Авторы – Галстян Тигран Ваганович, отдел 53, **представлено по номинации молодых ученых**

Название – Цикл Работ «Холловская магнитная гидродинамика для описания процессов в частично ионизованной плазме»

Ссылки на публикации:

Galstyan, T.V., Koshkina, D.A., Klimachkov, D.A., Petrosyan, A.S. A Theory of Large-Scale Flows of Rotating Partially Ionized Space and Astrophysical Plasma in the Approximation of Hall Magnetohydrodynamics. Plasma Phys. Rep. 50(9), 1165–1179 (2024)., **DOI:** 10.1134/S1063780X24601159

Galstyan, T.V., Petrosyan, A.S. Large-Scale Convection of Rotating Partially Ionized Space and Astrophysical Plasmas in the Hall-Magnetohydrodynamics Approximation. Plasma Phys. Rep. 51(12), 1488-1500 (2025)., **DOI:** 10.1134/S1063780X25603554

T. Galstyan, A. Petrosyan. Convection in Partially Ionized Plasma in the Frame of Hall Magnetohydrodynamics: Bénard Problem. Phys. Plasmas 33, 022113 (2026)., **DOI:** 10.1063/5.0305136

Galstyan, T.V., Petrosyan, A.S. The Anelastic Approximation for Rotating Partially Ionized Space and Astrophysical Plasmas. Linear Stratified Flows. Plasma Phys. Rep. 52(9), 1188-1197 (2026): **DOI:** 10.1134/S1063780X26600581

Общая формулировка научной проблемы и ее актуальность:

Значительная часть космической и астрофизической плазмы является частично ионизованной: она представляет собой плазму с газовой добавкой. В качестве примера отметим протопланетные диски, атмосферы Горячих Юпитеров, Солнце и звезды, термосферно-ионосферные системы планет. Динамика частично ионизованной плазмы существенным образом определяется эффектами Холла и амбиполярной диффузии, которые играют ключевую роль в генерации магнитных полей, в переносе энергии, а также в формировании крупномасштабных течений и конвекции. Наряду с эффектами Холла и амбиполярной диффузии важнейшей особенностью космических объектов является вращение, которое обуславливает динамику крупномасштабных течений и конвекции.

Традиционная модель многожидкостной магнитной гидродинамики, описывающая динамику частично ионизованной плазмы, является сложной как для теоретического анализа, так и для численного моделирования, что определяет актуальность развития последовательной теории с одной стороны упрощающей анализ течений частично ионизованной плазмы, но с другой стороны учитывающей ключевые эффекты Холла, амбиполярной диффузии и вращения.

Конкретная решаемая в работе задача и ее значение:

В рамках цикла работ решается задача развития теории вращающейся частично ионизованной плазмы в рамках подхода холловской магнитной гидродинамики. В частности, поставлены и решены следующие задачи:

- Последовательный вывод системы уравнений, описывающей движение центра масс частично ионизованной плазмы с учетом вращения, эффекта Холла и амбиполярной диффузии, а также вязкости и теплопроводности
- Анализ линейных течений и получение дисперсионных соотношений для новых типов волн во вращающейся частично ионизованной плазме
- Развитие теории вращающейся вязкой и теплопроводящей частично ионизованной плазмы в приближении Буссинеска
- Решение задачи Рэлея-Бенара о конвекции слоя частично ионизованной плазмы, подогреваемого снизу

- Формулировка и обоснование неупругого приближения для холловской магнитной гидродинамики стратифицированной частично ионизованной плазмы, а также получение дисперсионных соотношений новых типов стратифицированных волн во вращающейся частично ионизованной плазме

Развитая теория имеет широкий потенциал применимости для описания явлений и процессов в различных космических и астрофизических объектах. Например, исследование коронального дождя на Солнце связано с конвективной неустойчивостью в атмосфере Солнца, где наличие нейтральной компоненты обуславливает нагрев, засчет механизма амбиполярной диффузии. В астрофизике молекулярных облаков частичная ионизованность плазмы усиливает сопротивление к самогравитации, что является ключевым для понимания процессов звездообразования. Крупномасштабные волновые течения в частично ионизованной плазме обуславливают процессы переноса. Кроме того, развитая теория может быть применена для моделирования экзопланетных атмосфер захваченных приливными силами родительской звезды, течений планетных ионосфер, а также исследования турбулентности в астрофизических дисках.

Используемый подход, его новизна и оригинальность:

Подход основан на последовательном выводе уравнений холловской магнитной гидродинамики для центра масс плазмы из уравнений многожидкостной магнитной гидродинамики при наличии вращения. Впервые идеи холловской магнитной гидродинамики обобщены на случай вязкой и теплопроводящей частично ионизованной плазмы. В этом случае в предположении, что нейтральная компонента играет роль термостата для заряженной компоненты плазмы, получено уравнение энергии для центра масс частично ионизованной плазмы.

Оригинальность используемого подхода заключается в учете вращения, эффектов Холла и амбиполярной диффузии, вязкости и теплопроводности частично ионизованной плазмы в рамках единой магнитогидродинамической модели.

Полученные результаты и их значимость:

В цикле работ получены следующие основные результаты:

1. Развита теория крупномасштабных течений вращающейся частично ионизованной космической и астрофизической плазмы в приближении холловской магнитной гидродинамики.
2. Показано существование и получены дисперсионные соотношения модифицированных свистовых волн, медленных и быстрых звуковых волн во вращающейся частично ионизованной плазме.
3. Решена задача конвективной неустойчивости слоя вращающейся частично ионизованной плазмы, подогреваемого снизу. Найдены порог и инкремент нарастания конвективной неустойчивости.
4. Показано существование и найдены дисперсионные соотношения внутренних волн во вращающейся стратифицированной частично ионизованной плазме.
5. Показано существование и найдены дисперсионные соотношения стратифицированных свистовых волн, стратифицированных Альфвеновских волн и стратифицированных магнито-гравитационных волн во вращающейся частично ионизованной плазме.

Значимость полученных результатов состоит в том, что они создают теоретическую основу для численного моделирования и интерпретации наблюдательных данных процессов в космических и астрофизических объктах, упомянутых ранее.