

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию **Ижойкина Дмитрия Александровича** «Плазменное окисление изотопов углерода в магнитном поле», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы.

Актуальность темы диссертации

В связи с растущим спросом различных отраслей народного хозяйства на изотопно-обогащенные материалы, интерес представляют исследования, связанные с развитием эффективных технологий сепарации изотопов, среди которых можно выделить химические реакции в низкотемпературной плазме.

При этом новым является применение внешнего магнитного поля для изменения скоростей химических реакций для различных изотопов в неравновесных условиях плазмы. В этой связи исследования плазменного окисления изотопов углерода в магнитном поле являются актуальными.

Достоверность и новизна результатов исследований

Достоверность результатов, полученных в работе, обеспечена использованием аттестованных методик и приборов, апробированными программными комплексами для численных исследований, отсутствием противоречий между экспериментальными и теоретическими данными.

Диссертация Д.А. Ижойкина посвящена изучению влияния внешнего постоянного магнитного поля на плазменные процессы в высокочастотном факельном разряде в аргоне и гелии, содержащем пары углерода и примеси кислорода. Диссертационная работа включает: введение, четыре главы, заключение, приложение, список сокращений и условных обозначений и список цитируемой литературы. Объем диссертации составляет 155 страниц печатного текста, список цитируемых источников включает 226 наименований.

Ряд представленных в диссертации результатов являются новыми и описывают ранее неизученные эффекты.

Первая глава посвящена обзору работ по использованию магнитного поля в создании изотопного перераспределения, методов моделирования низкотемпературной плазмы, способам ее диагностики, разделению изотопов в плазменных условиях. Установлено, что исследования влияния магнитного поля на изотопный состав продуктов плазмохимических реакций являются новыми и стоят на стыке плазмохимии и магнитных изотопных эффектов в химических реакциях.

Во *второй главе* приведены результаты моделирования различных аспектов исследуемого процесса.

Моделирование равновесного состава компонентов низкотемпературной плазмы для установления оптимальных наборов начальных составов, а также физических условий проведено при помощи программного пакета TEPRA. Установлены химические реакции, вносящие вклад в создание изотопного перераспределения продуктов реакции окисления углерода.

Проведено моделирование течения плазменного потока на основе численного решения уравнений Навье-Стокса при помощи пакета ПО ANSYS. Показано, что газодинамика может играть существенную роль в формировании обогащенной по одному изотопу газовой фазы. Исследовано влияние диафрагм в ПХР на эффективность улавливания дисперсной фазы.

Проведен анализ процессов в низкотемпературной плазме ВЧФ-разряда, оказывающих влияние на обогащение газовых продуктов реакции неполного окисления углерода по тяжелому изотопу. Рассмотрено влияние спиновых явлений на разделение изотопов.

В *третьей главе* описана разработка устройств для контроля параметров разряда при проведении исследуемых плазменных процессов. Разработанные устройства и способы контроля газовой температуры и дисперсности потока необходимы для оценки исследуемых процессов.

Содержание конденсированных компонентов в разряде является эффективным способом индикации неполноты окисления паров углерода, необходимой для создания селективности по изотопам. Методика апробирована на модельных системах. Экспериментальные результаты исследования газовой температуры плазменного потока в различных сечениях способствуют определению областей потока, в которых влияние внешнего магнитного поля будет эффективным. Исследования эмиссионных спектров разряда позволили установить зависимости интенсивностей свечения углерода и кислорода от высоты потока, наличия внешнего магнитного поля, содержания углекислого газа в разряде. Показано влияние величины индукции магнитного поля на скорость окисления углерода и содержание изотопа ^{13}C .

В *четвертой главе* представлены результаты разработки экспериментальной установки, методики проведения экспериментов для плазменного окисления изотопов углерода в магнитном поле. Приведены также схемы разработанных устройств, необходимых для создания условий достижения существенного изотопного разделения.

Получены экспериментальные зависимости содержания ^{13}C в газовых продуктах реакции неполного окисления углерода от расположения внешнего постоянного магнитного поля относительно плазменного потока. Проведен анализ и интерпретация полученных результатов. Экспериментально показано, что внешнее магнитное поле увеличивает скорость окисления ядер с магнитными спинами в плазме ВЧФ-разряда. Полученный результат является доказательством наличия спиновых явлений в низкотемпературной плазме, находящейся в постоянном магнитном поле.

Значимость работы для науки и практики

Научная значимость диссертационной работы заключается в получении автором новых знаний о механизме протекания химических реакций в низкотемпературной плазме, помещенной в магнитное поле.

Практическая значимость диссертационной работы состоит в том, что в результате разработаны и апробированы новые методы и устройства для

контроля параметров низкотемпературной плазмы. На основе этих результатов могут быть созданы основы нового метода разделения изотопов.

Оценка содержания диссертации

В целом, диссертационная работа Ижойкина Д.А. выполнена на высоком научном уровне и обладает практической полезностью. Результаты проведенных теоретических и экспериментальных исследований окисления изотопов углерода в низкотемпературной плазме, разработка феноменологической модели процесса разделения изотопов с магнитными и немагнитными ядрами в низкотемпературной плазме, помещенной во внешнее постоянное магнитное поле, разработка ряда устройств контроля параметров низкотемпературной плазмы свидетельствуют о высоком качестве выполненных исследований.

Диссертация изложена ясным языком, основные результаты работы апробированы на всероссийских и международных научных конференциях и опубликованы в рецензируемых журналах. Автореферат диссертации отражает основное содержание диссертации и выводы, сформулированные в работе. По материалам проведенных исследований получены 2 патента на изобретения.

К наиболее важным результатам диссертационной работы можно отнести следующие.

1. Впервые обнаружено существенное обогащение угарного газа по тяжелому изотопу углерода в реакции плазменного окисления в магнитном поле.

2. Разработана феноменологическая модель процесса разделения изотопов с магнитными и немагнитными ядрами в низкотемпературной плазме, помещенной во внешнее постоянное магнитное поле.

3. Разработан ряд устройств, позволяющих контролировать параметры низкотемпературной плазмы. Устройство для определения газовой температуры плазменного потока контактным методом необходимо для исследования осевого распределения температуры в высокочастотном факельном разряде. Устройство для возбуждения ВЧФ-разряда обеспечивает начальный разряд без прямого электрического контакта с высоковольтным электродом.

4. Устройство для отбора пробы из высокотемпературного химически реагирующего потока позволяет совмещать отбор пробы газовых продуктов реакции с их закалкой. При этом становится возможным изучение влияния малых примесей на плазменные процессы.

Замечания по работе:

1. В работе не рассмотрено изменение структуры и электрических характеристик высокочастотного факельного разряда при наложении перпендикулярного ему постоянного магнитного поля, которое может изменять частоты столкновений заряженных частиц и, как следствие, скорости химических реакций.

2. Недостаточно подробно описано влияние магнитного поля на спины неспаренных электронов изотопов углерода в реакции окисления. Это

является одним из ключевых эффектов в диссертационной работе, поэтому влияние магнитного поля на ядра элементов с полужелтым спином должно быть изучено для других плазмохимических процессов.

3. В экспериментальных исследованиях в качестве плазмообразующего газа использовалась смесь аргона с гелием. При этом равновесный состав компонентов системы, включающей оба этих газа, не рассмотрен.

4. Из экспериментальных данных (рис. 4.7) трудно проследить закономерность содержания изотопа ^{13}C в продуктах реакции от расположения магнитного поля по длине ВЧФ-разряда. Высказанные предположения вряд ли достаточны для объяснения полученных результатов.

Заключение

Диссертация Ижойкина Д.А. является завершенной научно-квалификационной работой, содержащей новые результаты исследований низкотемпературной плазмы и имеющей существенное значение для расширения арсенала возможных методов управления плазмохимическими реакциями, а также для разработки способов разделения изотопов.

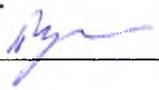
С учетом вышеизложенного считаю, что диссертационная работа «Плазменное окисление изотопов углерода в магнитном поле» полностью соответствует требованиям ВАК РФ, а ее автор, Ижойкин Дмитрий Александрович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы.

Официальный оппонент,
главный научный сотрудник
Института теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН
д.т.н., профессор

 / А.С. Анышаков

2.06.2014г.

Подпись Анышакова Анатолия Степановича заверяю:
Ученый секретарь ИТ СО РАН
д.ф.-м.н.

 / П.А. Куйбин

