

Номер Соглашения о предоставлении субсидии: 14.604.21.0065

Тема: «Разработка компактного нейтронного источника высокой интенсивности для бор-нейтронозахватной терапии онкологических заболеваний»

Приоритетное направление: Науки о жизни

Критическая технология: Технологии снижения потерь от социально значимых заболеваний

Период выполнения: 27.06.2014 - 31.12.2016

Плановое финансирование проекта: 31.60 млн. руб.

Бюджетные средства 25.00 млн. руб.,

Внебюджетные средства 6.60 млн. руб.

Получатель: Федеральное государственное бюджетное научное учреждение

"Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики Российской академии наук"

Индустриальный партнер: Закрытое акционерное общество "Научно-производственное предприятие "ГИКОМ"

Ключевые слова: нейтронный источник, лучевая терапия, бор-нейтронозахватная терапия онкологических заболеваний, квазигазодинамический источник ионов дейтерия, гиротрон

1. Цель проекта

Разработка основных систем, создание и исследовательские испытания макета компактного нейтронного источника высокой интенсивности для бор-нейтронозахватной терапии онкологических заболеваний.

2. Основные результаты проекта

- Проведен обзор современной научно-технической литературы, затрагивающей научно-техническую проблему, исследуемую в рамках проекта.
- Проведены патентные исследования.
- Разработан макет вакуумной системы макета компактного нейтронного источника.
- Разработан макет системы ввода СВЧ излучения макета компактного нейтронного источника.
- Разработан и изготовлен макет катодного узла гиротрона, проведена модернизация гиротронного комплекса.
- Разработаны макеты соленоидов магнитной ловушки макета компактного нейтронного источника. Выполнен расчет распределения магнитного поля, создаваемого соленоидами. Разработана ЭКД на макеты соленоидов магнитной ловушки макета компактного нейтронного источника.
- Разработан макет системы формирования ионного пучка макета компактного нейтронного источника. Выполнено моделирование процесса извлечения ионного пучка разработанной системой. Разработана ЭКД на макет системы формирования ионного пучка макета компактного нейтронного источника.
- Разработан макет системы высоковольтной изоляции макета компактного нейтронного источника. Разработана ЭКД на макет системы высоковольтной изоляции макета компактного нейтронного источника.
- Разработана эскизная конструкторская документация на макет компактного нейтронного источника.
- Изготовлен макет компактного нейтронного источника.
- Проведены экспериментальные исследования параметров плазмы макета компактного нейтронного источника при использовании для ее нагрева СВЧ излучения с частотой 37,5 ГГц.

- Проведены экспериментальные исследования параметров ионного пучка, формируемого в макете компактного нейтронного источника, при использовании для нагрева плазмы СВЧ излучения с частотой 37,5 ГГц.

- Проведены экспериментальные исследования параметров нейтронного потока, генерируемого макетом компактного нейтронного источника при использовании для нагрева плазмы СВЧ излучения с частотой 37,5 ГГц.

Рассчитано распределение давления в вакуумной системе и подобрана вакуумная арматура и насосы для обеспечения требуемого уровня вакуума в системе. Разработанная вакуумная система при работе макета компактного нейтронного источника обеспечит: высокую чистоту плазмы, создаваемой в ловушке ионного источника - содержание примесей не более 10 %; низкий уровень остаточного вакуума не выше $1 \cdot 10^{-6}$ Торр. Используемые вакуумная арматура и вакуумное оборудование соответствует стандартам CF, KF и ISO.

Выполнено численное моделирование и подбор геометрии системы ввода СВЧ излучения макета. Выполнены расчеты и оптимизация модовой структуры поля СВЧ волны внутри всего вакуумного объема источника, в котором происходит распространение излучения и его взаимодействие с плазмой. Разработанная система ввода СВЧ излучения обеспечивает:

коэффициент прохождения излучения в форме гауссова пучка с частотами 37,5 и 75 ГГц и мощностью до 200 кВт через нее не ниже 95%; защиту от попадания плазмы из магнитной ловушки на входное кварцевое СВЧ-окно; эффективное согласование излучения с плазмой внутри магнитной ловушки и нагрев электронной компоненты в условиях электронного циклотронного резонанса.

В ходе испытаний модернизированного гиротронного комплекса достигнута стабильная генерация СВЧ излучения с частотой 37,5 ГГц и мощностью 100 кВт.

Соленоиды магнитной системы позволяют создавать магнитное поле ловушки с максимальным значением 3,5 Тл. Конструкция соленоидов обеспечивает возможность их монтажа совместно с вакуумной системой, разработанной на первом этапе.

Конструкция системы формирования ионного пучка обеспечивает возможность работы с высоким напряжением до 100 кВ.

Разработанная система формирования ионного пучка позволяет использовать апертуры с диаметрами 5, 7 и 10 мм. Система питания обеспечивает возможность извлечения ионных пучков с током до 500 мА.

Система высоковольтной изоляции макета компактного нейтронного источника, обеспечивает возможность работы с высоким напряжением, приложенным к системе формирования ионного пучка до 100 кВ. Система высоковольтной изоляции обеспечивает требуемую электропрочность в условиях использования в сочетании с разработанными вакуумной системой, соленоидами магнитной ловушки и системой ввода СВЧ излучения.

Изготовлен макет компактного нейтронного источника. Макет компактного нейтронного источника включает: гиротронный комплекс; вакуумную систему; систему ввода СВЧ излучения; магнитную ловушку, включающую соленоиды; систему формирования ионного пучка; систему высоковольтной изоляции.

Показано, что плотность плазмы в ловушке макета компактного нейтронного источника составляла $1.7 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-3}$, температура электронов достигала 55 эВ, что соответствует оптимальным условиям для формирования атомарных ионов дейтерия. Также важно отметить, что по параметрам плазмы можно утверждать, что в магнитной ловушке реализовывался квазигазодинамический режим удержания плазмы с изотропной, что позволяет рассчитывать на повышения результатов с точки зрения максимально возможного тока экстрагируемого ионного пучка. Получены пучки ионов дейтерия с током до 500 мА при нормализованном среднеквадратическом эмиттансе $0.07 \text{ п} \cdot \text{мм} \cdot \text{мрад}$ и атомарной фракцией ионов более 90%.

Показано что в условиях проведенных экспериментов нейтронный выход с мишени достигал $1,7 \cdot 10^9 \text{ с}^{-1}$.

В результате модернизации гиротронного комплекса криомагнит теперь позволяет создавать магнитное поле на своей оси до 4

Тл, чего достаточно для работы с гиротроном с частотой излучения 75 ГГц.

В ходе проведенных разработок были использованы оригинальные методики. Полученные на этапе результаты полностью соответствуют требованиям ТЗ.

Изготовленный макета компактного нейтронного источника и экспериментальные исследования выполнены на высоком уровне, соответствующем мировому.

3. Охраноспособные результаты интеллектуальной деятельности (РИД), полученные в рамках прикладного научного исследования и экспериментальной разработки

Заявка о выдаче патента РФ на изобретение "Сильноточный источник пучков ионов на основе плазмы электронно-циклотронного резонансного разряда, удерживаемой в открытой магнитной ловушке", номер регистрации ФИПС 2015153002 от 10.12.2015

4. Назначение и область применения результатов проекта

Полученные результаты могут быть применены в таких областях как:

- здравоохранение (клинические и научно-исследовательские центры для повышения эффективности лечения онкологических заболеваний);
- наука (научные подразделения, занимающиеся исследованиями в области нейтронной терапии онкологических заболеваний и вопрос влияния нейтронов на организм человека);
- образование (повышение уровня подготовки специалистов в области медицинской физики).

5. Эффекты от внедрения результатов проекта

Результаты работ могут быть использованы для проведения экспериментальных исследований, направленных на развитие методов нейтронной и бор-нейтронозахватной терапии онкологических заболеваний.

6. Формы и объемы коммерциализации результатов проекта

2

Полученные на данный момент результаты демонстрируют перспективность в плане коммерциализации по средствам производства и продажи компактных нейтронных источников. Однако подробный анализ будет возможен только на после проведения дополнительных исследований и разработок.

7. Наличие соисполнителей

Соисполнители работ отсутствуют.