**Изучение закономерностей влияния магнитных полей на магнитные жидкости со свободной поверхностью**

Тема моей работы – изучение закономерностей влияния магнитных полей на магнитные жидкости со свободной поверхностью. Данная работа является продолжением предыдущей дипломной работы, где была рассмотрена известная задача о неустойчивости слоя магнитной жидкости с плоской поверхностью, помещённого в ортогональное поверхности внешнее магнитное поле. Конфигурация этой задачи представлена на рис.1. Было показано, что ортогональное магнитное поле дестабилизирует поверхность магнитной жидкости при превышении определённого критического значения его напряжённости, а более точно – при превышении некоторого критического значения намагниченности магнитной жидкости.

Однако рассмотрение задачи с параллельным поверхности магнитным полем выявило очень интересную особенность. Оказалось, что параллельное магнитное поле наоборот, стабилизирует случайные волновые возмущения, распространяющиеся на поверхности. Такой эффект был теоретически рассчитан и эксприментально подтверждён несколькими исследователями. Однако авторы при этом не приводят физического объяснения наблюдаемым явлениям, которое может быть полезным при анализе эффектов взаимодействия магнитного поля с магнитной жидкостью без проведения сложных математических расчётов. Поэтому целью данного исследования является построение модели влияния магнитного поля ортогональной и параллельной конфигурации на устойчивость поверхности магнитной жидкости.

Слайд 3:

Для этого была решена задача о неустойчивости струи магнитной жидкости, находящейся в параллельном её поверхности однородном магнитном поле. На рис.2 представлена конфигурация задачи. Струя магнитной жидкости с плотностью , коэффициентом пов. натяжения и магнитной проницаемостью движется с постоянной скоростью вдоль оси во внешней среде с магнитной проницаемостью . Радиус струи в невозмущённом состоянии равен . Напряжённость внешнего магнитного поля определяется вектором . Считаем, что на поверхности распространяется периодическая капиллярная волна с амплитудой и длиной при условии, что её амплитуда мала по сравнению с длиной волны.

Для возможности аналитического решения задачи были допущены упрощения. Во-первых, задача решается в линейном по амплитуде приближении. Во-вторых, жидкость считаем идеальной, несжимаемой, её движение рассматриваем как безвихревое.

Слайд 4 – 5:

Математическую формулировку данной задачи составляют:

* уравнения Лапласа под номерами (1), (2) и (3) для гидродинамического потенциала и потенциалов магнитного поля и для магнитной жидкости и внешней среды соответственно;
* условия для потенциалов на оси струи и на бесконечности (4), (5) и (6);
* граничные условия: условие баланса давлений на поверхности (7), куда входит величина , представляющая собой закон изменения поверхности при распространении волнового возмущения; кинематическое граничное условие (8); условия непрерывности тангенциальных и нормальных компонент векторов напряжённости магнитного поля на границе раздела сред (9) и (10);
* а также материальные уравнения (11), связывающие намагниченность магнитной жидкости с напряжённостью магнитного поля.

Слайд 6:

Неизвестные величины, входящие в выражения математической формулировки задачи, искались в виде следующих периодичнских функций, где – циклическая частота волнового движения, – волновое число, – азимутальное число, учитывающее зависимость амплитуды от угла . Азимутальное число может принимать только целочисленные значения, что следует из цикличности данных величин.

Слайд 7:

В результате решения задачи было получено дисперсионное уравнение (12), которое для удобства представлено в безразмерных переменных. Его анализ показывает, что первое слагаемое всегда положительно, что следует из знаков функций Бесселя, а второе слагаемое может быть отрицательным только тогда, когда азимутальное число . Поскольку неустойчивые волновые возмущения определяются мнимой циклической частотой, то отсюда следует, что вклад в развитие неустойчивости дают только осесимметричные возмущения.

Слайд 8:

На рис.3. представлен график дисперсионного уравнения для осесимметричных мод при трёх различных величинах намагниченности магнитной жидкости. Из него следует, что увеличение внешнего магнитного поля (т.е. намагиченности) сужает спектр неустойчивых мод, а также смещает его в сторону более длинных волн. С практической точки зрения это означает увеличение длины устойчивого участка струи, а также распад на более крупные капли на неустойчивом участке. Таким образом, мы наблюдаем стабилизирующий эффект параллельного магнитного поля. Но необходимо отметить, что струя все равно никогда не будет абсолютно устойчивой, что также следует из дисперсионного уравнения и графика на рис.3.

Слайд 9:

Задача решалась с использованием методов возмущений, в частности, напряжённость магнитного поля была также представлена в виде суперпозиции напряжённости внешнего магнитного поля нулевого порядка малости и малой поправки к напряжённости , учитывающей изменение напряжённости при распространении волнового возмущения на поверхности.

Из векторной суммы (13) следует, что увеличение напряжённости внешнего магнитного поля сопровождается поворотом вектора полной напряжённости в некоторой точке жидкости в некоторый момент времени в сторону вектора напряжённости внешнего магнитного поля.

Слайд 10:

Получается, что с физической точки зрения увеличение внешнего магнитного поля сопровождается разравниванием линий напряжённости внутри струи: в области утолщений струи они уплотняются, а в области утоньшений – разрежаются.

Объём магнитной жидкости можно представить в виде протяжённых блоков однородной намагниченности, «нанизанных» на линии напряжённости магнитного поля. Следовательно, любое изменение линий напряжённости будет приводить к аналогичному изменению конфигурации магнитной жидкости, например, выравнивание возмущённой поверхности вслед за выравниванием линий. Таким образом мы наблюдаем стабилизацию поверхности магнитной жидкости, индуцируемую параллельным магнитным полем.

Здесь представлены линеаризованные уравнения и граничные условия задачи, где – величина, представляющая собой закон изменения поверхности при распространении волнового возмущения, – гидродинамический потенциал, и – потенциалы магнитного поля в магнитной жидкости и во внешней среде соответственно.