

April 24, 2019

1 绪论

1.1 高能粒子与不稳定性

在现代托卡马克装置中，等离子体的主要成分除了热粒子以外，还包括聚变反应和辅助加热产生的高能粒子（快粒子）。一方面，高能粒子是聚变等离子体的重要能量来源，在 DT 等离子体中，聚变产生的 α 粒子具有 3.5 MeV 的能量，将是聚变等离子体自持加热的重要手段。另一方面，通过辅助加热手段，比如离子回旋共振加热、电子回旋共振加热、中性束注入等，也可以产生大量的高能粒子。这些高能粒子 (EP, energetic particle) 影响着装置的运行，一个重要方面就是与等离子体波的相互作用。在托卡马克中，由于波-粒子共振所激发的阿尔芬本征模 (AE, Alfvén Eigenmode)、鱼骨模等不稳定性，造成 EP 的大量损失，影响背景热等离子体的约束。这些不稳定性引起的粒子径向输运使装置能量损失，还可能导致装置的损毁。

目前，几乎所有托卡马克装置都诊断到了高能粒子激发的不稳定性，AEs 一直是研究的重点。首先，AEs 由快粒子的径向压强梯度驱动，增强了快粒子的径向输运。其次，AEs 可以和快粒子发生强烈的共振，激发不稳定性模式。

1.2 BAE

*zliupku@pku.edu.cn, 北京大学物理学院