研究发现太空跨尺度能量传输新机制

作者：writer 来源：爱科学

本文原地址：https://www.iikx.com/news/progress/20193.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！

研究发现太空跨尺度能量传输新机制。宇宙空间存在着多种不同尺度的物理行为，从由电子回旋运动、离子回旋运动表征的微观尺度，一直延伸到与行星大小相当的宏观尺度，跨越超过8个数量级。这些不同尺度的物理过程如何耦合？能量如何在它们之间输运？

9月23日，《自然—通讯》在线发表了北京大学地球与空间科学学院教授宗秋刚团队最新研究成果，回答了这一问题。研究提出，在空间和天体等离子体中，跨尺度波动—粒子相互作用，可导致能量从宏观尺度到微观尺度的快速输运。这一机制有助于解释空间和天体系统中的能量耗散问题以及等离子体的加热加速问题。

等离子体充斥着整个宇宙，构成了各种各样的天体和空间系统，例如行星磁层、太阳日冕、太阳风和日球层以及星际介质。理解这些等离子体系统的历史和演化，一个重要的问题是，宏观、定向运动的能量如何转化成微观、随机运动的能量。

不过，由于空间和天体等离子体密度一般非常低，在通常情况下起主导作用的热碰撞难以发生。例如，在太阳系中，一个从太阳运动到地球的带电粒子只会经历约一次碰撞。因为，在各种空间和天体系统中，从宏观向微观的能量转换一般通过电磁相互作用来完成。作为一种长程相互作用，电磁相互作用可以在很长的距离上起作用，因此，可以把分布稀疏的带电粒子联系起来。

对于一个具体的空间和天体等离子体系统而言，电磁相互作用又有多种不同形式，从而可以以多种不同的方式介导能量的跨尺度输运。目前主流的跨尺度能量传输机制是湍流串级模型，该模型认为，能量是通过一系列相近尺度逐渐从宏观尺度输运到微观尺度。为了更好地理解各种空间和天体系统中的能量过程，寻找湍流串级之外的跨尺度能量传输机制是当前空间物理和天体物理领域的研究热点之一。

近期，宗秋刚团队通过分析观测资料证实，跨尺度波动-粒子相互作用（即带电粒子同时和不同尺度的等离子体波动相互作用）是一种可能的跨尺度能量输运机制，这类似于大气中充斥着声波，空间和天体等离子体中也充斥着各种等离子体波动。但是由于构成等离子体的组分（通常为质子和电子）的质量相差悬殊，等离子体波动具有多种不同的时间和空间尺度。

等离子体波动可以最粗略地根据尺度划分为三大类：流体尺度波动、离子尺度波动和电子尺度波动。其中前一种波动又被称为宏观尺度波动，而后两种被统称为微观尺度波动。不同尺度的等离子体波动会以不同的方式和带电粒子相互作用。例如，地球磁层中的超低频波动是一种典型的宏观尺度波动，它可以通过漂移-弹跳共振加速带电粒子，从而产生会危害航天器和宇航员安全的杀手电子等。而电磁离子回旋波则是一种典型的微观尺度波动，其常通过回旋共振和带电粒子相

互作用，这种作用的结果之一就是导致空间中的带电粒子沉降到地球大气中，这些沉降粒子还可以通过后续的过程产生极光等现象。但无论具体的作用方式，波动-
粒子相互作用都可导致电磁场和带电粒子间的能量交换。

在研究中，研究团队通过详细分析美国国家航空航天局的Magnetospheric Multiscale任务获得的数据，发现空间中的离子可以同时和宏观尺度的超低频波、微观尺度的电磁离子回旋波相互作用。通过这一相互作用，能量首先从超低频波先传递到离子，然后从离子传递到电磁离子回旋波，最后通过电磁离子回旋波-离子回旋共振而耗散。与传统湍流串级模型不同，在这一跨尺度波动-粒子相互作用中，能量可以直接从宏观尺度传递到微观尺度，无需经过中间尺度的介导。对观测数据的定量分析表明，跨尺度波动-粒子相互作用的时间尺度约为1分钟，远小于各种空间和天体能量过程的时间尺度，证明其是一种有效的跨尺度输运能量的机制。

除了介导能量的跨尺度输运，研究还发现，跨尺度波动-粒子相互作用可导致不同尺度的动态过程相互耦合，以及空间等离子体加热和加速。这些发现为进一步理解极光、地磁脉动以及空间高能粒子的产生提供了新的思路。（来源：中国科学报 韩扬眉）

相关论文信息：https://doi.org/10.1038/s41467-022-33298-6

作者：宗秋刚等 来源：《自然—通讯》

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