левитация сверхпроводящих катушек ловушек-галатей в поле центрального закрепленного сверхпроводящего кольца

1Козинцева М.В., 1Бишаев А.М., 1Буш А.А., 2Гавриков М.Б., 1Десятсков А.В., 1Каменцев К.Е., 2,3Савельев В.В., 1Козлов В.И., 1Федотов А.-Р.Д., 1Зайнуллин Ф.А.

1Российский технологический университет МИРЭА, г. Москва, Россия,   
 [kozintseva@mirea.ru](mailto:kozintseva@mirea.ru)  
2Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН, г. Москва, Россия,   
 [ssvvvv@rambler.ru](mailto:ssvvvv@rambler.ru)  
3Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Москва, Россия,  
 [ssvvvv@rambler.ru](mailto:ssvvvv@rambler.ru)

При разработке магнитных систем ловушек-Галатей [1] было показано, что катушка с обратным током (так называемый «расталкиватель»), расположенная в центральном сечении миксин (катушек ловушки, погруженных в плазму [2]), позволяет не только ослабить электромагнитное взаимодействие миксин, но и оптимизировать конфигурацию магнитного поля ловушки. Поэтому, переходя к системе из трех коаксиальных сверхпроводящих катушек, для создания необходимой для ловушек-Галатей конфигурации магнитного поля целесообразно рассмотреть и исследовать на устойчивость следующую конфигурацию: две сверхпроводящие катушки-миксины левитируют в поле закрепленной центральной сверхпроводящей катушки (с током обратного к току в миксинах направления). В [3] была рассмотрена устойчивость левитирующих колец этой системы относительно вертикальных смещений, и получена аналитическая зависимость потенциальной энергии такой конфигурации от координат свободных колец вдоль оси системы в однородном поле силы тяжести в приближении тонких колец. В настоящей работе для поиска левитирующих состояний миксин, устойчивых и к их вертикальным смещениям, и к отклонениям их осей от общей оси системы в тех же предположениях получена аналитическая зависимость потенциальной энергии *U*(*x*1,*x*3,*θ*1,*θ*3,*ϕ*) системы из трех коаксиальных сверхпроводящих колец, захвативших заданные магнитные потоки, от координат свободных колец *xi* вдоль оси системы и углов отклонения их осей *θi* от общей оси системы. Кроме того, необходимо было ввести в рассмотрение еще одну переменную – угол *ϕ* между проекциями нормалей  и  к плоскостям левитирующих колец № 1 и № 3 на горизонтальную плоскость. При всех рассмотрениях предполагалось, что сверхпроводники сохраняют захваченный магнитный поток. Расчеты в системе Mathcad показали, что при определенных значениях физических параметров (захваченные магнитные потоки, размеры и массы колец) эта зависимость имеет локальные минимумы, которые соответствуют устойчивым по *x* и *θ* состояниям равновесия левитирующих колец, то есть было доказано существование решения для этой системы. По определенным из расчетов значениям токов в катушках-кольцах в равновесном состоянии было выполнено моделирование и анализ создаваемых левитирующей системой магнитных полей с использованием программы FEMME для выбора из данного множества равновесных состояний тех из них, которые обеспечивают необходимую для ловушки-Галатеи конфигурацию магнитного поля.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства образования и науки РФ на проведение научных исследований, проект №8.4853.2017/БЧ.

Литература

1. Морозов А.И., Бугрова А.И, Бишаев А.М., Козинцева М.В. и др. Физика плазмы, 2006, т. 32, № 3, с. 195 – 206.
2. Морозов А.И., Савельев В.В. УФН, 1998, т. 168, вып. 11, с. 1153 – 1194.
3. Бишаев А.М., Буш А.А, Козинцева М.В. и др. ЖТФ, 2013, т. 83, вып. 5, с. 61 – 68.