

Работа Климачкова Д.А., выдвинутая по номинации молодых ученых

Климачков Д.А., Петросян А.С., Крупномасштабная сжимаемость во вращающихся течениях астрофизической плазмы в приближении мелкой воды, ЖЭТФ, Том 154, Вып. 6, стр. 1239, 2018

Общая формулировка научной проблемы и ее актуальность

Работа посвящена изучению крупномасштабных сжимаемых течений в плазменной астрофизике. Для изучения тонкого слоя внутри Солнца, находящегося под конвективной зоной (солнечный тахоклин), для изучения распространения аккрецирующей материи в нейтронных звездах, для изучения динамики аккреционных дисков в астрофизике, а также для изучения динамики атмосфер нейтронных звезд и магнитоактивных атмосфер экзопланет, захваченных приливами несущей звезды необходимы более точные модели описания соответствующих процессов. В широком смысле целью плазменной астрофизики является изучение и описание поведения плазмы для того чтобы понять детальную эволюцию различных объектов, наблюдаемых во Вселенной: от звезд и планетных систем до галактик и кластеров галактик. Сила и потенциальное преимущество плазменной астрофизики, как области знаний состоит в том, что одинаковые фундаментальные плазменные процессы возникают в различных астрофизических объектах.

Конкретная решаемая в работе задача и ее значение

В работе развивается нелинейная теория волн магнито-Пуанкаре и волн Россби в плазменной астрофизике с учетом крупномасштабной сжимаемости. Важным принципиальным свойством течений в астрофизической плазме является свойство сжимаемости, характеризующее большинство наблюдаемых во Вселенной плазменных течений. Волны магнито-Пуанкаре и волны Россби во вращающейся сжимаемой астрофизической плазме определяют крупномасштабную динамику Солнца и звезд, атмосферную динамику нейтронных звезд, динамику магнитоактивных атмосфер экзопланет, захваченных приливами от несущей звезды. Несмотря на сложность наблюдения волн Россби в астрофизической плазме, они недавно были обнаружены в зонах солнечной активности. Помимо важной роли волн Россби в физике Солнца, отметим их важную роль в динамике звезд. Недавние наблюдения миссий CoRoT и Кеплер продемонстрировали наличие в звездной активности временных масштабов, соответствующих периоду волн Россби.

Используемый подход, его новизна и оригинальность

Для анализа возможности трехволновых взаимодействий волн в магнитной гидродинамике вращающейся астрофизической плазмы с учетом крупномасштабной сжимаемости в приближении мелкой воды использован качественный анализ дисперсионных соотношений линейных волн. А именно, реализация трехволновых взаимодействий для волн определяется возможностью выполнения условий синхронизма для трех взаимодействующих волн. Это значит, что найдутся три волны такие, что частота и волновой вектор одной из волн будут суммой частот и суммой волновых векторов двух других волн соответственно. Для получения уравнений в слабонелинейном приближении использован асимптотический метод многомасштабных разложений. Используя решения для невозмущенного состояния в виде линейных волн, были получены уравнения для медленно меняющихся амплитуд как условие совместности, обеспечивающее равномерность асимптотического разложения на соответствующих временных и пространственных масштабах.

Полученные результаты и их значимость

В работе исследованы эффекты сжимаемости в магнитной гидродинамике вращающейся астрофизической плазмы в приближении мелкой воды. В работе предложено обобщение

системы магнитогидродинамических уравнений в приближении мелкой воды на случай течения во внешнем вертикальном магнитном поле с учетом крупномасштабной сжимаемости. Учет вертикального магнитного поля существенно расширяет возможности применения приближения мелкой воды в задачах плазменной астрофизики. Упрощенная система магнитогидродинамических уравнений в приближении мелкой воды, используемая в работе, получается из исходных уравнений магнитной гидродинамики сжимаемой плазмы усреднением по глубине в предположении гидростатичности распределения давлений и малости толщины слоя по отношению к характерному горизонтальному линейному размеру задачи. В результате в этом приближении фильтруются звуковые волны, и учитывается зависимость плотности от давления на крупных масштабах, описывающая эффекты статической сжимаемости. На основе предложенной системы уравнений получены новые магнитогидродинамические уравнения мелкой воды для сферических течений в приближении бета-плоскости с учетом крупномасштабной сжимаемости. Развита теория линейных волн на основе предложенных уравнений. В случае уравнений на f -плоскости полученные дисперсионные соотношения для волн магнито-Пуанкаре и магнитострофических волн существенным образом зависят как от высоты свободной поверхности, так и от величины, характеризующей степень изменения плотности вследствие статической сжимаемости, а также от термодинамических характеристик плазмы. Аналогично в случае уравнений на бета-плоскости дисперсионные соотношения для волн магнито-Россби во внешнем вертикальном магнитном поле и волн магнито-Россби в горизонтальном магнитном поле зависят как от высоты свободной поверхности, так и от величины, характеризующей степень изменения плотности вследствие статической сжимаемости, а также от термодинамических характеристик плазмы. Кроме того, показано, что скорость распространения слабых возмущений в обеих системах также зависит от степени изменения плотности. Таким образом, исследование линейных волн в магнитной гидродинамике вращающейся плазмы с учетом крупномасштабной сжимаемости показывает зависимость групповых скоростей волн магнито-Пуанкаре, магнитострофических волн, волн магнито-Россби от степени сжимаемости плазмы. Несмотря на изменения в кривизне дисперсионных кривых линейных волн в обеих моделях, сохраняются те же самые условия реализации трехволновых взаимодействий в приближении слабой нелинейности. В работе методом многомасштабных разложений получены коэффициенты взаимодействия трех волн в приближении слабой нелинейности. Найдена зависимость коэффициентов взаимодействия для волн магнито-Пуанкаре волн и магнитострофических волн, для волн магнито-Россби во внешнем вертикальном магнитном поле, а также для волн магнито-Россби в горизонтальном магнитном поле от величины изменения плотности, вызванного крупномасштабной сжимаемостью. Аналогичные зависимости найдены для инкрементов параметрических неустойчивостей.