

PEM029-14

会場: 303

時間: 5月25日13:45-14:05

自ら回転するプラズマ

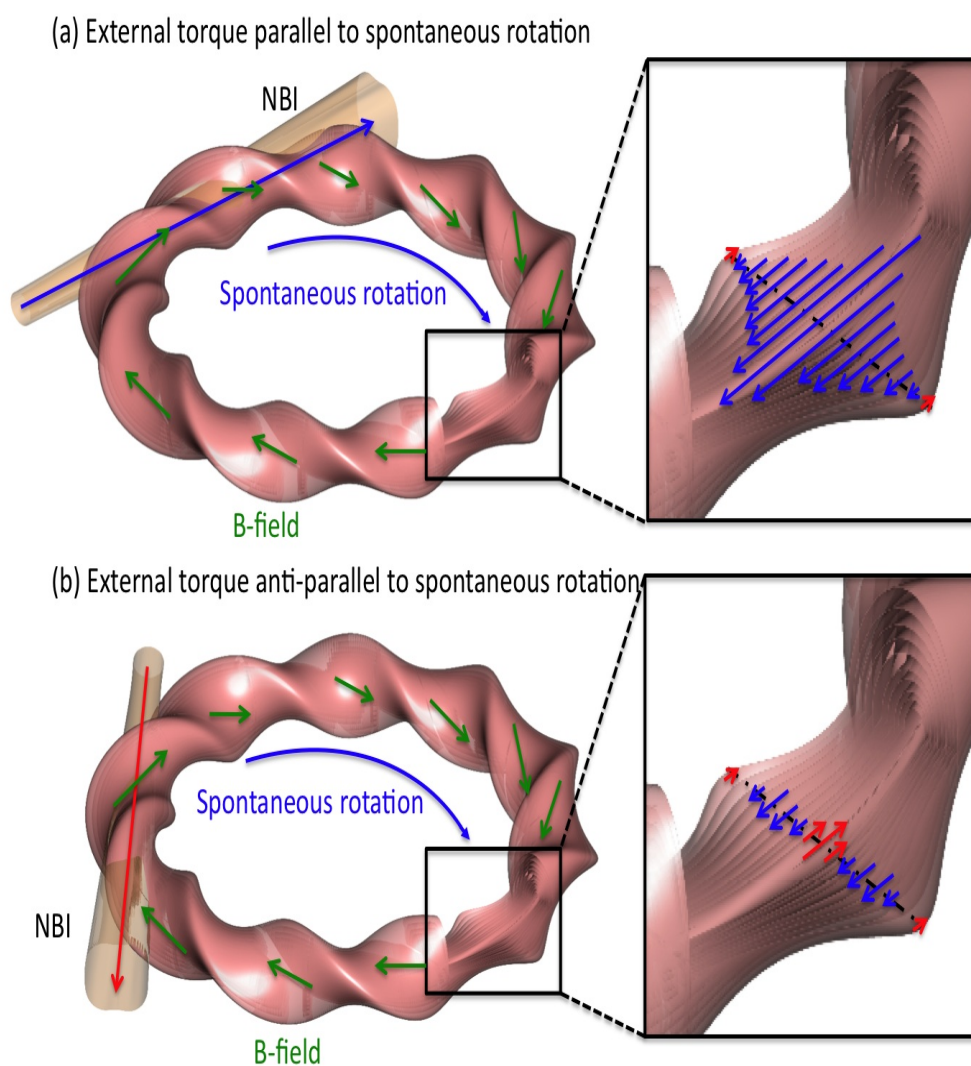
spontaneous rotation in plasmas

居田 克巳^{1*}

Katsumi Ida^{1*}

¹核融合科学研究所

¹National Institute for Fusion Science



トロイダルプラズマにおける自発回転は、磁場閉じ込めプラズマの角運動量の保存が破れているように見える現象で興味深い。プラズマがトルク入力なしに回転したり、トルク入力と逆方向に回転したりするという事実が自発回転の明らかな証拠となっている。自発回転の駆動機構はプラズマ中に生じた乱流の対称性の破れに伴うトロイダル方向の運動量の径方向流束である。歴史的には、自発回転はプラズマがトロイダル回転の方向の“好み”を持つ、すなわちプラズマが決まったトルク入力に対して反時計回りにくらべ時計回りの方が早く（または遅く）回るという事実として1995年に観測された[1,2]。この速度の違いは粘性の違いではなくて、一方向の自発回転の影響である。この自発回転は大きな温度勾配を持つプラズマにおいてより顕著になる事が解った。外部トルクによる回転をしのぐ大きな自発回転は、2001年に温度勾配が大きい電子内部輸送障壁を持つプラズマで観測された[3]。最近においては、自発回転が数多くの実験で報告され、理論的モデルも提唱されている[4]。例えばプラズマ中に存在する電場シアと乱流の対称性の破れがプラズマ中に内部トルクとしてのレイノズル応力を発生させ結果として自発回転を生み出すというモデルが提唱されている。

レイノズル応力による自発回転はプラズマ電流（ヘリカルプラズマでは等価電流）に対して順方向、逆方向のどちらかを選ぶので、自発回転は順方向、逆方向の中性粒子ビーム入射(NBI)時のトロイダル回転の不均衡として現れる。

図1にトロイダル磁場(B-field)によって閉じ込められたプラズマ、外部からのトルク源としての中性粒子ビームの向き、トロイダル回転速度の径方向分布を示す。

トロイダル回転速度の向きと大きさは矢印の向きと長さで表されている。自発回転と同じ向きに外部からトルクを入射した場合 (Fig1(a)) には、トロイダル回転速度は外部トルクと同じ向きで中心ピークした分布となっている。しかしながら、自発回転と逆向きに外部からトルクを入射した場合 (Fig1(b)) には、中性粒子ビーム入射で駆動されたプラズマ回転が自発回転でほとんど打ち消されている。プラズマの中心部とごく端を除いて、プラズマは外部トルクの向きとは逆方向に回転している。これはプラズマ内部で発生したレイノズル応力が中性粒子ビーム入射による外部トルクを超えているからである。ここで、レイノズル応力は正味の角運動量を発生させるのではなく、角運動量をプラズマの中心から周辺部に運んでいるだけである（トロイダル角運動量の径方向の流束を生み出している）。どちらの場合も、定常状態においては、中性粒子ビーム入射によってプラズマに注入された運動量はプラズマの周辺部に向かって運ばれ、最後にはプラズマ周辺部から吐き出されている。

磁場閉じ込めプラズマにおける自発回転は、粒子やエネルギーが拡散していくなかでレイノズル応力を通して起こる回転で、この問題は物理の他の分野、特に電磁流体力学がニュートン力学と同様に重要となる宇宙物理学において興味深い問題となっている。例えば銀河中心近傍のブラックホールで観測される膠着円盤の問題[5]とよく似ている。

- [1] K.Ida et al., Phys. Rev. Lett. 74 (1995) 1990.
- [2] K.Ida et al., J. Phys. Soc. Jpn. 67 (1998) 4089.
- [3] K.Ida et al., Phys. Rev. Lett. 86 (2001) 3040.
- [4] O.D.Gurcan Phys. Plasmas 14 (2007) 042306.
- [5] Miyoshi et. al, Nature 373 (1993) 127.

キーワード:自発回転,トロイダルプラズマ,乱流,対称性の破れ,レイノズル応力

Keywords: spontaneous rotation, toroidal plasma, turbulence, symmetry breaking, Reynolds stress