

M01a 高ベータプラズマ中の磁場：磁束管の自発的形成

柴崎清登 (国立天文台)

磁場中で熱運動するプラズマ粒子はローレンツ力によって磁気モーメントを持つ。この磁気モーメントは、磁場の方向と逆向き（反磁性）で磁場の強度に反比例する。単位体積中の磁気モーメント（ M ）と磁場の強さ（ B ）の比はプラズマベータ/2であり、高ベータプラズマ中ではこれを無視することができない。高頻度衝突（衝突頻度 ジャイロ周波数）プラズマ中でも磁気モーメントは消滅しない。磁性体中では、 $B = \text{真空の透磁率} \times (H + M)$ であり、 M が B の関数なので右辺にも B が含まれる。このような場は自己無撞着場と呼ばれ、 B を求めるにはこの方程式を解く必要がある。 B が実根を持つためには、プラズマベータは2を超えることができない。ガス圧が非常に大きくしかもこの条件を満たすためには、プラズマは自発的に二つの部分に分離し、ベータが2以下の磁束管と磁場の全くない領域が発生する。こうなることで条件を満たすことができる。自発的対称性の破れによる構造形成、相転移などと呼ばれる現象の一つである。磁束管内には磁場が存在してガス圧が低く、プラズマベータは2以下となっている。取り巻く領域のガス圧は高く、磁場は存在しないので、プラズマが磁場を閉じ込めていることになる。よってその境界には磁場に直角方向にソレノイド状の電流が必要である。この電流は実質的に、磁化電流中のガス圧勾配による電流によってまかなわれており、この電流によるアンペールの力とガス圧の勾配力が平衡を保っており、磁束管内の磁場の強度は周りのガス圧に依存する。このソレノイド状電流が磁束管内の磁場を維持しているわけであり、磁束管は自立的構造とみなすことができる。

太陽の場合、対流層内や低電離度の光球付近でも上記議論がほぼそのまま適用でき、光球面のガス圧（13kPa）から、磁束管内の磁場の強度が1.0～1.7kGになることがわかる。これは観測的事実とよく一致する。