

ISSN 0202—3822

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
«КУРЧАТОВСКИЙ ИНСТИТУТ»

ВОПРОСЫ АТОМНОЙ НАУКИ И ТЕХНИКИ

СЕРИЯ
ТЕРМОЯДЕРНЫЙ СИНТЕЗ

2023

Том 46
Выпуск 3

1. Первые теоретические основы МТР

В первых трёх статьях Е.И. Тамма и А.Д. Сахарова [1—3] указано, что работа выполнена в 1951 г. Все три статьи имеют одинаковые названия «Теория магнитного термоядерного реактора (МТР)» и только разбиты на три части. Эти основополагающие работы следует рассматривать вместе, они взаимосвязаны.

В первой части рассмотрено движение заряженных частиц в скрещенных электрическом и магнитном полях с учётом столкновений. Показано, что потоки частиц и тепла в направлении, перпендикулярном магнитному полю, обратно пропорциональны B^2 . Показано существование температурного скачка вблизи стенки — температура ионов много больше температуры стенки. Рассмотрена малая модель МТР в виде прямой цилиндрической трубы с продольным магнитным полем и ВЧ-нагревом плазмы электрическим полем, параллельным полю B .

Во второй части рассмотрены два канала (D—D)-реакций и вторичные реакции. Рассмотрена скорость до протекания реакций. Получена формула потока тепла в классическом виде для столкновительной теплопроводности. Показано, что выгодно работать при наименьшей температуре ионов, обеспечивающей самоподдерживающиеся реакции. Немного детальнее обсуждался температурный скачок у стенки. Рассмотрена схема МТР в виде тороидальной камеры больших размеров.

В третьей части детально исследовано изменение теплопроводности, связанное с дрейфом, и показано, что в отсутствие продольного поля теплопроводность такая же, как у прямого цилиндра. Отмечено, что диффузия определяется исключительно электрон-ионными столкновениями, а теплопроводность — в основном ион-ионными столкновениями. Статья имеет, главным образом, методическое значение и даёт точное доказательство справедливости общей картины движений, происходящих в неравномерно нагретой плазме в магнитном поле.

Суммируя основные идеи, изложенные в трёх частях «Теории магнитного термоядерного реактора», необходимо отметить, что в этой работе:

- предложена и обоснована идея термоизоляции плазмы магнитным полем, основанная на классических представлениях о процессах переносов перпендикулярно магнитному полю;
- предложена тороидальная геометрия МТР;
- обращено серьёзное внимание на процессы перезарядки, показано, что унос энергии из-за них может быть больше, чем прямой сток по классической теплопроводности;
- показана роль тормозного излучения как основного механизма уноса энергии в условиях обеспечения термоизоляции;
- рассмотрены первичные (D—D)- и вторичные (D— ^3He)- и (D—T)-реакции и показано, что возможна самоподдерживающаяся реакция при температуре ионов $T > 40$ кэВ — из баланса выделяющейся термоядерной энергии и энергии, уносимой тормозным излучением;
- показана возможность наработки трития или ^{233}U и отмечена энергетическая выгодность использования этого в атомных реакторах;
- детально обсуждён дрейф заряженных частиц в тороидальном магнитном поле и предложены методы борьбы с ним, в том числе и возможность генерации тока в плазме, направленного вдоль тороидального поля;
- указано на возможность возникновения неустойчивостей, хотя и оговорено, что эта проблема только поставлена.

Уже из этого перечисления видно, как много в этих статьях было заложено из того, что нашло дальнейшее подтверждение и развитие. Конечно, с сегодняшней точки зрения некоторые положения кажутся неполными, но как многое подтвердилось! Тороидальная камера с сильным продольным магнитным полем и электрическим током в плазме вдоль этого поля — это основные черты современных токамаков. Детальное понимание роли магнитных полей, соотношение их величин, устойчивость электрического разряда и многое другое были достигнуты позже, но основные-то идеи оказались верными.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тамм И.Е. Теории магнитного термоядерного реактора. Ч. I. — В сб.: Физика плазмы и проблема управляемых термоядерных реакций Т. 1. — М.: Изд-во АН СССР, 1958, с. 3.
2. Сахаров А.Д. Теория магнитного термоядерного реактора. Ч. II. — Там же, с. 20.
3. Тамм И.Е. Теория магнитного термоядерного реактора. Ч. III. — Там же, с. 31.

(Продолжение следует)

Главный редактор

Е.П. Велихов, академик РАН, почётный президент НИЦ «Курчатовский институт»

Редакционная коллегия:

А.Б. Кукушкин, зам. главного редактора, в.н.с., д.ф.-м.н., НИЦ «Курчатовский институт», Москва

Е.А. Филимонова, ответственный секретарь, н.с., НИЦ «Курчатовский институт», Москва

А.Б. Алексеев, рук. департамента, д. техн. н., Международная организация ИТЭР, Сен-Поль-ле-Дюранс, Франция

А.В. Бурдаков, зав. лабораторией, д.ф.-м.н., ИЯФ им. Г.И. Будкера СО РАН, Новосибирск

В.А. Быков, нач. группы, к. техн. н., ИФП им. Макса Планка, Грайфсвальд, Германия

Ю.М. Гаспарян, и.о. зав. кафедрой, к.ф.-м.н., доцент, НИЯУ МИФИ, Москва

Л.Е. Захаров (Zakharov), в.н.с., д.ф.-м.н., Li-WFusion, Princeton, NJ, USA

Н.А. Кирнева, начальник лаборатории, к.ф.-м.н., доцент, НИЦ «Курчатовский институт», Москва

А.Е. Киселёв, зав. отделением, д. техн. н., ИБРАЭ РАН, Москва

Д.В. Коваленко, главный специалист отдела управления НИОКР, с.н.с., Государственная корпорация по атомной энергии «Росатом», Москва

А.В. Козлов, советник директора, д. техн. н., АО «Институт реакторных материалов», г. Заречный, Свердловская обл.

Е.Р. Корешева, г.н.с., и.о. зав. лабораторией, д.ф.-м.н., ФИАН им. П.Н. Лебедева, Москва

С.И. Крашенинников (Krashenninikov), профессор, д.ф.-м.н., University of California at San Diego, San Diego, CA, USA

А.Ю. Лешуков, зам. начальника отдела, НИКИЭТ им. Н.А. Доллежала, Москва

И.В. Мазуль, г.н.с., д. техн. н., НИИЭФА им. Д.В. Ефремова, Санкт-Петербург

В.Б. Минаев, в.н.с., к.ф.-м.н., ФТИ им. А.Ф. Иоффе, Санкт-Петербург

А.Б. Минеев, в.н.с., к.ф.-м.н., НИИЭФА им. Д.В. Ефремова, Санкт-Петербург

С.В. Мирнов, научный руководитель отделения, д.ф.-м.н., профессор, АО «ГНЦ РФ ТРИНИТИ», Троицк, Москва

А.Н. Романников, научный руководитель по УТС и плазменным технологиям, д.ф.-м.н., АО «ГНЦ РФ ТРИНИТИ», Троицк, Москва

П.В. Романов, советник нач. отдела, к. техн. н., Государственная корпорация по атомной энергии «Росатом», Москва

В.Ю. Сергеев, д.ф.-м.н., профессор, СПб политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург

А.В. Спицын, начальник лаборатории, с.н.с., к.ф.-м.н., НИЦ «Курчатовский институт», Москва

И.Л. Тажибаева, заместитель директора, д.ф.-м.н., профессор, ИАЭ НЯЦ Республики Казахстан, Курчатов, Республика Казахстан

П.П. Хвостенко, д. техн. н., научный руководитель комплекса, НИЦ «Курчатовский институт», Москва, Россия

В.И. Хрипунов, в.н.с., к. техн. н., НИЦ «Курчатовский институт», Москва

В.М. Чернов, г.н.с., д.ф.-м.н., профессор, АО «ВНИИИМ» им. А.А. Бочвара, Москва

Редактор Карпова Татьяна Юрьевна
karpova.tat@fc.iterru.ru, тел.: 7-499-196-98-31

Соучредители: Автономная некоммерческая организация Координационный центр «Управляемый термоядерный синтез — международные проекты» (УТС-Центр), федеральное государственное бюджетное учреждение «Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт»

Журнал (основан в 1978 г.) зарегистрирован в реестре Федеральной службы по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций ПИ № ФС77-73164 от 02 июля 2018 г.; электронное периодическое издание Эл. № ФС77-73162 от 22 июня 2018 г. Подписной индекс в Каталоге периодики агентства «Урал-Пресс» № 70541

Журнал включён в Перечень журналов ВАК, индексируется в базах данных Scopus, Ulrich's Periodicals Directory и РИНЦ на платформе Web of Science, имеет цифровой идентификатор статей (digital object identifier — DOI), реферируется в РЖ ВИНТИ РАН, имеет в открытом доступе полнотекстовую электронную версию на сайте <http://vant.iterru.ru> и на платформе Российской научной электронной библиотеки <http://www.elibrary.ru>

Двухлетний импакт-фактор журнала в РИНЦ: 0,620

© Редколлегия журнала «ВАНТ. Серия Термоядерный синтез», 2023 г.

© <http://vant.iterru.ru>

Вопросы атомной науки и техники
С е р и я: Термоядерный синтез
Том 46, выпуск 3

Ответственные за выпуск А.Б. Кукушкин, Е.А. Филимонова
Редактор Н.В. Бокша. Верстальщик И.Н. Альбицкая-Коростелева. Корректор Н.В. Бокша.
Программист-переводчик И.В. Скорюпина. IT-инженер Е.Н. Николаев.

Подписано в печать 14.09 23. Формат 60×90/8
Печать цифровая. Усл. печ. л. 9. Уч.-изд. л. 10. Тираж 146. Индекс 3648. 9 статей. Заказ 35
Адрес редакции: Россия, 123182, Москва, пл. Академика Курчатова, 1
Отпечатано в Национальном исследовательском центре «Курчатовский институт»

123182, Москва, пл. Академика Курчатова, 1