

空间中心揭示无碰撞激波的熵增机制

文章来源：空间科学与应用研究中心

发布时间：2014-09-12

【字号：小 中 大】

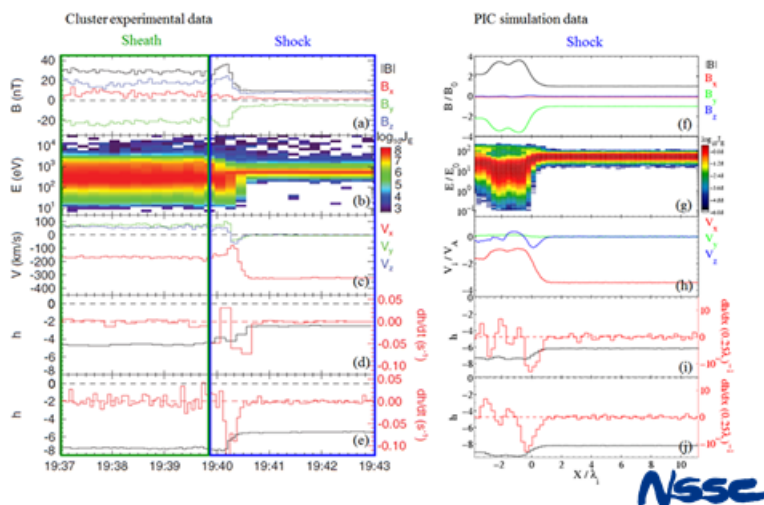
近日，中国科学院空间科学与应用研究中心空间天气学国家重点实验室的杨忠炜、刘颖等人利用Cluster卫星的观测数据和全粒子数值模拟，以2002年2月的一次地球舷激波穿越事件为例，揭示了无碰撞激波面内的熵增机制。这一工作发表在国际学术期刊*The Astrophysical Journal Letters*上。

无碰撞激波与太阳高能粒子、反常宇宙射线等高能粒子的加速有着密切的联系，它在空间物理学、等离子体物理学以及天体物理学等领域都得到了广泛的关注。无碰撞激波与普通流体激波不同，它不存在粒子间的直接碰撞，耗散只能靠波和粒子相互作用，研究它的形成和耗散机制是一个基本物理问题。至今，这个问题的答案仍不清楚。利用磁流体方程的Rankine-Hugoniot跃变条件，可以估算出等离子体经过无碰撞激波后，熵是增加的。然而，这个跃变条件无法回答无碰撞激波面过渡层里有没有碰撞为什么熵会增加？

杨忠炜、刘颖等由波尔兹曼-吉布斯熵的统计表达式出发，首次从卫星数据和全粒子模拟数据中提取粒子的三维分布函数信息，计算出熵密度。研究表明：（1）对于离子，当其穿越激波的时候，一部分离子会被激波面增强的磁场和横越激波电势反射，另一部分离子则直接穿过激波面。不同的粒子初始能量和入射角度导致了粒子在激波面处动力学行为的差异。这种差异性将使得离子在激波面附近的速度分布函数偏离麦克斯韦分布，离子在相空间分布变得弥散，统计温度升高，熵增加；（2）对于电子，其回旋半径小于激波面厚度，因此电子从上游运动到下游的过程基本上满足角动量守恒，其速度分布函数基本上是一个展宽的过程，统计温度升高，熵增加。数值模拟结果和观测结果高度相似（图1）。接下来，他们利用激波上下游宏观物理量，估算激波前后熵的变化。结果表明，从宏观和微观角度计算出的熵变基本吻合。这有力地说明，激波面内粒子动力学行为能够很好地解释激波前后熵变的原因。最后，他们还研究了不同马赫数条件下太阳风粒子熵变情况，发现熵增随马赫数的降低而减小。对于离子而言，主要原因是激波面处的反射离子减少；对于电子，其加热过程随着马赫数的降低慢慢趋向于绝热压缩过程。

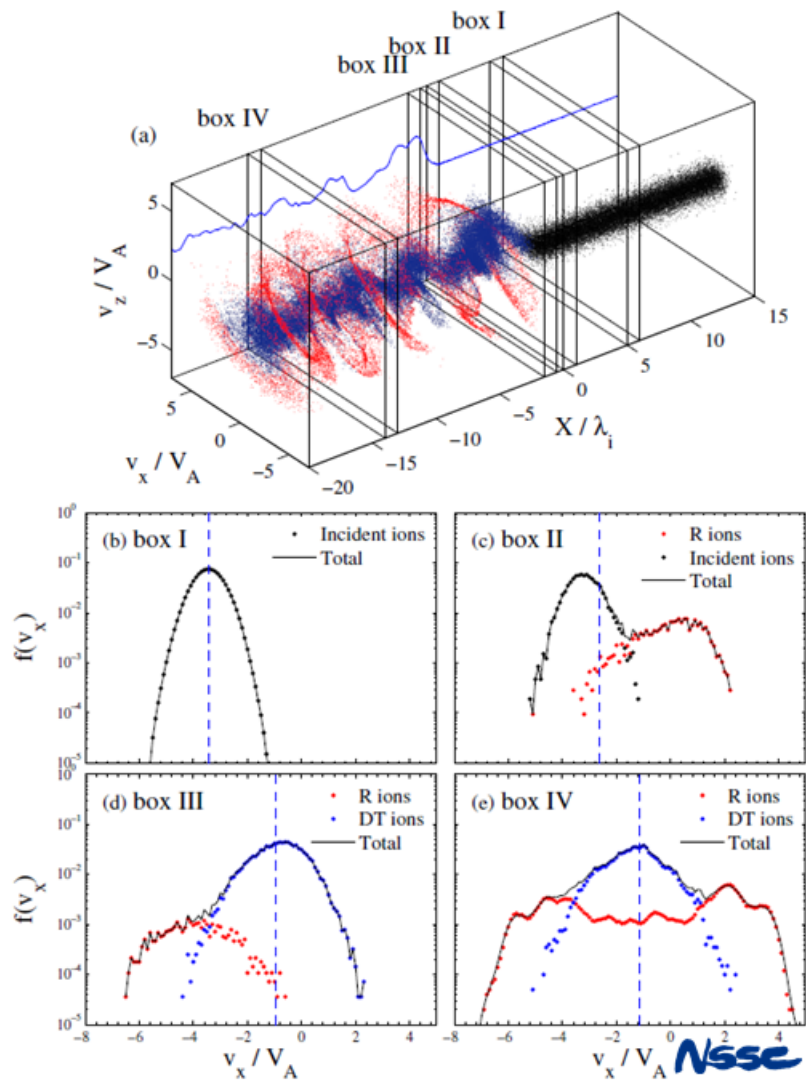
该研究对于人们认识无碰撞激波的耗散机制和熵增原因等基本物理问题具有重要的科学意义，同时有益于构建激波加速粒子的空间天气预报模型。

[文章链接](#)



（左列）Cluster卫星穿越地球舷激波事例：（a）磁场三分量、（b）离子能通量、（c）离子宏观流速三分

量、(d) 和 (e) 离子和电子的熵密度变化 (黑) 和变化率 (红)。(右列) 给出了对应的全粒子模拟结果。



无碰撞激波上下游的离子分布函数演化

打印本页

关闭本页