Исследование и испытание магнитной системы электромагнитной ловушки «Юпитер-1М»

ГЕОРГИЕВСКИЙ А. В., ЗИСЕР В. Е., ЛАВРЕНТЬЕВ О. А., НОЗДРАЧЕВ М. Г., ПОГОЖЕВ Д. П.

УДК 621.039.624: 537.212

Экспериментальная установка «Юпитер-1М», предназначенная для получения и исследования плазмы термоядерных параметров (плотностью до 10^{14} *см*$^{-3}$ и средней энергией ионов более 15 *кэв*) представляет собой ловушку остроугольной геометрии, магнитные щели которой закрыты отрицательными электростатическими потенциалами [1]. Основные параметры и размеры (рис. 1) следующие:

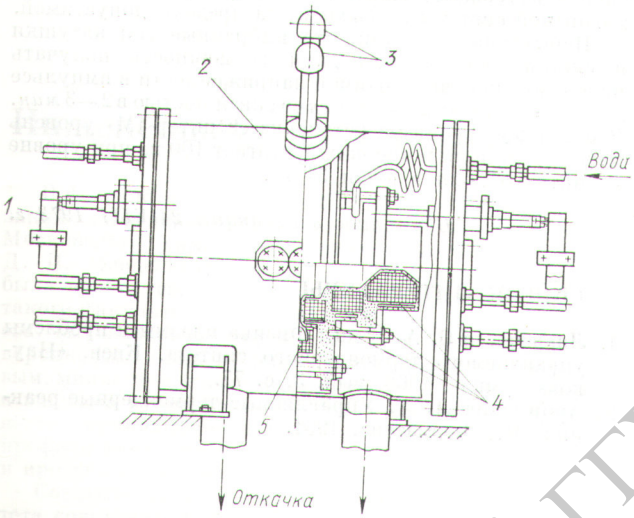

Рис. 1. Установка «Юпитер-1М»:

1 — выводы катушек; *2* — камера; *3* — выводы электродов; *4* — катушки магнитной системы; *5* — изолятор.

1. Радиус области удержания (от горизонтальной оси до центра кольцевой щели) $R = 10$ *см*.
2. Длина области удержания (между продольными магнитными пробками) $2L = 41$ *см*.
3. Ширина кольцевой щели $2a = 0{,}1$ *см*.
4. Радиус осевого отверстия (в районе центра крайней катушки) $r_0 = 0{,}5$ *см*.
5. Магнитная система установки питается от конденсаторной батареи емкостью 0,025 *ф* напряжением до 4,5 *кв*. При этом расчетная величина напряженности магнитного поля в пробках $H_{пр} = 130$ *кэ*, а в щели $H_щ = 40$ *кэ*. Длительность полупериода тока в обмотках 25 *мсек*.

Магнитная система установки (рис. 2) выбрана таким образом, что весь магнитный поток, проходящий через кольцевую щель, выходит через осевые отверстия [2]. Магнитное поле в центральной области такой системы описывается уравнениями

$$A_\varphi = \frac{H_щ}{R} rz; \quad H_r = -\frac{H_щ}{R} r; \quad H_z = \frac{2H_щ}{R} z,$$

где A_φ — магнитный потенциал; H_r — составляющая магнитного поля в плоскости симметрии; H_z — составляющая магнитного поля на оси; r и z — координаты.

Образующая поверхности, ограничивающей плазменный объем, описывается уравнением

$$r^2 z = \text{const} = R^2 a.$$

Расчетные графики распределения напряженности магнитного поля вдоль оси, а также по радиусу в плоскости симметрии установки, траектория силовой линии, лежащей на поверхности, ограничивающей плазменный объем, приведены на рис. 3.

Экспериментальная проверка распределения напряженности вдоль оси, а также по радиусу в плоскости симметрии, проведенная в постоянном режиме при помощи датчика Холла, показала, что фактическая картина распределения H с точностью до $\pm 2{,}5\%$ соответствует расчетной. К точности таких магнитных систем предъявляются достаточно высокие требования (несоосность правой и левой частей не должна превышать 0,05 *см*, перекос 30′; несовпадение плоскостей геометрической и магнитной симметрии на среднем радиусе щели не должно быть более 0,01 *см*). Поэтому экспериментально были определены траектории силовых линий, образующих поверхность, ограничивающую плазменный объем.

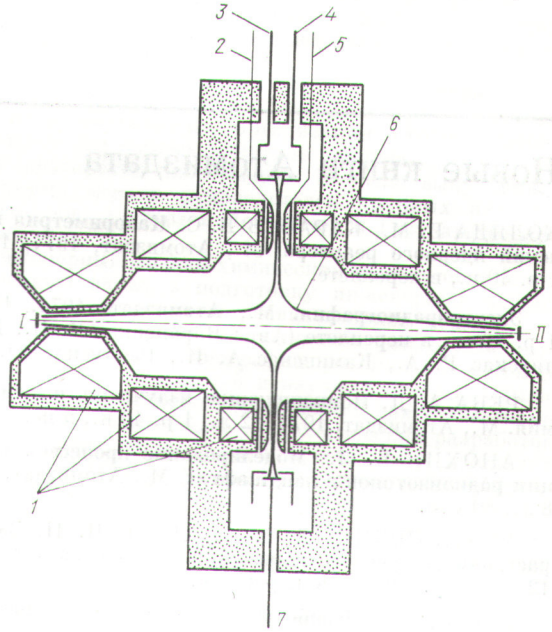

Рис. 2. Магнитная система установки «Юпитер-1М» и схема эксперимента:

1 — катушки; *2*, *5* — выводы электродов, ограничивающих щель; *3*, *4* — выводы боковых кольцевых электродов; *6* — образующая поверхности, ограничивающей плазменный объем; *7* — центральный электрод; *I* и *II* — места расположения электронных пушек.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

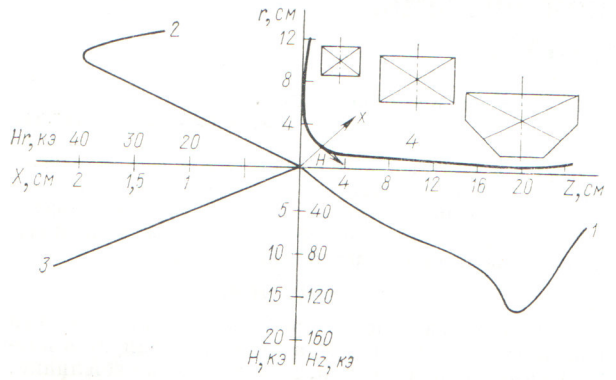

Рис. 3. Распределение напряженности магнитного поля вдоль оси (*1*), в плоскости симметрии установки «Юпитер-1М» (*2*), в направлении *x* (*3*) и траектория магнитных силовых линий (*4*), ограничивающих плазменный объем.

Схема эксперимента показана на рис. 2. В областях *I* и *II* (на расстоянии ±24 *см* от центра установки) расположены точечные пушки, конструкция которых позволяет инжектировать в ловушку электроны энергией 30 *эв* из любой точки области радиусом 1 *см* (точность установки по радиусу 0,5 *мм*).

По величине токов на электроды *2*, *3*, *4*, *5*, *7* при различных положениях источника электронов можно судить о совпадении геометрической и магнитной осей, а также геометрической и магнитной плоскостей симметрии. Эксперименты проводились в постоянном режиме при уровне напряженности магнитного поля в пробках 3 *кэ* и показали, что весь магнитный поток, ограниченный окружностью радиусом 0,5 *см* в середине осевых отверстий, проходит через щель размером 1 *мм* и попадает на центральный электрод *7*; при увеличении радиуса до 0,6 *см* часть потока попадает на электроды *3* и *4*, а дальнейшее увеличение радиуса приводит к тому, что магнитный поток начинает «цепляться» за электроды *2* и *5*, ограничивающие размер щели. При вращении точечных источников вокруг геометрической оси магнитной системы распределение тока на электроды остается неизменным для правой и левой частей установки, что свидетельствует о хорошем совпадении геометрической и магнитной осей, а также геометрической и магнитной плоскостей симметрии. Проведенная при исследовании оценка возможных ошибок показывает, что неточность магнитной системы не выходит за пределы допустимой.

Испытания показали, что выбранные тип катушки и системы охлаждения дают возможность получать магнитное поле необходимой напряженности в импульсе длительностью до 25—30 *мсек* со скважностью в 2—3 *мин*. В настоящее время на установке «Юпитер-1М» уровень магнитного поля в пробках достигает 100 *кэ* при уровне магнитного поля в щели 31 *кэ*.

Поступило в Редакцию 24/VIII 1973 г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Лаврентьев О. А.** В кн.: Физика плазмы и проблемы управляемого термоядерного синтеза. Киев, «Наукова думка», 1968, вып. 3, с. 77.
2. **Арцимович Л. А.** Управляемые термоядерные реакции. М., Физматгиз, 1961.

Новые книги Атомиздата

КОЛЯДА В. М., КАРАСЕВ В. С. **Калориметрия излучений ядерного реактора.** М., Атомиздат, 1974, 12 л., 1 р. 40 к., в переплете.

Электрорадиография. М., Атомиздат, 1974, 15 л., 1 р. 70 к., в переплете (Авт.: Варанецкас И. П., Каваляускас Р. А., Каминскас А. И., Ракаускас Ю. К.).

РЕВА А. Д. **Ионизирующие излучения и нейрохимия.** М., Атомиздат, 1974, 12 л., 1 р. 40 к., в переплете.

АНОХИН В. Л. **Моделирование процессов миграции радиоизотопов в ландшафтах.** М., Атомиздат, 1974, 8 л., 80 коп.

ГРОДЗИНСКИЙ Д. М., ГУДКОВ И. Н. **Защита растений от лучевого поражения.** М., Атомиздат, 1974, 12 л., 1 р. 40 к., в переплете.

БОЛАНД Дж. **Приборы контроля ядерного реактора (внутризонные).** Перев. с англ. М., Атомиздат, 1974, 16 л., 1 р. 80 к., в переплете.

Сравнительная клеточная и видовая радиочувствительность. Под ред. В. Бонда и Т. Сугахары. Перев. с англ. Под ред. И. Г. Акоева. М., Атомиздат, 1974, 15 л., 1 р. 70 к., в переплете.

МЮЛЛЕР Г., МАЙЕРБЕРГЕР К., ШПРИНЦ Х. **Специальные методы анализа стабильных изотопов.** Перев. с нем. М., Атомиздат, 1974, 30 л., 3 р. 20 к., в переплете.

РУМЯНЦЕВ С. В. **Радиационная дефектоскопия.** Изд. 2-е, М., Атомиздат, 1974, 35 л., 3 р. 70 к., в переплете.

ТАРАСЕНКО Н. Д. **Вторжение в клетку (радиация и селекция растений).** Изд. 3-е, перераб. и доп. М., Атомиздат, 1974, 6 л., 25 к.

ГЛАДКОВ К. А. **Атом от А до Я.** Изд. 2-е, перераб. и доп. М., Атомиздат, 1974, 12 л., 60 коп., в переплете.

КЮРИ Е. **Мария Кюри.** Перев. с франц. Изд. 3-е (2-е изд. в 1968 г.). М., Атомиздат, 1974, 20 л., 1 р. 20 к., в переплете.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ имени Ф. Скорины