

Цикл работ Климачкова Д.А., выдвинутый по номинации молодых ученых.

1. Авторы

Климачков Д.А.

2. Название

Нелинейные волновые процессы во вращающейся астрофизической плазме

3. Публикации

3.1. Klimachkov D.A., Petrosyan A.S., Parametric Instabilities in Shallow Water Magnetohydrodynamics of Astrophysical Plasma in External Magnetic Field, Phys. Lett. A, 381, p.106, 2017

3.2. Климачков Д.А., Петросян А.С., Волны Россби в магнитной гидродинамике вращающейся плазмы в приближении мелкой воды, ЖЭТФ, Том 152, Вып. 4, стр. 705, 2017

4. Общая формулировка научной проблемы и ее актуальность

Цикл работ посвящен изучению крупномасштабных течений в плазменной астрофизике. Целый ряд новых приложений, возникших в последние годы, актуализирует задачу изучения крупномасштабных магнитогидродинамических течений, например, для изучения тонкого слоя внутри Солнца, находящегося под конвективной зоной (солнечный тахоклон), 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. 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.

5. Конкретная решаемая задача и ее значение

Цикл работ посвящен развитию нелинейной теории волн магнито-Пуанкаре и волн Россби в плазменной астрофизике. Волны магнито-Пуанкаре и волны Россби во вращающейся астрофизической плазме определяют крупномасштабную динамику Солнца и звезд, атмосферную динамику нейтронных звезд, динамику магнитоактивных атмосфер экзопланет, захваченных приливами от материнской звезды. Несмотря на сложность наблюдения волн Россби в астрофизической плазме, они совсем 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.

6. Используемый подход, его новизна и оригинальность

Для анализа возможности трехволновых взаимодействий волн в магнитной гидродинамике вращающейся астрофизической плазмы со свободной поверхностью 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 пакетов 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.

7. Полученные результаты и их значимость

Получены новые магнитогидродинамические уравнения мелкой воды для течений тонкого вращающегося слоя плазмы со свободной границей в поле силы тяжести во внешнем вертикальном магнитном поле [3.1]. Система уравнений записана относительно переменных высоты слоя, усредненных по высоте горизонтальных скоростей и усредненных по высоте слоя магнитных полей. При этом наличие вертикального магнитного поля приводит к существенным изменениям горизонтальной динамики магнитного поля в приближении мелкой воды. В присутствии внешнего вертикального магнитного поля горизонтальное магнитное поле не соленоидально. Таким образом, показано, что вертикальные изменения магнитного поля отличны от нуля, и условие бездивергентности содержит вертикальную составляющую. Поэтому, чтобы корректно удовлетворить условию бездивергентности магнитного поля, необходимо учесть уравнение для вертикального изменения магнитного поля. Таким образом, найдено, что магнитное поле является принципиально трехкомпонентным, и каждая из его компонент зависит только от горизонтальных координат.

Развита слабонелинейная теория волновых взаимодействий в крупномасштабных течениях вращающегося слоя плазмы со свободной поверхностью в поле силы тяжести на ровной границе в вертикальном внешнем магнитном поле [3.1]. Использовано приближение мелкой воды магнитной гидродинамики для получения уравнений взаимодействия волновых пакетов волн магнито-Пуанкаре и магнитострофических волн. Показано, что наличие вертикального магнитного поля обеспечивает выполнение условий синхронизма: следующих конфигураций трех волн: три волны магнито-Пуанкаре три магнитострофические волны, а также две магнитострофические волны и одна волна магнито-Пуанкаре и две волны магнито-Пуанкаре и одна магнитострофическая волна. Для каждого из обнаруженных видов взаимодействий получены системы нелинейных уравнений для медленно меняющихся амплитуд взаимодействующих волн асимптотическим методом многомасштабных разложений. Показано, что в слабонелинейном приближении реализуются распадные неустойчивости и найдены их инкременты.

В работе [3.2] сделан существенный шаг в изучении магнитогидродинамических волн Россби, а именно, линейная теория обобщена на случай слабой нелинейности. Для описания крупномасштабных волн магнито-Россби использовано приближение бета-плоскости для силы Кориолиса, в котором величина вертикальной компоненты скорости вращения изменяется в зависимости от широты. Магнитогидродинамические уравнения мелкой воды на бета-плоскости во внешнем магнитном поле записываются с учетом тождеств, обеспечивающих бездивергентность магнитного поля в приближенных уравнениях. При отсутствии внешнего магнитного поля система уравнений мелкой воды сводится к традиционной и имеет стационарные решения в виде горизонтальных (полоидального, тороидального и их суммы) магнитных полей. Для каждого из стационарных состояний развита слабонелинейная теория волн асимптотическим методом многомасштабных разложений, найдены системы нелинейных уравнений для медленно меняющихся амплитуд взаимодействующих волн Россби во внешнем вертикальном магнитном поле и волн Россби в горизонтальном магнитном поле. Исследованы параметрические неустойчивости волн магнито-Россби: найдены инкременты неустойчивостей, получены пороговые значения для амплитуд волн накачки, описан процесс насыщения параметрических неустойчивостей.