

【 32 】

氏名	天野恒雄
学位の種類	理学博士
学位記番号	論理博第67号
学位授与の日付	昭和39年6月23日
学位授与の要件	学位規則第5条第2項該当
学位論文題目	Gravitational Instability in a Cylindrical Plasma in a Magnetic Field (磁場中の円柱プラズマの重力不安定性)
論文調査委員	(主査) 教授 林忠四郎 教授 小林稔 教授 安見真次郎

論文内容の要旨

わが銀河の渦状腕には 10^{-5} ガ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、軸方向の様な磁場をもった無限に長い円柱を考え、流体の非圧縮性を仮定すると、円柱は十分長い波長をもった変形に対して不安定であるが、その成長時間は宇宙の年令 10^{10} 年よりずっと長いことを示した。他方、銀河の回転は一樣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 10^8 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なったものである。

まず、任意のラセン状の磁力線がプラズマに凍結して、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動かないという境界条件を付加することによって、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 方程式が導かれるとともに、安定性にとっ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っていて、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ている。すなわち、十分長い波長の変形については、磁力線に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って、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 年となる。しかも、密度の分布が一様でなくて半径方向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、実察にその密度分布は波長 21cm 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、腕の内部に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っ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、重力が無視でき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。

論文審査の結果の要旨

主論文は、磁場と重力の作用のもとに平衡状態にある円柱プラズマについて、その圧縮性と一般的な変形のモードを考慮した場合の、不安定性の条件とその成長速度を求めたものである。多自由度の複雑な系であるにもかかわらず、プラズマの任意の変形に対する電磁場のエネルギー、重力エネルギー、および熱エネルギーの変化を計算し、安定性にとって最も危険な変形を選び出すことによって、不安定性の十分条件とその成長速度の解析的な表現を得ることに成功している。

とくに、最も危険な変形はそのピッチが磁力線のラセンのピッチに一致するようなモードの変形であって、この種の不安定性はプラズマ内部のある円柱面に局在することを見出すとともに、高温プラズマの実験で問題となっている縦みぞ型の不安定性に対応するもので、いまの場合は浮力が原因であることを明らかにしている。

さらに、結果を銀河の渦状腕に適用して、物質密度の一様な分布を仮定した場合には、 3×10^3 光年より長い波長の変形に対して腕は不安定であって寿命は 10^3 年の程度に過ぎないこと、また、現在の腕はその半径と密度分布の形とからみて安定、不安定の中立の状態に近いことを見出している。この結論は、銀河の構造と進化の問題にとって重要なものと考えられる。

以上の主論文は、圧縮性プラズマの重力不安定性の条件を明らかにすることによって、プラズマ物理学および銀河構造の理論の発展に寄与するところが少なくない。なお、参考論文はいずれも、著者がプラズマ物理学と核融合の理論の広い分野にわたって豊富な知識と優れた研究能力をもっていることを示している。

よって、本論文は理学博士の学位論文として価値があるものと認める。