

# Физика плазмы и плазменные методы

УДК 533.9

## Современное состояние исследований в области физики плазмы и плазменных технологий в России (обзор по материалам XLII Международной конференции по физике плазмы и УТС)

*И. А. Гришина, В. А. Иванов, Л. М. Коврижных*

*Дан обзор наиболее интересных результатов, представленных на ежегодной XLII Международной (Звенигородской) конференции по физике плазмы и управляемому термоядерному синтезу, состоявшейся с 9 по 13 февраля 2015 года в городе Звенигород Московской области. Проведен анализ главных направлений исследований в области физики плазмы в России.*

PACS: 52.55.-s, 52.25.-b

*Ключевые слова:* физика плазмы, термоядерный синтез, исследования, конференция, результаты.

### Введение

XLII Международная (Звенигородская) конференция по физике плазмы и управляемому термоядерному синтезу (УТС) состоялась в г. Звенигороде Московской области с 9 по 13 февраля 2015 года [1, 2]. Эта конференция стала важным событием, оказавшим влияние на развитие научных исследований и их координацию в ведущих научных центрах России и за рубежом. Финансовую поддержку конференции оказали Российский фонд фундаментальных исследований, Российская Академия наук, ЗАО Научно-технологический центр «ПЛАЗМАИОФАН» и Проектный центр ИТЭР. Организаторами прошедшей XLII конференции являлись Научный совет по физике плазмы Российской Академии наук, Институт общей физики им. А. М. Прохорова РАН, Научный совет РАН по комплексной проблеме «Физика низкотемпературной плазмы», Объединенный институт высоких температур РАН, Научно-технологический центр «ПЛАЗМАИОФАН», Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова.

### Научное представительство

На конференции было представлено 374 научных доклада из 88 российских и 30 иностранных научных центров, ведущих исследования по физике плазмы, управляемому термоядерному синтезу, плазменным и лучевым технологиям. Общее количество зарегистрированных авторов докладов составило более 1000 человек.

Список российских научных центров, представивших доклады (число докладов указано цифрами), следующий.

1. Национальный исследовательский центр "Курчатовский институт", Москва, Россия — 62
2. Физический Институт им. П. Н. Лебедева РАН, Москва, Россия — 41
3. Объединённый институт высоких температур РАН, Москва, Россия — 40
4. Институт Общей Физики им. А. М. Прохорова РАН, Москва, Россия — 38
5. Троицкий Институт Инновационных и Термоядерных Исследований, Административный округ Троицк, Москва, Россия — 27
6. Московский Государственный Университет им. М. В. Ломоносова, Москва, Россия — 25
7. Национальный исследовательский ядерный университет "МИФИ", Москва, Россия — 22
8. Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН, Новосибирск, Россия — 20
9. Институт прикладной математики им. М. В. Келдыша РАН, Москва, Россия — 19
10. Московский Физико-Технический Институт (Государственный университет), Долгопрудный, Московская обл., Россия — 18

**Гришина Ирина Анатольевна**, ст. научный сотрудник.  
**Иванов Вячеслав Алексеевич**, заведующий отделом.  
**Коврижных Лев Михайлович**, гл. научный сотрудник.  
Институт общей физики им. А. М. Прохорова РАН.  
Россия, 119991, Москва, ул. Вавилова, 38.  
E-mail: ivanov@fpl.gpi.ru

Статья поступила в редакцию 25 марта 2015 г.

© Гришина И. А., Иванов В. А., Коврижных Л. М., 2015

11. Проектный центр ИТЭР — 16
12. Физико-Технический институт им. А. Ф. Иоффе РАН, С.-Петербург, Россия — 15
13. Новосибирский национальный исследовательский государственный университет, Новосибирск, Россия — 13
14. Российский Университет Дружбы Народов, Москва, Россия — 12
15. Санкт-Петербургский государственный политехнический университет, С.-Петербург, Россия — 11
16. Московский Государственный Технический Университет им. Н. Э. Баумана, Москва, Россия — 11
17. Научно Исследовательский Институт Электрофизической Аппаратуры им. Д. В. Ефремова, С.-Петербург, Россия — 10
18. Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород, Россия — 10
19. Институт проблем механики им. А. Ю. Ишлинского РАН, Москва, Россия — 10
20. Московский государственный технический университет радиотехники электроники и автоматики, Москва, Россия — 9
21. Казанский государственный технический университет им. А. Н. Туполева, Казань, Россия — 9
22. Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия — 8
23. Казанский национальный исследовательский технологический университет, Казань, Россия — 7
24. Ивановский государственный химико-технологический университет, Иваново, Россия — 7
25. Всероссийский научно-исследовательский институт автоматики им. Н. Л. Духова, Москва, Россия — 1
26. Российский федеральный ядерный центр — Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики, Саров, Россия — 6
27. Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск, Россия — 5
28. Московский Радиотехнический институт РАН, Москва, Россия — 5
29. Институт нефтехимического синтеза им. А. В. Топчиева РАН, Москва, Россия — 5
30. Научно-исследовательский и конструкторский институт энерготехники им. Н. А. Доллежала, Москва, Россия — 4
31. Московский энергетический институт (технический университет), Москва, Россия — 4
32. Институт космических исследований РАН, Москва, Россия — 4
33. Дагестанский Государственный Университет, Махачкала, Россия — 4
34. Российский федеральный ядерный центр — Всероссийский НИИ технической физики им. академика Е. И. Забабахина, Снежинск, Россия — 3
35. Институт химии растворов РАН им. Г. А. Крестова, Иваново, Россия — 3
36. Институт проблем лазерных и информационных технологий РАН, Шатура, Россия — 3
37. ООО "Русские технологии", С.-Петербург, Россия — 2
38. Чувашский государственный университет им. И. Н. Ульянова, Чебоксары, Россия — 2
39. Центр энергоэффективности ИНТЕР РАО ЕЭС, Москва, Россия — 2
40. Национальный минерально-сырьевой университет "Горный", С.-Петербург, Россия — 2
41. НИИ Ядерной физики им. Д. В. Скобельцына, МГУ, Москва Россия — 2
42. Набережночелнинский институт (филиал) Казанского (Приволжского) федерального университета, Набережные Челны, Россия — 2
43. Казанский (Приволжский) Федеральный университет, Казань, Россия — 2
44. Институт Физической Химии и Электрохимии им. А. Н. Фрумкина, РАН, Москва, Россия — 2
45. Институт радиотехники и электроники РАН им. В. А. Котельникова, Фрязинский филиал, г. Фрязино, Россия — 2
46. Координационный центр "Управляемый Термоядерный Синтез — Международные Проекты", Москва, Россия — 2
47. Сибирский научно-исследовательский институт авиации им. С. А. Чаплыгина, Новосибирск, Россия — 2
48. Институт металлургии и материаловедения им. А. А. Байкова РАН, Москва, Россия — 2
49. Институт лазерной физики СО РАН, Новосибирск, Россия — 2
50. Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского — 1
51. Центральный Институт Авиационного Моторостроения, им. П. И. Баранова, Москва, Россия — 1
52. Исследовательский центр им. М. В. Келдыша, Москва, Россия — 1
53. Филиал Института энергетических проблем химической физики РАН, Черногловка, Россия — 1
54. НИИ термодинамики и кинетики химических процессов, Иваново, Россия — 1
55. "Сикертанская основная общеобразовательная школа имени Галиаскара Камала", г. Арск, Республика Татарстан, Россия — 1
56. Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н. И. Пирогова Минздрава России, Москва, Россия — 1
57. Рязанский государственный радиотехнический университет, Рязань, Россия — 1
58. ООО "Плазма-СК", Саратов, Россия — 1
59. Институту безопасного развития атомной энергетики РАН (Новосибирский Филиал), Новосибирск, Россия — 1
60. Национальный исследовательский Иркутский государственный технический университет, Иркутск, Россия — 1
61. Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева, Саранск, Россия — 1
62. Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), Москва, Россия — 1
63. ООО "МагАлТек", Москва, Россия — 1
64. ЗАО Производственная компания "Лаборатория импульсной техники", Москва, Россия — 1
65. ОАО "Криогенмаш", Московская обл., г. Балашиха, Россия — 1
66. Зеленодольский институт машиностроения и информационных технологий (филиал)

67. ВПО "Казанский национальный исследовательский технический университет им. А. Н. Туполева — КАИ" — 1
68. ОАО "Красная Звезда", Москва, Россия — 1
69. Институт химической физики им. Н. Н. Семёнова РАН, Москва, Россия — 1
70. Институт физики микроструктур РАН, Нижний Новгород, Россия — 1
71. Институт физики атмосферы им. А. М. Обухова РАН, Москва, Россия — 1
72. Институт Теоретической и Экспериментальной Физики им. А. И. Алиханова, Москва, Россия — 1
73. Институт теоретической физики им. Л. Д. Ландау РАН, г. Черноголовка, Московская обл., Россия — 1
74. Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, С. Петербург, Россия — 1
75. Институт сильноточной электроники СО РАН, Томск, Россия — 1
76. Иркутский государственный университет путей сообщения, Иркутск, Россия — 1
77. ООО Инновационно-Промышленный Коилекс "Беседы", Москва, Россия — 1
78. Институт проблем информатики РАН, Москва, Россия — 1
79. Институт электронных управляющих машин им. И. С. Брука, Москва, Россия — 1
80. Институт элементоорганических соединений им. А. Н. Несмеянова РАН, Москва, Россия — 1
81. Международный центр по информатике и электронике "ИнтерЭВМ", Москва, Россия — 1
82. Институт механики МГУ им. Ломоносова, Москва, Россия — 1
83. Институт машиноведения им. А. А. Благонравова РАН, Москва, Россия — 1
84. Институт динамики геосфер РАН, Москва, Россия — 1
85. Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН, Новосибирск, Россия — 1
86. ЗАО "СКБ "ЗЕНИТ", г. Зеленоград, Московская обл., Россия — 1
87. ЗАО "Спектрал-Тех", Санкт-Петербург, Россия — 1
88. ОАО "Высокотехнологический научно-исследовательский институт неорганических материалов им. академика А. А. Бочвара", Москва, Россия — 1
89. 12 Центральный научно-исследовательский институт Министерства обороны, Сергиев-Посад, Россия — 1
5. Cornell University, Ithaca, New York, USA — 2
6. Сухумский физико-технический институт, Сухуми, Абхазия — 1
7. Таджикский национальный университет, Душанбе, Таджикистан — 1
8. Институт физики им. Б. И. Степанова НАН Беларуси, Минск, Беларусь — 1
9. Институт тепло- и массообмена им. А. В. Лыкова НАН Беларуси, Минск, Беларусь — 1
10. Филиал "Институт атомной энергии" Республиканского государственного предприятия "Национальный ядерный центр республики Казахстан", Курчатов, Казахстан — 1
11. Quantum Beam Science Center, Japan Atomic Energy Agency (JAEA), Kyoto, Japan — 1
12. Princeton University, Princeton, USA — 1
13. Plasma Physics Department, Helmholtz Zentrum für Schwerionenforschung GSI-Darmstadt, Germany — 1
14. Plasma Asterix Laser System (PALS) Research Centre, Prague, Czech Republic — 1
15. Mechanical and Aerospace Engineering Department, Princeton University, Princeton, USA — 1
16. Linköpings universitet, Linköping, Sweden — 1
17. Laboratory for Plasma Physics — ERM/KMS, Association EURATOM — BELGIAN STATE, Brussels, Belgium — 1
18. LPP Ecole Polytechnique, University Paris-Sud, Paris, France — 1
19. Los Alamos National Laboratory, Los Alamos, USA — 1
20. FOM Institute for Plasma Physics Rijnhuizen, Association EURATOM-FOM, Nieuwegein, Netherlands — 1
21. Institute of Plasma Physics and Laser Microfusion, Warsaw, Poland — 1
22. Institute for Academic Initiatives, Osaka University, Osaka, Japan — 1
23. International Atomic Energy Agency, Vienna, Austria — 1
24. Goethe -University Frankfurt, Institute of Applied Physics, Frankfurt am Main, Germany — 1
25. ESTLA Ltd., Tartu, Estonia — 1
26. Charles University, Prague, Czech Republic — 1
27. Czech Technical University in Prague, Prague, Czech Republic — 1
28. Culham Science Centre, Abingdon, Oxfordshire, United Kingdom — 1
29. Aalto University, EURATOM-TEKES, Espoo, Finland — 1
30. Allison Laboratory, Auburn University, Auburn, Alabama, USA — 1

Участники конференции — научные организации из стран дальнего и ближнего зарубежья, представившие доклады, следующие.

1. Институт физики плазмы, Национальный научный центр "Харьковский физико-технический институт" НАН Украины, Харьков, Украина — 2
2. НИИ экспериментальной и теоретической физики, Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан — 2
3. ITER Organization, St Paul lez Durance, France — 2
4. Institute of Plasma Physics AS CR, Prague, Czech Republic — 2

На конференции были заслушаны доклады по пяти важнейшим направлениям физики плазмы:

1. Магнитное удержание высокотемпературной плазмы.
2. Инерциальный термоядерный синтез.
3. Физические процессы в низкотемпературной плазме.
4. Физические основы плазменных и лучевых технологий.
5. Проект ИТЭР: шаг в энергетику будущего.

На конференции состоялись четыре пленарных заседания, на которых было заслушано 20 обзорных докладов о результатах отечественных и мировых исследований по актуальным направлениям физики плазмы, термоядерного синтеза, плазменным и лучевым технологиям. Этим же направлениям исследований была посвящена работа соответствующих секций конференции, на которых обсуждались 80 устных и 274 стендовых доклада.

### Пленарные заседания и обзорные доклады

Обзорные доклады, которые были представлены на пленарных заседаниях конференции, по существу, подводили итоги работ, выполненных за последний (2014) год в области физики высокотемпературной плазмы, управляемого термоядерного синтеза, низкотемпературной плазмы и прикладных работ по плазменным и лучевым технологиям. Были также представлены доклады по смежным с физикой плазмы проблемам.

Открыл конференцию доклад **В. И. Ильгисониса** (НИЦ Курчатовский институт), посвященный памяти академика В. Д. Шафранова, ушедшего из жизни 9 июня 2014 года. В докладе были представлены некоторые факты из биографии В. Д. Шафранова, которые он сам считал существенными, этапы его научной деятельности и ретроспектива научных достижений.

Большой интерес вызвал доклад **Дж. Онгена** «*Прогресс исследований термоядерного синтеза в Европе*» (Королевская военная академия Бельгии, Брюссель). Участники конференции были ознакомлены с результатами экспериментальных компаний 2014 года на токамаке JET. Отмечалось, что были получены стационарные H-режимы удержания плазмы в камере с ИТЭР-подобной стенкой без аккумуляции примесей вольфрама с удержанием, соответствующим предсказанному для ИТЭР. Удалось получить импульсы с длительностью ~9 секунд и малым значением  $Z_{\text{eff}}$ . Кроме того, в докладе говорилось о статусе работ на стеллараторе Wandelstein 7-X, которые в мае 2014 года перешли в стадию ввода установки в эксплуатацию. В конце 2015 года планируется получение первой плазмы.

Большой интерес вызвал доклад **Р. Каменды** (МАГАТЭ, Вена) «*Материалы для ядерных установок. Общие черты и различия в требованиях к материалам для установок деления и синтеза*». Подчеркивалось, что хотя требования к конструкционным материалам для реакторов деления и синтеза несколько различаются, тем не менее, оба типа реакторов нуждаются в разработке новых

высокоэффективных материалов, имеющих высокую радиационную и тепловую стойкость (например, ферритовые ODS-стали). Необходимо более тесное сотрудничество в разработке и испытании таких материалов, а также материалов первой стенки, облицовки, сверхпроводящих магнитов, изоляторов и т. д.

В обзорном докладе **Ю. А. Лебедева** (ИНХС РАН) «*СВЧ-разряды при пониженных давлениях и особенности процессов в сильно неоднородной плазме*» представлены результаты использования СВЧ-разрядов для генерации неравновесной плазмы низкого давления для различных применений. В докладе рассматривались методы генерации СВЧ-плазмы и общие свойства микроволновой плазмы (волноводных и резонаторных генераторов плазмы, генераторы с поверхностными волнами и замедляющими структурами, генераторы с распределенным вводом энергии, инициированные СВЧ-разряды, разряды в волновых пучках, ЭЦР-разряды).

В докладе «*Развитие проекта ИТЭР*», представленном **Л. Н. Химченко** и **А. В. Красильниковым** (Проектный центр ИТЭР), были проанализированы основные достижения в создании термоядерного реактора ИТЭР, в общем, и в изготовлении систем, за которые отвечает Россия, в частности. Показано, что полным ходом идет сооружение инфраструктуры токамака-реактора на площадке ИТЭР. Изготовление систем ИТЭР в странах-участниках проекта вступило в производственную фазу. Развивается и детализируется проект сборки ИТЭР. Уточняются вопросы безопасной эксплуатации токамака-реактора. Учитываются последние достижения физики высокотемпературной плазмы. Развиваются диагностические методы и алгоритмы управления реактором.

Проблема создания стационарного источника нейтронов на базе токамака была затронута в докладе **В. Л. Вдовина** (НИЦ Курчатовский институт) «*Компактный стационарный ТИН-СП в сильном магнитном поле для ядерной науки и пилотная электростанция синтеза*». Были проанализированы сценарии и промоделированы ВЧ-методы поддержания тока, наиболее эффективные и коммерчески доступные для стационарной работы реактора. Показана физическая и техническая возможность создания D-T-реактора масштаба JET ( $R = 2,7$  м), работающего стационарно и надежно с эффективным поддержанием тока геликонами и с высоким выигрышем энергии  $Q$ . Реактор ТИН-СП будет производить 120 МВт электрической мощности, являясь пилотной электростанцией энергии синтеза. Стоимость капитальных затрат на сооружение оценивается в 2—2,5 млрд. долларов, и такой реактор может быть сооружен в России.

Детальный обзор «*Результаты и планы исследований, проводимых на сферических токамаках Глобус-М и Глобус-М2*» был представлен большим коллективом авторов из Физико-технического института им. А. Ф. Иоффе РАН. Докладчиком был **М. И. Патров**. В докладе обсуждались результаты экспериментов и расчетов по разработке методов безындукционной генерации тока, исследованиям диверторной области плазмы и взаимодействия плазма—стенка. Также были приведены результаты расчетов по двумерному интегральному моделированию параметров плазмы в пограничной области. Представлены данные по влиянию изотопного состава плазмы на удержание энергии, обсуждались особенности развития неустойчивостей альфвеновского диапазона частот и геодезической акустической моды. В докладе также говорилось о состоянии работ по сооружению установки «Глобус-М2» — сферического токамака нового поколения. Одновременно обсуждалось развитие диагностического комплекса и систем нагрева.

Последние годы активно обсуждаются концепции создания термоядерного источника нейтронов на базе тороидальных и линейных магнитных ловушек. Этой теме был посвящен доклад «*Термоядерный источник нейтронов на основе осесимметричного пробкотрона: ключевые физические проблемы и пути их решения*», представленный **П. А. Багрянским** от имени коллектива авторов из Института ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН. В докладе было представлено экспериментальное обоснование проекта мощного генератора нейтронов D—T-реакции на основе осесимметричного пробкотрона. Рассмотрены проблемы продольного удержания и способы подавления поперечных потерь при развитии МГД-неустойчивостей в системах с аксиально-симметричной конфигурацией магнитного поля. Обсуждались также способы улучшения продольного удержания, использование которых ведет к увеличению эффективности проектируемого источника нейтронов. Особое внимание было уделено описанию новейшей серии экспериментов с дополнительным ЭЦР-нагревом. В этих экспериментах получены рекордные значения электронных температур, что является ключевым параметром, определяющим время удержания горячих ионов.

Прошло 60 лет с тех пор, как в Институте атомной энергии были начаты первые эксперименты по удержанию плазмы на тороидальной установке с сильным магнитным полем. **В. С. Стрелков** (НИЦ «Курчатовский институт») в докладе «*Термоядерная энергетика. 60 лет исследований. Что дальше?*» подвел итог и проанализировал успехи и неудачи исследований в этом направлении.

**А. А. Рухадзе** (Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН) сделал доклад «*Основные этапы развития фундаментальной физики плазмы. И. Ленгмюр, Л. Д. Ландау, Н. Н. Боголюбов, Г. В. Гордеев, Б. Б. Кадомцев, В. П. Силин*», где был дан краткий исторический обзор развития теории физики плазмы. Основные вехи развития теории плазмы, по мнению автора, были определены перечисленными в заглавии физиками.

Был также заслушан обзорный доклад **С. Т. Суржикова** (Институт проблем механики им. А. Ю. Ишлинского РАН) «*Неравновесное излучение сильных ударных волн в атмосферах Земли, Марса и Титана*». Дан обзор современного состояния экспериментальных и расчетно-теоретических исследований неравновесного спектрального излучения сильных ударных волн в смеси газов  $N_2-O_2$ ,  $CO_2-N_2$ ,  $CH_4-N_2$  в условиях, соответствующих условиям, реализованным в недавно выполненных экспериментах на ударных трубах. Задача о неравновесном излучении сильных ударных волн решалась в двух постановках. В классической одномерной постановке (в т. н. эйлеровой постановке) изучалось неравновесное спектральное излучение одномерной ударной волны. Вторая постановка задачи основана на решении задачи обтекания космического аппарата вязким теплопроводным газом при скорости  $V > 5$  км/с. Обсуждалось соответствие расчетных данных, полученных в рамках этих двух подходов.

В обзорном докладе **И. Л. Иосилевского** (ОИВТ РАН) «*Неконгруэнтные фазовые переходы в плазме земных и космических приложений*» обсуждались неконгруэнтные фазовые переходы как наиболее общий тип фазовых превращений в плазме смесей и продуктов высокотемпературного разложения химических соединений (компаундов). Рассматривалось несколько примеров реализации неконгруэнтного сценария фазового перехода в кулоновских системах. Базой для сравнения взят изученный ранее пример неконгруэнтного испарения в химически активной плазме продуктов высокотемпературного (экстремального) нагрева важного компаунда ядерной энергетики — диоксида урана. Другим примером было неконгруэнтное испарение в высокотемпературном диоксиде кремния — химически активной плазменной системе, важной для земных и космических приложений.

**Г. В. Найдис** (ОИВТ РАН) сделал обзорный доклад на тему «*Физические и химические процессы в холодных плазменных струях*». Отмечалось, что в последнее десятилетие значительное внимание уделяется развитию методов получения сильнонеравновесной (холодной) плазмы атмосферного давления и исследованию характеристик такой

плазмы в связи с ее использованием в биомедицинских приложениях. Один из наиболее перспективных генераторов холодной плазмы представляет собой импульсно-периодический барьерный или коронный разряд в тонкой диэлектрической трубке, через которую прокачивается плазмообразующий инертный газ (чистый или с молекулярными добавками). Обсуждались результаты численного моделирования динамики и структуры плазменных струй, было проведено их сопоставление с данными экспериментов. Приведены примеры использования плазменных струй в биологии и медицине.

В докладе **В. Г. Новикова** (Институт прикладной математики им. М. В. Келдыша РАН) «*Квантово-статистические модели и методы расчета термодинамических и оптических свойств плотной плазмы*» дано краткое описание некоторых хорошо зарекомендовавших себя на практике квантово-статистических моделей самоогласованного поля для вещества с заданной температурой и плотностью (квазизонной модели и модели Либермана). Обсуждались также основанные на этих моделях методы расчета термодинамических и оптических свойств плотной плазмы в области высоких температур. Был проведен критический анализ рассматриваемых подходов и проанализированы их области применимости на основе многочисленных примеров, иллюстрирующих работоспособность моделей в различных приложениях.

Большой интерес вызвал доклад **Б. А. Векленко** (ОИВТ РАН) «*Максвелловская плазма и квантовые флуктуации*». В нем отмечалось, что традиционно теория высокотемпературной классической электрон-ионной плазмы в состоянии, близком к термодинамическому равновесию, опирается на уравнение А. А. Власова, предписывающее ей плазменные колебания с частотой, не зависящей от длины волны. Автором был предложен новый безразмерный квантовый параметр, который в характерных плазменных условиях велик. Это, в принципе, может повлиять на существующие соотношения в теории плазмы.

Доклад международного коллектива авторов, представленный **О. Н. Розмей** (Центр по изучению тяжёлых ионов им. Гельмгольца, GSI-Дармштадт, Германия), «*Исследования по физике энергии высоких плотностей, проводимые с использованием петаваттного лазера в институте GSI-Дармштадт*» был посвящен обзору результатов и перспектив экспериментальных исследований на уникальном комплексе установок Центра, в частности — на петаваттном 150—300 Дж лазере PHELIX, имеющим возможность работать как отдельно, так и в «связке» с линейным ускорителем

тяжелых ионов UNILAC (2—11 МэВ/нуклон). В докладе был представлен широкий спектр основных программ исследований: развитие лазерно-индуцированных вторичных источников излучения различного типа (в т. ч. пучков быстрых частиц с энергией, превышающей 1 МэВ) для диагностики вещества с высокой плотностью энергии, создание такими источниками области т. н. Warm Dense Matter (WDM) и изучение ее свойств (в т. ч. торможения в ней быстрых электронов), изучение оптических свойств неидеальной плазмы и торможения в ней ионов (стоппинг), лазерная генерация ударных волн, развитие диагностических методов для будущих применений. Установки GSI являются установками коллективного пользования и предоставляют широкие возможности для проведения многих актуальных исследований в рамках ИТС и смежных приложений. Российские научные группы принимают в этих работах активное участие.

**Т. Кавачи** (JAEA — Японское агентство по атомной энергии, Япония) представил обзор основных мощных лазерных установок, имеющих в распоряжении JAEA, ведущихся на них исследований и уникальных результатов, полученных в т. ч. с участием российских исследователей. Доклад назывался «*Развитие исследований и новые применения когерентного рентгеновского излучения и пучков высокоэнергичных частиц с использованием лазеров с высокой пиковой мощностью в Японском агентстве по атомной энергии*». В Японии существуют 6 основных центров, проводящих лазерные и лазерно-плазменные исследования по различным направлениям. Докладчик кратко резюмировал направления исследований и результаты экспериментов, проводимых во всех этих лазерных центрах.

Истории разработок и обзору полученных экспериментальных результатов исследований наноструктурированных сред был посвящен доклад «*Обзор прошедших лазерных экспериментов с малоплотными мишенями ФИАН*», представленный **Н. Г. Борисенко с соавторами** (ФИАН). Отмечалось, что работы по малоплотным мишеням ведутся в ФИАН в течение уже почти 30 лет. За это время разработаны технологии получения разнообразных веществ (пены и аэрогели, в т. ч. с присадками металлических нанокластеров, т. н. металлический наноснег), имеющих разную структуру, химический состав, прозрачность, однородность и плотность. Эти вещества и изготовленные из них мишени во многом расширили возможности изучения различных явлений в плазме в экспериментах с лазерными и ионными пучками.

**С. Ю. Гуськов** (ФИАН) представил обзор современных и перспективных исследований, на-

правленных на получение в лаборатории сверхвысоких давлений «*Прогресс в исследованиях генерации ударной волны с гигабарным уровнем давления в лабораторном эксперименте*». Отмечалось, что переход в изучении уравнения состояния (УРС) вещества к гигабарному уровню давления имеет принципиальное значение для понимания и адекватного описания процессов в астрофизических объектах и мишенях инерциального термоядерного синтеза. В современных экспериментах традиционно используются два метода генерации мощной ударной волны, приводящих к достижению рекордных давлений в лабораторном эксперименте: создание абляционного давления на поверхности мишени за счет нагрева вещества непосредственно лазерным излучением и генерация ударной волны в результате столкновения макрочастиц, ускоренных под действием лазерного импульса. Предельное давление ударной волны составляет в этих случаях около 100 и 500 Мбар соответственно. В обзоре основное внимание было уделено еще одному подходу к проблеме генерации мощной ударной волны, в основе которого лежит нагрев вещества потоком быстрых электронов, образующихся при воздействии на мишень лазерного излучения высокой интенсивности. Такой подход может обеспечить генерацию ударной волны с давлением за фронтом в несколько Гбар и переход в перспективе к исследованию УРС вещества на гигабарном уровне давления.

В обзоре «*Концепция фабрики криогенных мишеней для ИТС*», представленном **Е. Р. Корешевой** (ФИАН), был подведен промежуточный итог 25-летних исследований, проводимых сотрудниками семи российских организаций под руководством ФИАН для разработки системы непрерывного формирования криогенных мишеней реакторного масштаба. В ФИАН была предложена концепция фабрики криогенных мишеней, основанная на эффективной, надежной и дешевой (в пересчете на одну мишень) технологии массового производства мишеней. Составной частью этой технологии является FST-технология (разработка ФИАН) работы с движущимися бесподвесными мишенями, которая не имеет аналогов в мире.

### Секционные доклады

#### *Секция «Магнитное удержание высокотемпературной плазмы»*

На секции «Магнитное удержание высокотемпературной плазмы» (председатель секции — А. И. Мещеряков) было представлено 19 устных и 45 стендовых докладов, выполненных сотрудниками более чем 20 российских научных центров. При этом 6 докладов представлены совместно с

сотрудниками научных центров Белоруси, Казахстана, Австрии, Великобритании, Чехии и Финляндии.

Исследования, представленные на секции, внесли вклад в создание управляемого термоядерного реактора на основе установок с магнитным удержанием высокотемпературной плазмы: токамаков, стеллараторов, открытых ловушек. В настоящее время можно выделить два направления в практическом применении данных исследований: так называемый «чистый термоядерный реактор» и термоядерный источник нейтронов. В «чистом» термоядерном источнике энергии предполагается получение энергии из реакции синтеза дейтерия и трития и ее дальнейшая утилизация. Термоядерный источник нейтронов (ТИН) предполагается использовать для создания гибридного реактора, в котором ТИН окружен blanketом, состоящем из атомов, делящихся под воздействием потока нейтронов. Это позволяет увеличить энергетическую эффективность термоядерного реактора. Второе важное применение ТИНа — дожигание отходов атомных реакторов. Концепция ТИНа на базе токамака разрабатывается в НИЦ «Курчатовский институт», и этому была посвящена серия докладов.

Одновременно с развитием концепции ТИНа на основе компактного токамака в Институте ядерной физики им. Г. М. Будкера СО РАН развивается концепция ТИНа на основе открытой ловушки. В перспективе, открытая ловушка типа ГДЛ может использоваться для новых применений в области ядерной энергетики: для дожигания долгоживущих радиоактивных отходов, в качестве драйвера в подкритической энергетической установке, для наработки топлива для ядерных реакторов и даже чисто термоядерной энергетической установки.

Оба направления практического использования исследований в области высокотемпературной плазмы (термоядерный реактор и источник нейтронов) предполагают стационарную работу установки в течение длительного времени, измеряемого годами. Концепция стационарного токамака предполагает одновременное решение трех задач: создание стационарного магнитного поля, решение проблемы поддержания плазменного тока и осуществление непрерывной циркуляции DT-горючего. В докладе **С. В. Мирнова** (ТРИНИТИ) «*Эволюция концепции стационарного токамака*» содержался краткий обзор современного состояния проблемы создания стационарного токамака-реактора.

На решение проблемы создания стационарного термоядерного реактора на основе стелларатора

направлены исследования, проводимые на стеллараторе Л-2М в Институте общей физики им. А. М. Прохорова РАН. Важно отметить, что стеллараторные системы являются принципиально стационарными системами. В течение ряда лет на стеллараторе Л-2М проводятся эксперименты по созданию и бестоковому нагреву плазмы с помощью СВЧ-излучения на второй гармонике электронной циклотронной частоты. Отличительной особенностью этих экспериментов является высокий уровень удельной мощности ЭЦР-нагрева плазмы (до  $4,0 \text{ МВт/м}^3$ ). В этих условиях в экспериментах наблюдаются новые эффекты, а именно, формирование провального профиля плотности плазмы, уплощение профиля электронной температуры в центральной части плазменного шнура, образование двухтемпературных спектров, мягкого рентгеновского излучения, возникновение транспортных переходов в режим улучшенного удержания.

Работа секции «Магнитное удержание высокотемпературной плазмы» способствовала решению проблем создания термоядерных источников нейтронов как на основе токамаков, так и на основе открытых ловушек, проблем создания стационарного источника нейтронов, особенно топливного цикла ТИН. В целом работа секции была успешной и продемонстрировала соответствие уровня работ, проводимых в российских научных центрах в данной области исследований, мировому уровню. Возросло по сравнению с прошлым годом число молодых ученых, принимавших участие в работе секции.

### Секция

#### «Инерциальный термоядерный синтез»

На секции "Инерциальный термоядерный синтез" (председатель секции Степанов Р. В.) было представлено 14 устных докладов и 47 стендовых сообщения. Результаты 6 докладов получены при международном сотрудничестве с научными центрами США, Польши, Украины, Абхазии и Казахстана.

В целом, на основании анализа представленных на секции докладов, можно выделить несколько направлений исследований по инерциальному термоядерному синтезу (ИТС) и смежным проблемам, на которых сосредоточены усилия российских научных коллективов, работающих в этой области. К ним относятся: исследование физики электроразрядной плазмы различного типа, исследование уравнения состояния вещества на основе лазерного воздействия, которые включают дальнейшее развитие методов достижения экстремальных состояний вещества и перспективных диагностических средств; работы по созданию импульсных источников частиц и излучения вы-

соких энергий; физика и технология массового производства криогенных мишеней ИТС. Развивается расчетно-теоретическая база для этих исследований. Ведутся работы по поиску новых приложений результатов проводимых исследований (в том числе "лабораторная астрофизика" и медицина). Резюмируя материалы, представленные на секции, можно заключить, что сложившаяся за последние годы тенденция в развитии работ в области ИТС заметных изменений не претерпела. С удовлетворением можно отметить, что в области исследований электроразрядной плазмы происходит развитие экспериментальной базы мощных электрофизических установок и укрепление национальной кооперации проводимых исследований. В то же время экспериментальная база для проведения актуальных исследований по лазерному термоядерному синтезу (ЛТС) и смежным направлениям практически не развивается. По-прежнему в стране имеется лишь одна действующая лазерная установка с энергией килоджоульного уровня в Ядерном центре г. Сарова (ВНИИЭФ), которая предназначена для проведения исследований прикладного характера. Вместе с тем, как показал опыт исследований в США по достижению зажигания на мегаджоульном лазере NIF (National Ignition Facility — Национальная программа США) и на установке для зажигания термоядерной реакции с помощью обжатия мишени профилированным импульсом лазерного излучения (которые до сих пор не увенчались успехом), выход на уровень такого рода экспериментов потребовал двадцатилетнего периода последовательных циклов экспериментов на установках именно килоджоульного уровня для отработки технических решений и тестирования расчетно-теоретических методик. Эпизодическое участие российских ученых в зарубежных экспериментах и использование данных зарубежных исследований, доступных в открытой печати, не может компенсировать отсутствие в России экспериментов на собственных установках килоджоульного уровня, т. е. необходимого длительного этапа для перехода к лазерам мегаджоульного энергетического диапазона. Это становится особенно заметно при рассмотрении представленных **О. Розмей** (Германия) и **Т. Кавачи** (Япония) тематических обзорных докладов. В этом контексте дополнительный смысл приобретают давние усилия российских исследователей по разработке транспортабельных диагностических систем, в том числе, источников излучения. Возможность проведения экспериментов на международных установках коллективного пользования (в которых, надо отметить, российские исследовательские группы принимают активное



участие) все-таки, с точки зрения национальных интересов России, является лишь кажущимся выходом из положения. Другими словами, единственной в России действующей одноканальной установки ("Луч", ВНИИЭФ), обладающей подходящими временными и энергетическими параметрами, явно недостаточно для решения всего комплекса проблем, который только расширяется вместе со спектром перспективных задач, включая такие новые направления как "лабораторная астрофизика", лазерное ускорение пучков частиц, получение нового состояния вещества «теплой плотной материи» (Warm Dense Matter) и т. п., а также их разнообразные перспективные приложения. Ответы на эти новые вызовы авангарда мировой науки до сих пор в России не найдены, а сокращение финансирования и отсутствие мощных общероссийских программ в области ИТС и ЛТС (с участием кооперации ведущих институтов РАН и прикладных научных центров) указывает то, что эта ситуация застоя в России может продлиться неопределенно долгое время.

#### **Секция «Физические процессы в низкотемпературной плазме»**

На XLII Международной Звенигородской конференции по физике плазмы и УТС в рамках Научного совета РАН по проблеме «Физика низкотемпературной плазмы» работала секция «Физические процессы в низкотемпературной плазме» (председатель секции В. С. Воробьев). Было заслушано 24 устных доклада и 82 стендовых сообщения. Две работы выполнены в сотрудничестве с научными центрами США и Швеции, а в трех исследованиях принимали участие граждане Габона, Коста-Рики и Украины.

Устные доклады подытоживали исследования в следующих основных направлениях:

- 1) термодинамические и транспортные свойства неидеальной плазмы;
- 2) элементарные процессы и кинетические свойства газоразрядной низкотемпературной плазмы;
- 3) различные применения низкотемпературной плазмы;
- 4) плазма, возникающая в импульсных процессах.

По этим же направлениям можно разбить и стендовые доклады, хотя здесь было большое количество докладов, связанных с технологическими применениями низкотемпературной плазмы.

Результаты конференции свидетельствуют о высоком уровне экспериментальных и теоретических исследований, проводимых в России. Осо-

бенно хотелось бы отметить новое направление, которое применимо к условиям, когда низкотемпературная плазма превращается в т. н. «теплую плотную материю» (Warm Dense Matter). Это направление интенсивно развивается в ведущих мировых исследовательских центрах. Исследования российские ученых играют существенную роль в развитии этого направления.

На конференции, помимо обзорного доклада **В. Г. Новикова**, было заслушано четыре устных доклада по этой тематике.

Интерес вызвал доклад **А. Л. Хомкина** и **А. С. Шумихана** (ОИВТ РАН) «Фазовый переход диэлектрик-металл в парах щелочных и обычных металлов, водороде и экситонах». В этом докладе была предложена термодинамическая модель, позволяющая рассчитать параметры критической точки и бинадаль перехода диэлектрик—металл (пар—жидкость) в парах щелочных и других металлов, атомарном водороде и экситонах. В основу модели положено предположение о том, что главной причиной перехода является появление в плотном атомарном газе (в газовой окрестности критической точки) особого вида притяжения между атомами металла, обусловленного возникновением зоны проводимости и появлением электронов проводимости.

В докладе **В. С. Воробьева**, **А. С. Грушина** и **В. Г. Новикова** (ОИВТ РАН) «О плазменном фазовом переходе в цезии при высоких давлениях» обсуждалась возможность появления нового фазового перехода в плотной цезиевой плазме при высоких температурах и давлениях. Оценены параметры этого перехода.

Доклад **Ю. В. Думина** (МГУ) был посвящен «Модели ионизационно-рекомбинационного баланса в сильно-неидеальной ридберговской плазме». Было показано, что интерпретация распада плазмы в терминах индивидуальных процессов рекомбинации может оказаться неадекватной в случае сильной кулоновской неидеальности, когда заряженные частицы непрерывно испытывают множественные взаимодействия друг с другом.

Другое перспективное направление связано с применением низкотемпературной плазмы в качестве так называемых «плазменных антенн». Этот вопрос был рассмотрен в устном докладе **Г. П. Кузьмина**, **И. М. Минаева**, **А. А. Рухадзе**, **О. В. Тихоневича** (ИОФ РАН) «Спектральные характеристики плазменных антенн (амплитудная модуляция)». Были проведены исследования спектральных характеристик сигналов, излучаемых плазменными антеннами на частоте 430 МГц и различных частотах модуляции (от 200 до 2000 Гц) мощности задающего генератора, и проведено сравнение с сигналами, излучаемыми различными металлическими антеннами.

На двух заседаниях стендовой секции было представлено 82 доклада. Значительная часть из них была связана с технологическими применениями низкотемпературной плазмы. Другая часть докладов была связана с исследованием свойств и процессов в низкотемпературной плазме. Третья группа связана с исследованиями специфических форм разрядов в низкотемпературной плазме.

В целом, работа секции «Физические процессы в низкотемпературной плазме» была успешной и прошла на высоком научном уровне.

### **Секция «Физические основы плазменных и лучевых технологий»**

На секции «Физические основы плазменных и лучевых технологий» (председатель секции А. Ф. Александров) было представлено 14 устных и 52 стендовых доклада из институтов РАН, вузов и других ведущих научных центров России. Две работы выполнены совместно с научными центрами США и Франции.

Можно разбить доклады по следующим научным направлениям:

а) плазменные устройства, в том числе разряды, пучки и пучково-плазменные разряды, устройства физической электроники,

б) воздействие плазмы на вещество, плазмохимические процессы,

в) вопросы плазменной аэродинамики, плазменного стимулированного горения, плазменные процессы в воздушной атмосфере,

г) компьютерная физика плазмы и плазмоподобных сред.

Поскольку доклады часто включали вопросы по разным и смежным направлениям, то поэтому представленное разбиение носит условный характер.

Работа секции способствовала решению проблем создания и модернизации высокоэнергетических плазменных устройств, таких как мощные плазмотроны, генераторы терагерцового излучения, источники мощного СВЧ-излучения.

Представленные доклады показывают, что проведенное мероприятие в существенной степени влияет на развитие плазменных методов создания новых перспективных веществ, модификации поверхности и формы образцов как плазмохимическими, так и плазмодинамическими методами.

Обмен мнений и информации по результатам в сравнительно новой области плазменной аэродинамики и плазменного стимулированного горения способствует ускоренному выходу исследований в данной области на стадию практических приложений.

Доклады по «компьютерной физике плазмы и плазмоподобных сред» продемонстрировали но-

вые практические методы, программные комплексы и уже реализованные возможности для расширения области приложений в моделировании реальных систем.

Уровень исследований в этих областях традиционно не уступает и в отдельных вопросах даже превосходит мировой уровень исследований. Часть работ проделана в кооперации с зарубежными коллективами.

Следует отметить умеренную, а часто и недостаточную обеспеченность данного научного направления научными кадрами и научным оборудованием. Положительным фактом является появление значительного числа работ с участием молодых ученых, аспирантов и студентов старших курсов университетов.

### **Сессия «Проект ИТЭР. Шаг в энергетику будущего»**

На ставшую уже традиционной секцию «Проект ИТЭР. Шаг в энергетику будущего» (председатель секции А. В. Красильников) в этом году было представлено 57 докладов, из них 9 были доложены на устном заседании, 48 — на стендовом. Это почти в два раза больше, чем в прошлом году, что свидетельствует о значительном расширении исследований в этой области. Четыре доклада были сделаны по результатам международного сотрудничества с научными центрами Франции, Эстонии и Нидерландов.

Доклады устного заседания были посвящены различным системам ИТЭР, изготавливаемым в России в рамках международных соглашений.

В докладе **С. А. Лелехова** (Проектный центр ИТЭР) представлен обзор работ по разработке магнитных систем для демонстрационных термоядерных реакторов. Доклад **А. Н. Маханькова** (НИИЭФА) посвящен разработке конструкции центральной сборки дивертора (ЦСД) ИТЭР, работоспособной на нейтронной фазе работы реактора. В докладах **М. В. Иванцовского** рассмотрены работы ИЯФ СО РАН по проекту ИТЭР: проектные работы по интеграции экваториального порта № 11, верхних портов № 02 и № 08, проектные работы по созданию диагностических модулей вертикальной нейтронной камеры (ВНК) и разработка, изготовление и испытания опытного образца диверторного монитора нейтронного потока.

В докладе **И. Б. Семенова** (Проектный центр ИТЭР) рассмотрены элементы конструкции систем регистрации и управления российских диагностик, позволяющие работать системам в сильных гамма и нейтронных радиационных полях и удовлетворяющие требованиям работы в условиях сильных электромагнитных наводок. Рассмотрены

вопросы согласования потоков данных диагностических комплексов с пропускной способностью линий передачи данных в систему НРС (High Performance Computing) и в архивные базы данных. **С. Ю. Толстяков** (ФТИ РАН) рассказал о современном состоянии разработки систем диагностики томсоновского рассеяния плазмы в диверторе токамака ИТЭР. Доклад **Д. А. Шелухина** (НИЦ Курчатовский институт) посвящен обзору статуса работ по диагностике НФС-рефлектометрия ИТЭР. В докладе **В. С. Неверова** (НИЦ Курчатовский институт) рассказано о проверке метода интерпретации бальмер-альфа-спектрокопии для пристеночной плазмы токамака с учетом рассеянного диверторного света на данных предсказательного моделирования ИТЭР. В докладе **С. Ю. Обудовского** (Проектный центр ИТЭР) рассмотрено состояние работ по созданию диагностики ИТЭР «Диверторный монитор нейтронного потока» (ДМНП). Прототип системы регистрации сигналов ДМНП прошел испытания на ядерном реакторе в НИЦ «Курчатовский институт», которые подтвердили полное соответствие техническим требованиям.

Работа секции была успешной. Она показала существенный прогресс в научно-исследовательских и конструкторских работах в поддержку проекта ИТЭР в рамках ответственности по поставкам Российской Федерации.

### Заключение

В целом следует отметить, что XLII Международная (Звенигородская) конференция по физике плазмы и управляемому термоядерному синтезу 2015 года стала важным событием, оказавшим влияние на развитие научных исследований и их координацию в ведущих научных центрах России и за рубежом.

По материалам конференции можно сделать следующие основные выводы.

1. Международная Звенигородская конференция по физике плазмы и управляемому термоядерному синтезу является единственным ежегодным проходящим в России крупномасштабным научным форумом ученых, работающих в области физики плазмы и управляемого термоядерного синтеза в России и СНГ, причем с участием приглашенных ведущих ученых мирового уровня. Она проходила в 2015 г. уже в 42-й раз и собрала на свои заседания более 600 участников из научных центров России и других стран. Число российских (87) и иностранных организаций (30), представивших доклады на конференцию, стабильно остается на высоком уровне.

2. Конференция способствовала решению научных проблем по таким направлениям, как магнитное удержание высокотемпературной плазмы, инерциальный термоядерный синтез, физические процессы в низкотемпературной плазме, физические основы плазменных и лучевых технологий, а также по проблемам, связанным с реализацией международного проекта ITER. Ежегодно происходящий обмен информацией и опытом между учеными России, стран дальнего и ближнего зарубежья способствует установлению научных контактов между научными центрами, занимающимися близкими проблемами. Это подтверждается большим количеством работ, совместно выполненными сотрудниками различных научных центров.

3. Уровень экспериментальных работ, выполненных российскими учеными на крупных российских установках в области магнитного удержания горячей плазмы, пока еще достаточно высок, несмотря на физическое и моральное старение экспериментального и диагностического оборудования.

4. Растет число работ, посвященных прикладным исследованиям в области физики плазмы, увеличивается интерес к этим научным исследованиям среди молодежи, принявшей участие в работе конференции.

5. Остается заметным число представленных на конференции работ, выполненных российскими учеными совместно с учеными ведущих научных центров Европы, Японии и США. Это указывает на то, что авторитет и научная квалификация российских ученых в области физики плазмы остаются высокими и востребованы мировым научным сообществом.

6. На конференции было представлено 85 докладов, результаты которых получены в рамках действующих проектов РФФИ, что составляет 23 % от всех докладов, заслушанных на конференции. Проблематика этих проектов РФФИ соответствует перечню актуальных проблем, рассматривавшихся на секциях: магнитное удержание высокотемпературной плазмы — 14 докладов (22 % секционных докладов), инерциальный термоядерный синтез — 24 доклада (39 %), физические процессы в низкотемпературной плазме — 23 доклада (22 %), физические основы плазменных и лучевых технологий — 22 доклада (42 %), и проблемы, связанные с реализацией международного проекта ITER — 2 доклада (4 %).

7. Оргкомитетом конференции совместно с ЗАО НТЦ «ПЛАЗМАИОФАН» подготовлена и издана книга «XLII Международная Звенигородская конференция по физике плазмы и управляемому термоядерному синтезу». Сборник тезисов докладов. — М.: ЗАО НТЦ ПЛАЗМАИОФАН. 433С. ISBN 978-5-9903264-5-3. Материалы конференции также размещены на сайте конференции [http://www.fpl.gpi.ru/Zvenigorod/XLII/Zven\\_XLII.html](http://www.fpl.gpi.ru/Zvenigorod/XLII/Zven_XLII.html).

Данный обзор подготовлен в рамках проекта Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ) проект № 15-02-20011.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. XLII Международная Звенигородская конференция по физике плазмы и управляемому термоядерному синтезу. Сборник тезисов докладов. — М.: ЗАО НТЦ «ПЛАЗМАИОФАН», 2015.
2. [http://www.fpl.gpi.ru/Zvenigorod/XLII/Zven\\_XLII.html](http://www.fpl.gpi.ru/Zvenigorod/XLII/Zven_XLII.html)

## Modern status of research on plasma physics and plasma technologies in RUSSIA (Review of the XLII International Zvenigorod Conference 2014)

*I. A. Grishina, V. A. Ivanov, and L. M. Kovrizhnykh*

Prokhorov General Physics Institute of the Russian Academy of Sciences  
ul. Vavilova 38, Moscow, 199911 Russia  
E-mail: [ivanov@fpl.gpi.ru](mailto:ivanov@fpl.gpi.ru)

*Received March 25, 2015*

*The article provides a review of the most interesting results presented at the annual XLII International (Zvenigorod) Conference on Plasma Physics and Controlled Fusion held from 9 to 13 February 2015 in the town of Zvenigorod, Moscow region. The main development trends of studies on plasma physics in Russia are analyzed.*

PACS: 52.55.-s, 52.25.-b

*Keywords:* plasma physics, nuclear fusion, investigations, conference, results.

#### REFERENCES

1. *Proceedings of the XLII International Zvenigorod Conference on Plasma Physics and Controlled Thermonuclear Fu-*

*sion. Abstracts.* (ZAO PLAZMAIOFAN, Moscow, 2015) [in Russian].

2. [http://www.fpl.gpi.ru/Zvenigorod/XLII/Zven\\_XLII.html](http://www.fpl.gpi.ru/Zvenigorod/XLII/Zven_XLII.html)