

ОТЗЫВ официального оппонента
о диссертации ШЕСТАКОВА Евгения Андреевича
«УПРАВЛЕНИЕ ПУЧКАМИ УСКОРЕННЫХ ЭЛЕКТРОНОВ
И МГД ВОЗМУЩЕНИЯМИ С ПОМОЩЬЮ СВЧ НАГРЕВА
И РЕЗОНАНСНЫХ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ В ПЛАЗМЕ ТОКАМАКА Т-10»,
представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук
по специальности 01.04.08 – физика плазмы

Актуальность темы исследования

Представленная к защите диссертационная работа посвящена исследованию процессов генерации ускоренных электронов и разработке методов подавления такой генерации. Актуальность темы диссертации обусловлена опасностью разрушения обращенных к плазме элементов конструкций камер современных и будущих термоядерных установок под воздействием пучков высокоэнергичных электронов, возникающих при развитии неустойчивости срыва. В результате перестройки радиального распределения плотности плазменного тока, происходящего в ходе срыва, в плазме возникает сильное продольное электрическое поле, которое способно значительно увеличивать скорость генерации пучков ускоренных электронов. Энергия таких электронов в крупных токамаках и сооружаемом экспериментальном реакторе ИТЭР может достигать десятков мега-электронвольт, а величина переносимого ими тока может превышать 50% плазменного тока. Выход пучков ускоренных электронов на стенки камеры способен привести к аварийным ситуациям. В связи с этим разработка методов ослабления последствий срывов и предотвращения аварий за счет подавления генерации пучков ускоренных электронов является весьма актуальной задачей исследований на современных установках УТС.

Обоснованность научных положений и выводов, сформулированных в диссертации

Сформулированные в диссертации научные положения, вынесенные на защиту, и выводы подтверждены экспериментальными исследованиями на токамаке Т-10, а также сопоставлением с результатами, полученными на других современных токамаках. Созданный автором экспериментальный комплекс рентгеновских диагностик, включающий многоракурсную систему детектирования рентгеновского излучения и рентгеновские спектрометры, оснащенные детекторами на основе теллурида кадмия и бромида лантана, является одним из наиболее совершенных инструментов для проведения

исследований генерации ускоренных электронов. Этот комплекс обеспечивает надежную экспериментальную базу для формулирования обоснованных выводов. Автором диссертации разработана и экспериментально обоснована методика подавления пучков ускоренных электронов с помощью нагрева плазмы и создания крупных квазистационарных магнитогидродинамических возмущений с применением ЭЦР нагрева. Также экспериментально обоснована работоспособность системы генерации магнитных полей с помощью дополнительных внешних витков. Таким образом, обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертационной работе, не вызывает сомнений.

Достоверность и новизна научных положений и выводов

Достоверность сформулированных научных положений подтверждена выполненными на современном уровне экспериментами и сравнением их результатов с экспериментальными результатами, полученными в ведущих мировых лабораториях, работающих по тематике управляемого термоядерного синтеза. Результаты опубликованы в рецензируемых журналах и прошли апробацию на научных семинарах, а также на отечественных и международных конференциях. Они известны в научном сообществе.

Следует отметить ряд новых результатов, полученных при подготовке диссертационной работы. На токамаке Т-10 создан комплекс детектирования надтеплого рентгеновского излучения, обладающий разрешением до 10 мкс, в который входят многоактурная система регистрации потоковых сигналов на основе теллурид-кадмиевых детекторов, внутрикамерные детекторы для тангенциального наблюдения, многоканальные бромид-лантановые детекторы. Обнаружены понижение генерации ускоренных электронов при использовании лимитеров с литий-содержащим покрытием, а также подавление пучков ускоренных электронов при ЭЦР нагреве плазмы на стационарной стадии разряда. Разработана методика предотвращения срывов плазменного тока путем подавления МГД активности при снижении тока и ЭЦР нагреве. Определены пороги развития квазистационарных МГД возмущений в токамаке Т-10 при генерации стационарных резонансных полей магнитных полей внешними седловыми витками.

По материалам диссертационной работы соискателем опубликовано 14 статей в рецензируемых журналах, из которых в трех он является первым автором, что позволяет сделать вывод о высокой научной квалификации соискателя. Оппонент присутствовал на семинаре по материалам подготовленной диссертации в Физико-техническом институте им. А.Ф. Иоффе, где соискатель подробно излагал содержание работы. Проявленные в ходе семинара владение экспериментальным материалом и понимание физики

наблюдаемых явлений не оставляют сомнений в определяющем личном вкладе соискателя в представленную к защите работу.

Замечания по диссертационной работе

1. В Главе 1, посвященной обзору литературы по теме диссертации, соискатель обсуждает влияние ряда факторов на формирование пучков ускоренных электронов (УЭ): воздействие электрического поля, лавинное образование УЭ при столкновениях тепловых электронов с ускоренными, потери в результате выхода на стенку. При этом за пределами рассмотрения остались такие важные процессы как ограничение скорости генерации УЭ из-за конечной скорости диффузии тепловых электронов в пространстве скоростей к критической энергии, влияние ЭЦР нагрева плазмы на величину критической энергии за счет снижения частоты столкновений и отклонения от максвелловской функции распределения по скоростям.
2. В параграфе 2.2.1. «Эволюция ускоренных электронов на начальной стадии разряда» соискатель, считая «восстановление реального спектра рентгеновского излучения из какой-либо области плазмы» сложной задачей, ограничивается предположением о том, «что энергия ускоренных электронов в пучке должна быть не менее максимальной регистрируемой энергии жесткого рентгеновского излучения». Однако, расчеты [см. например: A. Shevelev, et al, “Reconstruction of distribution functions of fast ions and runaway electrons in fusion plasmas using gamma-ray spectrometry with applications to ITER”, 2013 Nucl. Fusion 53 123004] показывают, что энергия УЭ может значительно, до 2 раз, отличаться от максимальной энергии рентгеновского излучения. Ввиду важности разработки систем защиты термоядерных установок от повреждения пучками УЭ представляется необходимым более точное определение максимальной энергии УЭ.
3. К сожалению, в тексте диссертации встречаются неточности в определениях, жаргонные выражения, стилистические ошибки. Например, на стр. 24 величина β_N – нормализованное давление – названа «магнитогидродинамическим давлением», возмущающие магнитные поля, создаваемые внешними витками, по тексту диссертации называются внешними магнитными полями, введенная на стр. 16 величина E_{cr} – критическая энергия на следующей странице называется W_{crit} и т.п. Такие неточности несколько портят впечатление от интересной работы и, по-видимому, свидетельствует о спешке при подготовке рукописи.

Сделанные замечания не препятствуют положительной оценке диссертационной работы в целом.

Заключение

Диссертация является законченной научно-квалификационной работой, посвященной изучению процессов генерации ускоренных электронов и разработке методов их подавления. Рассматриваемая работа соответствует требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 № 842, предъявляемым к диссертациям, представляемым на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, а ее автор, ШЕСТАКОВ Евгений Андреевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.08 – физика плазмы.

Материалы и результаты диссертационной работы опубликованы в научной печати и представлялись на семинарах в ведущих Российских центрах по физике плазмы и управляемого термоядерного синтеза, на международных конференциях по этой теме. Эти результаты известны в среде специалистов по физике УТС.

Содержание автореферата диссертации Шестакова Е.А. соответствует основным положениям диссертации и требованиям «Положения о присуждения ученых степеней».

Выполненные в диссертации разработки методов подавления генерации ускоренных электронов могут быть рекомендованы для использования при проектировании и создании будущих термоядерных установок и реакторов. В частности, эти разработки могут найти применение в устройствах, создаваемых в НИЦ «Курчатовский институт», ИЯФ им. Г.И. Будкера СО РАН, АО «НИИЭФА им. Д.В. Ефремова», ТРИНИТИ, ФТИ им. А.Ф. Иоффе, ИПФ РАН, ИОФ РАН.

Отзыв составлен Лебедевым Сергеем Владимировичем, ученая степень – доктор физико-математических наук, ученое звание – старший научный сотрудник, докторская диссертация защищена по специальности 01.04.08 – физика плазмы, работаю главным научным сотрудником лаборатории физики высокотемпературной плазмы в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Физико-техническом институте им. А.Ф. Иоффе Российской академии,

адрес: 194021, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д.26,

тел.: (812)-297-71-05, e-mail: sergei.lebedev@mail.ioffe.ru

Гл. науч. сотр., докт. физ.-мат. наук



Лебедев С.В.
« 30 » сентября 2019г.

И.о. ученого секретаря ФТИ им. А.Ф. Иоффе,
канд. физ.-мат. наук

М.И. Патров