



Title	Cold stream properties in the circumgalactic medium: the role of magnetic field and thermal conduction
Author(s)	Ledos, Nicolas
Citation	大阪大学, 2023, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/95938
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

Abstract of Thesis

Name (Nicolas Ledos)

Title

Cold stream properties in the circumgalactic medium: the role of magnetic field and thermal conduction
(銀河周辺物質中でのコールドストリームの性質: 磁場と熱伝導の役割)

Abstract of Thesis

Background: Galaxy formation and evolution is a challenging field linking the early state of our Universe that is imprinted in the cosmic microwave background to the Milky Way and the numerous observed nearby galaxies. Current state-of-the-art cosmological simulations reproduce relatively well important galaxies' properties such as the two distinct populations in the nearby galaxies or the cosmic star formation history. Moreover, cosmological simulations unveil a physical key mechanism behind the galaxies' properties: the cold stream scenario. In the early Universe ($z \gtrsim 2$) galaxies are predicted to acquire most of the fuel of their star formation via cold streams of gas with temperature 10^4 K flowing along the potential of the cosmic web. Despite the ubiquitous nature of this scenario from cosmological simulations, the current simulations' accuracy is insufficient to fully capture the stability and Ly α emission properties of these cold streams. Deciphering the characteristic emission of the cold streams is essential to fully understand the numerous observed Ly α emitters.

Method: To answer this challenge, recent efforts focused on idealized high-resolution hydrodynamics (HD) simulations. Our research follows this current trend by performing a large suite of 2D magneto-HD (MHD) simulations assessing for the first time how magnetic fields at various angles and anisotropic thermal conduction (TC) influence the dynamics of radiatively cooling cold streams. Those simulations are performed using the astrophysical code Athena++ on which we implemented the anisotropic thermal conduction module.

Results: We find that an initially small magnetic field strength of approximately $10^{-3} \mu\text{G}$, with a field oriented non-parallel to the stream, undergoes significant growth. The amplification of the field increases the stability of the stream against Kelvin-Helmholtz instabilities and reduces Ly α emissions by a factor of less than 20 compared to the hydrodynamics scenario. The inclusion of anisotropic thermal conduction (TC) categorizes the stream evolution into three distinct regimes: (1) the *diffusing stream* regime, where the stream diffuses into the surrounding hot circumgalactic medium; (2) the *intermediate* regime, characterized the mixing layer diffusion, leading to increased stability and reduced Ly α emissions; (3) the *condensing stream* regime, where the influence of magnetic fields and TC on the stream's emission and evolution is negligible. Extrapolating these findings to a cosmological context suggests that cold streams with a radius of $\lesssim 1$ kpc may serve as a prolonged source of cold, metal-enriched, magnetized gas (with magnetic field strengths in the range of 0.1 to 1 μG) for massive galaxies in the early Universe. This, in turn, results in a broad spectrum of Ly α luminosity signatures ranging from approximately 10^{37} up to $10^{41} \text{ erg s}^{-1}$.

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (Nicolas Ledos)		
論文審査担当者	(職)	氏 名
	主 査	教授 長峯健太郎
	副 査	教授 松本浩典
	副 査	准教授 小高裕和
	副 査	准教授 佐野孝好
	副 査 (レーザー科学研究所)	助教 高棹真介

論文審査の結果の要旨

現代宇宙論においては、宇宙背景放射の温度揺らぎや Ia 型超新星爆発までの距離などの観測によって、物質密度パラメータなどが 10%以内の精度で制限されて、精密宇宙論の時代に入っているとされている。しかし、そのダークマターとダークエネルギーに支配された宇宙 138 億年の構造形成の歴史の中で、銀河の形成と進化については未だ不明な点が多い。

一方、これまでの宇宙論シミュレーションを用いた研究によって、宇宙の星形成史や銀河の統計的な性質についてはある程度説明できるようになってきた。その結果によると、高赤方偏移 ($z \geq 2$) の宇宙において、Cold Stream (コールドストリーム) と呼ばれる比較的温度の低い ($T \leq 10^4$ K) フィラメント状のガスがダークマターハロー内部にガスを供給していることが示唆された。これは Cold Stream シナリオと呼ばれ、大質量銀河の成長に重要な役割を果たしていると考えられている。このような背景から、現在の銀河形成研究において、この Cold Stream の力学的構造や輻射特性を詳しく理解することが非常に重要である。先行研究では、理想化されたセットアップの流体シミュレーションを用いて Cold Stream の不安定性などが議論されてきたが、磁場や熱伝導の効果などは無視されていた。また、観測によって高赤方偏移宇宙において $\text{Ly}\alpha$ 放射を伴う銀河 ($\text{Ly}\alpha$ emitter; LAE) が多数発見されており、その放射駆動メカニズムも研究の焦点の一つとなっている。

そこで、本研究では Athena++コード (Stone et al. 2020) を用いて 2 次元磁気流体シミュレーションを多数実行し、様々な角度の磁場や非等方性熱伝導が Cold Stream のダイナミクスにどのような影響を与えるかを初めて系統的に評価した。その結果、ストリームに対して平行でない磁場は、仮にはじめは弱くても速度シアによって大きく増幅された。この磁場の増幅によって、ケルビン・ヘルムホルツ不安定性に対するストリームの安定性が高まり、 $\text{Ly}\alpha$ 放射強度が、磁場を考慮しない単純な流体力学計算の時に比べて 20 分の 1 以下に減少することがわかった。さらに、非等方熱伝導を考慮することによって、Cold Stream の進化を 3 つの異なるパラメータ領域 (拡散領域、中間領域、凝縮領域) に分類できることを見出した。これを宇宙論的な文脈で考えると、早期宇宙の大質量銀河において、金属汚染された比較的冷たいガス (磁場の強さは $0.1 \sim 1 \mu\text{G}$ の範囲) が、半径 1 kpc よりも細い cold stream によって長期的に供給され続けることが示唆された。その結果、Cold Stream からの約 $10^{37} \sim 10^{41} \text{ erg/s}$ の $\text{Ly}\alpha$ 放射強度が得られ、観測されている LAE の $\text{Ly}\alpha$ 放射強度の重要な一部であることがわかった。

上記の結果は、宇宙論的な構造形成研究において重要な知見を与えるものである。よって、本論文は博士 (理学) の学位論文として十分価値あるものと認める。