

激波是空间和天文中一种常见且重要的物理现象，在能量耗散和高能粒子加速中发挥作用。太阳风暴（CME）驱动的激波可产生持久的太阳高能粒子事件和射电暴，具有重要的空间天气效应。中国科学院国家空间科学中心研究员刘颖团队在CME驱动激波的三维形态和运动学、激波粒子动理学、激波特征与高能粒子释放的关系、激波与日冕波动的关联等方面取得了系列原创性成果。近期，科研团队进一步研究近日太阳风条件下激波的动理学特征。

当前，学界对CME驱动激波的研究集中在1AU（日地平均距离）附近，主要原因是大部分空间探测卫星部署在1AU附近或近地轨道上，如Wind、STEREO、Cluster、双星和MMS等，使学界缺少对近日原初太阳风条件下新生CME驱动激波特性的了解。激波主要的太阳高能粒子加速发生在离太阳较近的距离，而研究表明，快激波事件在近日太阳风中的马赫数可达到10~15，该新生的近日激波和通常在1AU附近观测到的低马赫数激波存在差异。最近2年，国际上相继发射太阳抵近观测卫星“帕克太阳探针”（Parker Solar Probe, PSP）和太阳环绕观测卫星（Solar Orbiter），为学界研究近日激波提供机会。

空间中心副研究员杨忠炜基于PSP卫星前三轨获得的近日点太阳风观测数据，利用全粒子模拟（PIC）研究CME驱动激波的动理学特征。研究发现：在激波前沿，反射离子与当地太阳风背景电子之间存在相对漂移，离子束流与具有多普勒频移的电子伯恩斯坦模耦合触发电子回旋漂移不稳定性（ECDI），激发出具有多支谐波的准静电模。该静电波能加速一部分太阳风电子并形成弱相对论级别的环状速度分布。该环状分布的电子与背景热电子继续相互作用，在多普勒频移的高混杂频率附近激发出双向静电波。被静电波多次加速的电子能够激发指向上游的高频电磁波（X模），其物理机制类似于马里兰大学教授吴京生提出的电子回旋脉泽辐射机制（Cyclotron Maser Instability，该机制解释过地球极区弱相对论级电子激发千米波辐射等物理现象）。研究人员通过探讨一系列激波参量发现，当马赫数降低到5甚至更低时，ECDI仍普遍存在；当马赫数大于10时，ECDI夹杂Buneman不稳定性，使朗缪尔振荡频率（或高混杂频率）附近的静电波大幅增强，从而有效加速电子并激发高频电磁波。研究人员将二维模拟扩展到三维，结果表明在三维模拟中存在与二维模拟相似的波动特性。ECDI沿激波面激发的静电波可强于沿激波法向激发的静电波。

在未来的5至6年中，太阳活动将逐渐进入极大期。研究人员预见将有大量太阳爆发和CME驱动的快激波事件。PSP也将更加抵近太阳，预计能观测到从27.8~10个太阳半径处的太阳风和激波特性。PSP上的FIELDS仪器和SWEAP仪器将给研究人员带来就地探测的太阳风电磁场和等离子体数据。其中，FIELDS的频率观测范围能覆盖高频射电暴（电磁波）和低频的等离子体波动，为观测和数值模拟的直接对比提供机会。

相关研究成果发表在The Astrophysical Journal Letters

上。该研究揭示在10个太阳半径处的电子加速机制、微观不稳定性以及静电波和电磁波的激发机制；首次提出有别于三波相互作用等非线性过程激发II型射电暴的可能机制，即激波面内自激发的静电波将部分太阳风电子加速到弱相对论级别后，进一步激发高频电磁波的相对论线性激发机制；开拓激波电子加速机制和射电激发研究的新思路，为PSP和Solar Orbiter对激波微观结构、高频射电信号以及等离子体波动的观测提供预言。

论文链接

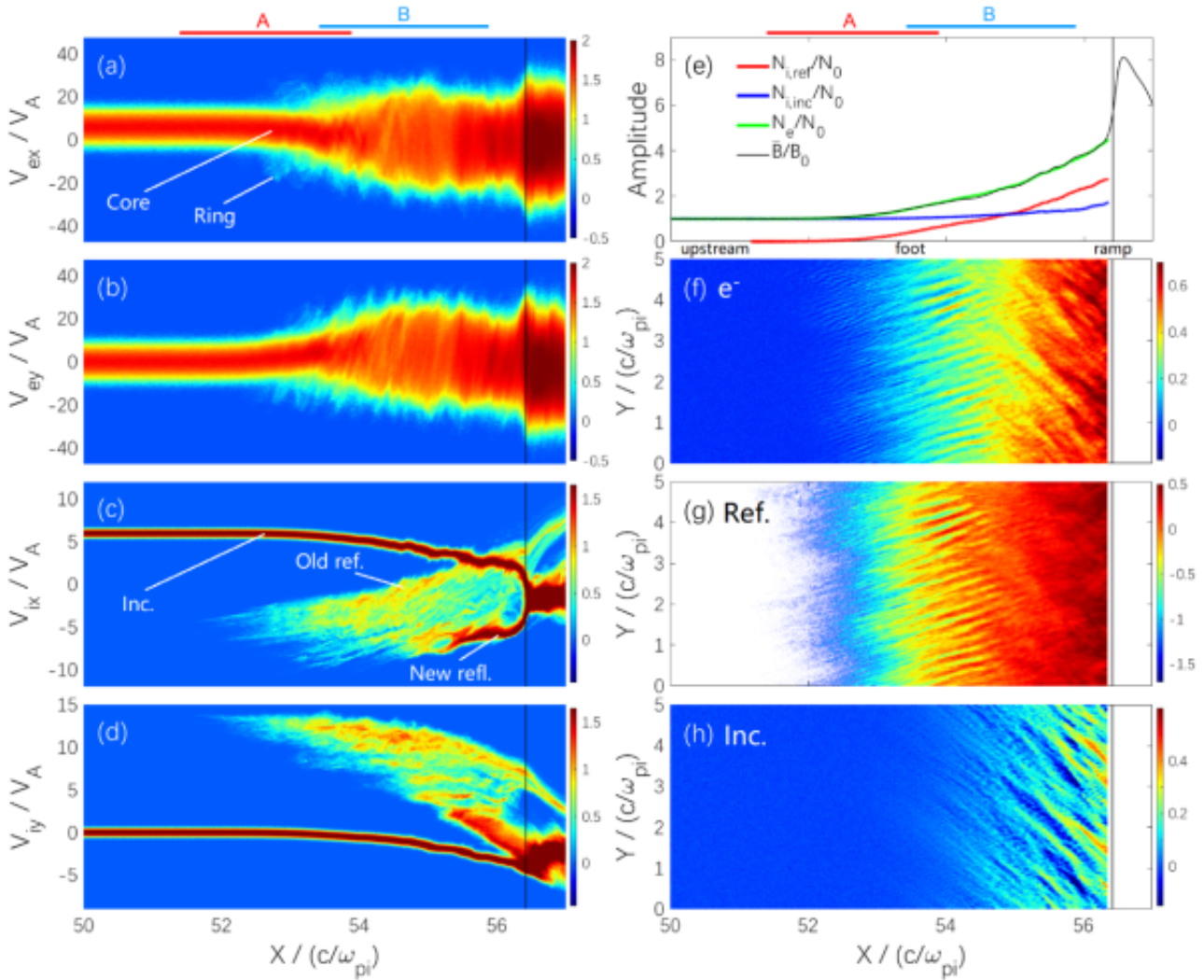


图1.近日太阳风条件下激波粒子的动理学行为（左）和相互耦合特性（右）。在不同的区域：A区（foot前沿）和B区（深度foot），波动的特性和粒子耦合情况各不相同

图2.近日太阳风条件下激波内部自激发的静电波和电磁波模特性。子图(a-c)和(d-f)分别给出了激波A区和B区波动色散关系的三维可视化结果。各个子图顶部黑色箭头所指的方向是激波法向

研究团队单位：国家空间科学中心

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://iikx.com)转发