

磁場中の円柱プラズマの重力不安定性

天 野 恒 雄 (京大理)

わが銀河の渦状腕には 10^{-5} がウスの程度の磁場が存在し、磁場の圧力と星間ガスの圧力の和が腕の重力と釣り合っていることが知られている。この平衡状態の安定性について Chandrasekhar と Fermi (1953) は軸方向の一様な磁場をもつた無限に長い円柱を考え、流体の非圧縮性を仮定すると、円柱は十分に長い波長をもつた変形に対して不安定であるが、その成長期間は宇宙の年齢 10^{10} 年よりずっと長いことを示した。他方、銀河の回転は一様でないために渦状腕は内方に巻き込まれ、腕が安定であれば渦の巻き数は 10^5 年の間に2倍に増大するはずで、渦状腕がどうして定常に保たれているかという疑問が提出されている。

主論文は、一般の圧縮性流体の場合に、重力と磁場の作用を受けている円柱状プラズマの安定性を調べるために、エネルギー原理の方法を用いて不安定性の十分条件とその成長速度を求め、結果を銀河の腕に適用して観測事実との比較を行つたものである。

まず、任意のラセン状の磁力線がプラズマに凍結していて、すべての物理量が円柱の軸からの距離だけの関数であるような平衡状態から出発する。この状態からの任意の変形に対する重力エネルギー、磁場のエネルギー、および熱エネルギーの変化を計算して、その総和が負になる条件を導いている。この際、とくに円柱の表面がうごかないという境界条件を付加することによつて、不安定性に対する十分条件が比較的簡単に求められることを示している。すなわちエネルギー極小の条件より Euler 方程式が導びかれるとともに、安定性にとつて最も危険な変形は、磁力線のラセンのピッチと変形のピッチが等しい値をもつような、プラズマ内部の円柱面に局在することを明らかにした。

この局所的不安定性の条件は、実験室のプラズマにおいて観測されている縦みぞ型の不安定性を重力がある場合に一般化したものになつていて、とくに磁場が円柱の軸に平行な場合には、浮力に起因する対流不安定性の条件と一致し

天野恒雄

ている。すなわち、十分長い波長の変形については、磁力線の凍結したプラズマ流体の各部分が相互に置換することによつて、重力エネルギーが変形の運動エネルギーに移るのである。さらに、不安定な局所的変形の成長速度を求め、これが変形のモードと平衡状態の諸量との関数として簡単な形に表わされることを見出している。

ついで、上の結果を銀河の腕に適用して、その不安定性を調べている。物質密度として $2 \times 10^{-24} \text{ g/cm}^3$ 、磁場の強さとして 10^{-5} ガウスを採用すると、物質が一様に分布している場合には、 3×10^3 光年より長い波長の変形は不安定で、その生長時間は 10^8 となる。しかし、密度の分布が一様でなくて半径方面に十分速く減少している場合には、不安定性がおさえられることを見出している。上の密度が一様な場合の変形の成長時間は宇宙の年齢よりずっと短かいので、現在の渦状腕の内部の物質分布は安定性に関して中立の状態に落ち着いているものと考えられるが、実際にその密度分布は波長 21 cm の電波で観測されている水素原子の分布とよく一致している。

また、銀河回転が一様でないための渦状腕の巻き過ぎの問題については、腕の内部の物質の適当な循環流があれば、不安定性による腕の消滅と巻き込みによる腕の生成が釣合つて準定常の状態が保たれる可能性があることを指摘している。

最後に、以上の取扱いにおける断熱変化の仮定を吟味して、流体の粘性と磁場の拡散によるエネルギー散逸の効果を調べた結果、10 光年より長い波長の変形に対しては断熱変化の仮定が許されることを見出している。

参考論文 1 は、中性点をもつ波型磁場の内部に高温プラズマを閉じこめる可能性とその安定性を、粒子の軌道理論に基づいて論じたものである。参考論文 2 は、重力が無視出来る場合の非圧縮性円柱状プラズマの局所的不安定性の条件と変形の成長速度を求めたものである。参考論文 3 は、主論文の結果を用いて、銀河の渦状腕の定常性の問題を論じ、また、腕の内部のエネルギー散逸の過程を詳細に検討したものである。

(論文目録は 306 頁に)

(本文は京都大学理学部へ学位申請の為提出された論文の要旨である。)

(290頁よりつづく) 天野恒雄論文目録

- Gravitational Instability in a Cylindrical Plasma in a
Magnetic Field
Progress of Theoretical Physics Vol.31 No.5 (1964),742
- Confinement of Plasma Particles in a Corrugated Magnetic
Field
Journal of Physical Society of Japan Vol.16 No.12 2517~
2525 (1961)
- Hydromagnetic Local Instability in a Axially Symmetric
Incompressible plasma
Progress of Theoretical Physics Vol.31 No.5 (1964)
- On the Instabilities of the Spiral Arms
Supplement of Progress of Theoretical Physics (1964)