

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 002.205.03

на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук»

ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ ДОКТОРА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 13 июня 2019 г. № 6

О присуждении Кавеевой Елизавете Геннадьевне, гражданке Российской Федерации, ученой степени доктора физико-математических наук.

Диссертация «Механизмы поперечной проводимости в плазме токамака и резонансные магнитные возмущения» по специальности 01.04.08-физика плазмы принята к защите 05 марта 2019 г., протокол № 1 диссертационным советом Д 002.205.03 на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук», адрес 194021, Санкт-Петербург, Политехническая ул., д. 26; совет создан приказом № 105/нк от 11 апреля 2012 г.

Соискатель Кавеева Елизавета Геннадьевна 1978 года рождения, диссертацию на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук «Моделирование пристеночной плазмы токамака с учетом самосогласованных электрических полей» защитила в 2005 году, в диссертационном совете, созданном на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук», работает ведущим научным сотрудником в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации.

Диссертация выполнена в научно-исследовательской лаборатории управляемого термоядерного синтеза в автономном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого.

Научный консультант - доктор физико-математических наук Рожанский Владимир Александрович, заведующий кафедрой физики плазмы в Санкт-Петербургском политехническом университете Петра Великого.

Официальные оппоненты:

1. Кутеев Борис Васильевич, доктор физико-математических наук, профессор, Заместитель руководителя Отделения токамаков Курчатовского комплекса термоядерной энергетики и плазменных технологий Национального исследовательского центра "Курчатовский институт"
 2. Жданов Владимир Михайлович, доктор физико-математических наук, профессор кафедры «Физика плазмы» Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ
 3. Голубовский Юрий Борисович, доктор физико-математических наук, профессор кафедры оптики, Санкт-Петербургский государственный университет
- дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН (Москва) в своем положительном заключении, подписанном Батановым Германом Михайловичем, доктором физико-математических наук, главным научным сотрудником отдела физики плазмы ИОФ РАН указала, что диссертация является законченной научно-исследовательской работой. Результаты работы оригинальны и важны для развития описания плазмы в установках типа токамак, и могут использоваться для анализа и планирования эксперимента на отечественных и зарубежных установках. По уровню новизны, актуальности и значимости результатов диссертация Кавеевой Елизаветы Геннадьевны соответствует требованиям п. 9-11, 13 и 14 «положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации №842 от 24 сентября 2013 (в редакции постановления Правительства Российской Федерации от 01 октября 2018 г. №1168) для научно-квалификационных работ. Автор диссертации - Кавеева Е. Г. заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 0.04.08 - физика плазмы.

Выбор официальных оппонентов обосновывается тем, что они имеют ученую степень доктора физико-математических наук, работают в разных организациях, не имеют других ограничений, накладываемых п. 22 действующего Положения о присуждении учёных степеней. Выбранные оппоненты являются широко известными специалистами и обладают высоким уровнем компетентности в научной области, в которой выполнена диссертационная работа.

Выбор ведущей организации обосновывается тем, что ИОФ РАН широко известен своими достижениями в соответствующей отрасли науки. В частности, в ИОФ РАН ведутся исследования в области физики установок для термоядерного синтеза, являющихся предметом исследования диссертационной работы. ИОФ РАН не имеет ограничений на возможность назначения ведущей организацией, накладываемых п. 24 действующего Положения о присуждении учёных степеней.

Соискатель имеет 74 опубликованных работ (52 в базе данных WoS), в том числе по теме диссертации 33, перечисленных ниже, из них 23 опубликованных в рецензируемых научных изданиях, входящих в Перечень ВАК.

[1] Rozhansky V., Voskoboynikov S., **Kovaltsova E. (Kaveeva E.)**, Coster D., Schneider R. Perpendicular conductivity and self-consistent electric fields in tokamak edge plasma // Contributions to Plasma Physics - 2000 - Vol.40 - P.423-430

[2] Rozhansky V., Voskoboynikov S., **Kovaltsova E. (Kaveeva E.)**, D. Coster, R. Schneider. Modeling of self-consistent electric fields in tokamek edge plasma with B2.5 code // Proceedings of the 26th EPS Conference on Controlled Fusion and Plasma Physics, Maastricht - 1999 - ECA Vol. 23J - P.1749-1752

[3] Rozhansky V., Voskoboynikov S., **Kaveeva E.**, Coster D., Schneider R. Simulation of tokamak edge plasma including self-consistent electric fields // Nuclear Fusion - 2001 - Vol.41, №4 - P.387-401

[4] Rozhansky V., **Kaveeva E.**, Voskoboynikov S., Coster D., Bonnin X., Schneider R. The structure of the radial electric field in the vicinity of the separatrix and the L-H transition // Contributions to Plasma Physics - 2002 - Vol. 42 №2-4, P.230-235

- [5] Rozhansky V., **Kaveeva E.**, Voskoboynikov S., Coster D., Bonnin X., Schneider R. Modelling of electric fields in tokamak edge plasma and L-H transition // Proceedings of the 28th EPS Conference on Controlled Fusion and Plasma Physics, Madeira - 2001 - ECA Vol. 25A - P.1457-1460
- [6] Rozhansky V., **Kaveeva E.**, Voskoboynikov S., Coster D., Bonnin X., Schneider R. Modeling of electric fields in tokamak edge plasma and L-H transition // Nuclear Fusion - 2002 - Vol.42 №8 - P.1110-1115
- [7] Rozhansky V., **Kaveeva E.**, Voskoboynikov S., Coster D., Bonnin X., Schneider R. Potentials and currents in the edge tokamak plasma: simplified approach and comparison with two-dimensional modeling // Nuclear Fusion - 2003 - Vol.43 №7 - P.614- 621
- [8] Kiviniemi T.P., Sipila S.K., Rozhansky V.A., Voskoboynikov S.P., **Kaveeva E.G.**, Heikkinen J.A., Coster D. P., Schneider R., Bonnin X. Neoclassical nature of the radial electric field at the low-to-high transition // Physics of Plasmas - 2003 - Vol.10 № 6 - P.2604-2607
- [9] Rozhansky V., **Kaveeva E.**, Voskoboynikov S., Counsell G., Kirk A., Coster D., Schneider R. Simulation of neoclassical effects with B2SOLPS5.0 for MAST // Proceedings of the 31th EPS Conference on Controlled Fusion and Plasma Physics, London - 2004 - ECA Vol. 28B - P4.198
- [10] Rozhansky V., **Kaveeva E.**, Voskoboynikov S., Counsell G., Kirk A., Meyer H., Coster D., Conway G., Schirmer J., Schneider R. Impact of magnetic configuration on edge radial electric field: MAST-ASDEX Upgrade simulation with B2SOLPS5.0 // Proceedings of the 32th EPS Conference on Controlled Fusion and Plasma Physics, Tarragona - 2005 - ECA Vol. 29BC - P2.017
- [11] Rozhansky V., **Kaveeva E.**, Voskoboynikov S., Counsell G., Kirk A., Meyer H., Coster D., Conway G., Schirmer J., Schneider R. Modelling of radial electric field profile for different divertor configurations // Plasma Physics Controlled Fusion - 2006 - Vol. 48 P.1425-1435
- [12] Rozhansky V., **Kaveeva E.**, Voskoboynikov S., Coster D. and the ASDEX Upgrade team. Modelling of the radial electric field in the ASDEX Upgrade Ohmic shots // Contributions to plasma physics - 2008 - Vol.48 P73-76

- [13] Rozhansky V., **Kaveeva E.**, Voskoboynikov S., Coster D., Wolfrum E., Wieland B., Puetterich T. and the ASDEX Upgrade team. Simulation of edge radial electric fields in H-regimes of ASDEX-Upgrade // Journal of Nuclear Materials - 2011 - Vol. 415 - P. S593-S596
- [14] Rozhansky V., **Kaveeva E.** Poloidal and Toroidal Rotations near Magnetic Islands and Transport Barrier Formation // Proceedings of the 30th EPS Conference on Controlled Fusion and Plasma Physics, St.Petersburg - 2003 - ECA Vol. 27A - P3.150
- [1] **Кавеева Е. Г.**, Рожанский В. А. Полоидальные и тороидальные потоки в плазме токамака вблизи магнитного острова // Письма в журнал технической физики - 2004 - Т.30 (вып. 13) - С. 19-24 (Poloidal and toroidal fluxes in the tokamak plasma in the vicinity of magnetic island // Tech. Phys. Lett. - 2004 - Vol. 30 - p. 19-24)
- [16] Rozhansky V., **Kaveeva E.**, Voskoboynikov S., Coster D., Bonnin X., Schneider R. Radial electric field in the biasing experiments and effective conductivity in a tokamak // Proceedings of the 29th EPS Conference on Controlled Fusion and Plasma Physics, Montreux - 2002 - ECA Vol. 26B - P4.089
- [17] Rozhansky V., **Kaveeva E.**, Voskoboynikov S., Coster D., Bonnin X., Schneider R. Radial electric field in the biasing experiments and effective conductivity in a tokamak // Physics of Plasmas- 2002 - Vol.9 №8 - P.3385-3394
- [18]. **Kaveeva E.**, Rozhansky V. and Tendler M. Interpretation of the observed radial electric field inversion in TUMAN-3M tokamak during MHD-activity // Nuclear Fusion - 2008 - Vol.48 - 075003(4pp)
- [19] **Kaveeva E.** and Rozhansky V. When poloidal rotation in a tokamak remains neoclassical in the presence of resonant magnetic perturbations// Plasma Physics and Controlled Fusion - 2014 - Vol.56 125015 (5pp)
- [20] Rozhansky V., **Kaveeva E.**, Molchanov P., Veselova I., Voskoboynikov S., Coster D., Kirk A., Lisgo S., Nardon E.. Modification of the edge transport barrier by resonant magnetic perturbations // Nuclear Fusion - 2010 - Vol. 50 034005(7pp)
- [21] Rozhansky V., Molchanov P., **Kaveeva E.**, Voskoboynikov S., Kirk A., Nardon E., Coster D., Tendler M. Modeling of the Edge Plasma of MAST in the Presence of Resonant

Magnetic Perturbations // Proceedings of the 23rd IAEA Fusion Energy Conference, Daejeon - 2010 - THC/P3-06

[22] Rozhansky V., Molchanov P., **Kaveeva E.**, Voskoboynikov S., Kirk A., Nardon E., Coster D., Tendler M. Modeling of the Edge Plasma of MAST in the Presence of Resonant Magnetic Perturbations // Nuclear Fusion -2011- Vol. 51 - 083009 (6pp)

[23] Rozhansky V., **Kaveeva E.**, Veselova I., Voskoboynikov S. and Coster D. Modeling of ITER Edge Plasma in the Presence of Resonant Magnetic Perturbations// Contributions to plasma physics - 2016 - Vol.56 - P.587-591

[24] **Kaveeva E.**, Rozhansky V., Tendler M. Mechanism of resonant magnetic perturbation screening // Proceedings of the 37th EPS Conference on Controlled Fusion and Plasma Physics, Dublin - 2010 - ECA Vol. 34A - P2.139

[25] **Kaveeva E.** and Rozhansky V. Screening of resonant magnetic perturbations taking into account a self-consistent electric field // Nuclear Fusion -2012- vol 52 - 054011 (9pp)

[26] Becoulet M., Orain F., Maget P., Mellet N., Garbet X., Nardon E., Huysmans G.T.A., Casper T., Loarte A., Cahyna P., Smolyakov A., Waelbroeck F.L., Schaffer M., Evans T., Liang Y., Schmitz O., Beurskens M., Rozhansky V. and **Kaveeva E.** Screening of resonant magnetic perturbations by flows in tokamaks// Nuclear Fusion - 2012- Vol. 52 - 054003 (16pp)

[27] Rozhansky V., **Kaveeva E.** and Tendler M. Stochastization and pump-out in edge plasma caused by edge localized modes // Plasma Physics and Controlled Fusion - 2015 - Vol.57 - 115007

[28] Rozhansky V., **Kaveeva E.** and Tendler M. Stochastization and pump-out in edge plasma caused by ELMs // Proceedings of the 42th EPS Conference on Controlled Fusion and Plasma Physics, 2015 Lisbon - 2015 - ECA Vol. 39E O2.108 (4pp)

[29]. Рожанский В. А., **Кавеева Е. Г.**, Тендлер М.Б. Электрические поля и потоки, связанные с неоклассической проводимостью в токамаках// Известия академии наук - Энергетика - N4 - 2016 - стр. 3-24

[30] Rozhansky V., **Kaveeva E.**, Senichenkov I. and Vekshina E. Structure of the classical scrape-off layer of a tokamak // Plasma Physics and Controlled Fusion - 2018 - Vol. 60 - 035001

[31] Meier E.T., Goldston R.J., **Kaveeva E.G.**, Makowski M.A., Mordijck S., Rozhansky V.A., Senichenkov I. Yu. and Voskoboynikov S.P. Analysis of drift effects on the tokamak power scrape-off width using SOLPS-ITER// Plasma Physics and Controlled Fusion - 2016 - Vol.58 - 125012

[32] Vekshina E., Senichenkov I., Rozhansky V., **Kaveeva E.**, Khromov N., Kurskiev G., Patrov M. and Globus-M team. Globus-M plasma edge modeling with B2SOLPS5.2 code// Plasma Physics and Controlled Fusion - 2016 - Vol.58 - 085007

[33] **Kaveeva E.**, Rozhansky V. Drift Mechanism of Scrape-Off Layer Formation in a Tokamak//Technical Physics Letters - 2018 - Vol 44 - p 235-238

На автореферат поступило три отзыва.

Отзыв от Аскинази Леонида Георгиевича, доктора физико-математических наук, старшего научного сотрудника лаборатории физики плазмы ФТИ им. А.Ф. Иоффе, положительный, замечаний не содержит.

Отзыв от Кукушкина Андрея Серафимовича, кандидата физико-математических наук, ведущего научного сотрудника Национального исследовательского центра "Курчатовский институт", положительный, содержит замечания:

«Из недостатков могу отметить разве что неудачное обозначение τ_E для характерного времени изменения электрического поля в уравнении (17). Обычно этим символом обозначается характерное время удержания энергии в плазменном шнуре.»

Отзыв от Тендлера Михаила Борисовича, профессора Шведского Королевского технологического университета, иностранного члена РАН положительный, замечаний не содержит.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработана оригинальная теория, описывающая поведение плазмы в установке «токамак» при протекании радиального тока через магнитные поверхности и при возникновении стохастического магнитного поля;

разграничены два режима неоклассической радиальной проводимости в зависимости от уровня турбулентного переноса импульса;

доказана необходимость одновременного учета турбулентного переноса и неоклассических эффектов при описании отклика плазмы на стохастизацию магнитного поля;

построена новая модель для оценки радиального конвективного переноса плазмы снаружи последней замкнутой магнитной поверхности (сепаратрисы) токамака;

построена новая модель переноса вещества при развитии ELM первого рода.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что предложенная концепция позволяет согласованно объяснить весь комплекс экспериментальных наблюдений в пристеночной плазме токамака при стохастизации магнитного поля внешними токами или же МГД неустойчивостями в самой плазме: изменение электрического поля, тороидального вращения и радиального переноса, а также экранирование плазмой внешних возмущений.

Применительно к проблематике диссертации результативно использованы методы численного моделирования, в частности гидродинамическое моделирование кодом SOLPS-ITER и более ранними версиями того же кода.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем что на основании предложенной теории можно сделать прогноз для токамаков следующего поколения, таких как токамак-реактор ИТЭР.

Оценка достоверности результатов исследования выявила, что представленные в диссертации теоретические результаты получены с помощью надёжных и достоверных методов теоретической физики. Достоверность исследования подтверждена сравнением с многочисленными опубликованными экспериментами на зарубежных и отечественных установках и результатами численного моделирования.

Личный вклад соискателя:

все представленные в диссертации результаты получены соискателем лично; во всех работах, выполненных в соавторстве, автор внес определяющий или весомый личный вклад в выбор направления исследований, постановку задач,

построение теоретических моделей, проведение расчетов, написание и подготовку статей.

На заседании диссертационный совет принял решение присудить Кавеевой Е. Г. ученую степень доктора физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 17 человек, из них 6 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, проголосовали: 17 за, 0 против, недействительных бюллетеней нет.



Заместитель председателя диссертационного совета Бобашев С. В.



Ученый секретарь диссертационного совета Красильщиков А. М.



Дата оформления Заключения
13 июня 2019 г.