

บทคัดย่อ

โครงการวิจัยนี้ได้ศึกษาการเกิดขึ้นและสมบัติต่างๆในเชิงพลศาสตร์ของแนวด้านการสูญเสียพลังงานที่ขอบและภายในพลาสมาในสถานะประสิทธิภาพสูงในเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ฟิวชันแบบโทคาแมคโดยใช้ทฤษฎี bifurcation โดยมีการศึกษาในรูปแบบคือ 1 สมการและ 2 สมการ ซึ่งเป็นการแพร่ของอนุภาคและพลังงาน โดยมีเงื่อนไขสำหรับการลดการส่งผ่านพลังงานและอนุภาคโดยใช้หลักการจากการเงื่อนไขของการไหลและสนามแม่เหล็ก โดยการลดการส่งผ่านพลังงานและอนุภาคจะเกิดขึ้นกับการส่งผ่านพลังงานและอนุภาคที่เกิดจากความไม่เสถียร (anomalous transport) เท่านั้น โมเดลการส่งผ่านพลังงานและอนุภาคที่เกิดจากความไม่เสถียรมี 3 แบบคือ แบบคงที่ แบบที่ขึ้นกับความต่างของอุณหภูมิหรือความหนาแน่นของอนุภาค และแบบที่ขึ้นกับความต่างของอุณหภูมิหรือความหนาแน่นของอนุภาคที่มีค่าวิกฤติ พบว่า การเกิดขึ้นของแนวด้านการสูญเสียพลังงานที่ขอบในสถานะประสิทธิภาพสูงสามารถเกิดขึ้นได้อย่างฉับพลันโดยมีเงื่อนไขเกิดขึ้นเมื่อค่าพลักซ์ของพลังงานหรืออนุภาคมีค่ามากกว่าวิกฤติ และเมื่อมีแนวด้านการสูญเสียพลังงานเกิดขึ้นจะขยายเข้าสู่ศูนย์กลางของพลาสมาอย่างรวดเร็วในเบื้องต้นและขยายช้าลงไปเรื่อยๆ ซึ่งสอดคล้องผลการทดลองได้ดี ส่วนการเกิดขึ้นของแนวด้านการสูญเสียพลังงานภายในพลาสมาจะเกิดขึ้นเมื่อมีโครงสร้างของสนามแม่เหล็กที่มี reserve q เท่านั้น ค่าการเงื่อนไขที่เกิดจากการไหลของพลาสมามีผลการกระทบต่อแนวด้านการสูญเสียพลังงานภายในพลาสมาน้อยมาก และเมื่อทดสอบการเกิดขึ้นของแนวด้านการสูญเสียพลังงานและอนุภาคโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบรวมพบว่า มีความคล้ายคลึงกับผลที่ได้จากทฤษฎี bifurcation

Abstract

A one field and two fields bistable S-curve bifurcation concept will be utilized in order to study the formation and dynamics of both Edge and Internal Transport barriers (ETBs and ITBs) that occur in “High Confinement Mode (H-mode)” of Tokamak Plasmas. The bifurcation concept can be characterized by an S-line with two stable branches in which both branches correspond to low (L) and high (H) confinement modes. A set of heat and particle transport equations with both neoclassical and turbulent transports are solved simultaneously and numerically using discretization method. The turbulent transport is suppressed by $\omega_{E \times B}$ flow shear, which is presented in term of coupling density and pressure gradients, and magnetic shear. In addition, toroidal flow term is also included, in which is assumed to be proportional to local temperature. Numerically, the transport equations are solved for pressure, density, pressure and density gradients, heat and particle fluxes profiles as functions of plasma radius. It is found that plasmas can exhibit the bifurcation nature where a sudden jump in plasma gradients can be achieved at the transition point corresponding to the critical flux. Local stability analysis shows that the transition occurs at a threshold flux and exhibits hysteresis nature only if ratio of anomalous strength over neoclassical transport exceeds a critical value. The depth of the hysteresis loop depends on both neoclassical and anomalous transports, as well as the suppression strength. Dynamically, it is found that ETB expands inward, in which the radial growth of the pedestal initially appears to be superdiffusive but later slows down and stops. In addition, the time of barrier expansion is found to be much longer than the time plasma takes to evolve from L -mode to H -mode. Evidently, ETB can form only when local flux surpasses the critical value; while the ITB formation is possible only with a presence of reverse q profile. The location and width of ITB are found to be correlated to the plasma current profile. In particular, the top of ITB is in the vicinity of where the current density profile is maximum and the magnetic shear close to zero. Both ITB and ETB widths appear to be governed by heat source, off-axis current drive position and transport strengths. In the next part, a 1.5D BALDUR integrated predictive modeling code, with inclusion of toroidal velocity models, is used to simulate plasma profiles. The predictive toroidal velocity models are based on neoclassical toroidal viscosity (NTV) and toroidal current density effects. It is found that the predicted intrinsic rotation can result in the formation of ITB, locating mostly between $r/a = 0.6$ to 0.8 and having a strong impact on plasma performance. It is also found that the variations of plasma density and heating power result in a minimal change in toroidal rotation; whereas the increase of plasma effective charge can considerably

reduce the toroidal velocity peaking. In the last part, the impacts of toroidal flow on the $L-H$ transition phenomenon in tokamak plasmas based on bifurcation concept are investigated. It is found that inclusion of toroidal velocity can substantially increase the plasma pressure and density, mainly due to an increase of the pedestal width. It is also found that the pedestal for pressure tends to form first. After the pedestal forms, it expands inwards with the characteristic of super-diffusive nature in initial state and become sub-diffusive nature in final state before reaching steady state. The expansion speed depends sensitively on the strength of flow shear effect. It is also found that the time required plasma to reach steady state after the $L-H$ transition is much longer than that for $L-H$ transition.

Keywords: Simulation; L-H transition; Bifurcation; ETB; ITB