

УТВЕРЖДАЮ

И.о. директора ФГБУН

Института ядерной физики им. Г.И. Будкера

Сибирского отделения Российской академии наук

академик \_\_\_\_\_ А.Н. Скринский

« 15 »   февраля   2015 г.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ПРОГРАММА

кандидатского экзамена по специальности

01.04.08 – «Физика плазмы»

## **I. Открытые ловушки**

### **I.1 Пробкотрон Будкера-Поста**

Адиабатическое удержание заряженных частиц в пробкотроне. Оценка времени жизни частиц в пробкотроне. МГД равновесие и устойчивость плазмы в пробкотроне. Стабилизация желобковой неустойчивости «минимумом В». «Конусные» кинетические неустойчивости плазмы: высокочастотная конусная неустойчивость, дрейфово-конусная неустойчивость, альфеновская анизотропная ионно-циклотронная неустойчивость. [1-8]

### **I.2 Амбиполярная ловушка**

Амбиполярный потенциал плазмы в пробкотроне. Формирование потенциальных барьеров в амбиполярной ловушке. Формула Пастухова. Процессы переноса в аксиально-несимметричных ловушках. [1,2,9-11]

### **I.3 Многопробочная ловушка**

Продольное удержание плазмы в многопробочной ловушке. Стеночное удержание плотной плазмы. Обратный ток. Стабилизация винтовой неустойчивости. Возбуждение ленгмюровской турбулентности пучком релятивистских электронов. Турбулентное подавление продольной теплопроводности. [12,13]

### **I.4 Газодинамическая ловушка**

Газодинамическая ловушка (ГДЛ). Продольные потери частиц и энергии в ГДЛ. Методы стабилизации МГД неустойчивостей плазмы в аксиально-симметричных ловушках. Нейтронный источник на основе ГДЛ. Проект ГДМЛ. [2,14]

## **II. Сильноточные пучки заряженных частиц и их взаимодействие с плазмой**

### **I. Генерация сильноточных пучков**

Методы получения сильноточных релятивистских электронных пучков (РЭП). Взрывная эмиссия. Плазменный эмиттер электронов. Сильноточные релятивистские диоды. Транспортировка сильноточных пучков в вакууме. Критические токи. Зарядовая и токовая нейтрализация пучков в плазме. Генерация мощных потоков ионов с помощью РЭП. Коллективное ускорение ионов в сильноточных электронных пучках. [15]

### **2. Коллективная релаксация РЭП в плазме**

Возбуждение ленгмюровских колебаний в плазме при инжекции РЭП. Квазилинейный и нелинейные механизмы релаксации. Диссипация энергии колебаний в плазме (нагрев плазмы). Влияние магнитного поля на релаксацию. Нагрев плазмы обратным током, аномальное сопротивление. [16-18]

## **III. Диагностика высокотемпературной плазмы**

Электрические и магнитные зонды. Применение зондов для определения параметров плазмы в открытых ловушках. Измерение диамагнетизма плазмы. Методы исследования потоков частиц: датчики плотности тока, энергоанализаторы, калориметры, болометры. СВЧ диагностика плазмы. Регистрация микроволнового излучения плазмы. Корпускулярная диагностика плазмы (активная и пассивная). Оптические диагностики: интерферометрия и спектроскопия плазмы в инфракрасной и видимой областях, пучково-эмиссионная спектроскопия. Лазерное рассеяние и особенности его применения для диагностики неравновесной плазмы. Рентгеновские методы диагностики плазмы. Нейтронные измерения. [2, 19-22]

## **IV. Инжекторы пучков быстрых атомов**

Инжекторы пучков быстрых атомов на основе перезарядки положительных ионов. Требования к элементам инжектора. Инжекторы на основе отрицательных ионов. Получение и нейтрализация интенсивных пучков отрицательных ионов. [2, 23, 24]

## **V. Техника плазменного эксперимента**

Емкостные накопители энергии. Генераторы высоковольтных импульсных напряжений. Коммутаторы больших токов. Магнитные системы открытых ловушек. Сверхпроводящие соленоиды. Особенности вакуумных систем термоядерных установок. [25-28]

## **Литература**

1. Котельников И.А. Лекции по физике плазмы. М. : БИНОМ, 2013.
2. Fusion Physics / Edited by Mitsuru Kikuchi, Karl Lackner, Minh Quang Tran. – International Atomic Energy Agency, Vienna, 2012.
3. Миямото К. Основы физики плазмы и управляемого синтеза. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007.

4. Будкер Г.И. Термоядерные реакции в системе с магнитными пробками. К вопросу о непосредственном преобразовании ядерной энергии в электрическую // Физика плазмы и проблема управляемых термоядерных реакций, т.3, М. : Издательство АН СССР. С.3-31, 1958.
5. Post R.F. The magnetic mirror approach to fusion // Nuclear Fusion. – Vol. 27, No 10. – P.1577-1752. 1987.
6. Рютов Д.Д. Открытые ловушки // УФН 154 565–614 (1988).
7. Ryutov D.D., Berk H.L., Cohen B.I., Molvik A.W., Simonen T.C. Magneto-hydrodynamically stable axisymmetric mirrors // Phys. Plasmas, Vol. 18, 092301 (2011).
8. Чириков Б. В. Динамика частиц в магнитных ловушках // Вопросы теории плазмы / Под ред. Б. Б. Кадомцева. М. : Энергоатомиздат, 1983. – Т. 13. –С. 3–73.
9. Димов Г. И. Амбиполярная ловушка // УФН 175 1185–1206 (2005).
10. Пастухов В. П. Классические продольные потери плазмы в открытых адиабатических ловушках. // Вопросы теории плазмы. Т. 13 / Под ред. Б. Б. Кадомцева. М.: Энергоатомиздат, 1983. – С. 160-204.
11. Рютов Д. Д., Ступаков Г. В. Процессы переноса в аксиально-несимметричных открытых ловушках // Вопросы теории плазмы / Под ред. Б. Б. Кадомцева. М. : Энергоатомиздат, 1983. – Т. 13. – С. 74–159.
12. Векштейн Г. Е. Магнитотепловые процессы в плотной плазме // Вопросы теории плазмы / Под ред. Б. Б. Кадомцева. М. : Энергоатомиздат, 1987. – Т. 15. – С. 3–54.
13. Mirnov V.V., Lichtenberg A.J. Multiple mirror plasma confinement // Reviews of Plasma Physics. – 1996. – Vol. 19. – P.. 53.
14. Ivanov A. A. and Prikhodko V. V. Gas-dynamic trap: an overview of the concept and experimental results // Plasma Phys. Control. Fusion. – 2013– Vol. 55. – P. 063001
15. Миллер Р. Введение в физику сильноточных пучков заряженных частиц. М. : Мир, 1984.
16. Breizman B.N., Ryutov D.D. // Nucl. Fusion, vol.1 4, No 6, p .873, 1979.
17. Михайловский А.Б. Теория: плазменных неустойчивостей. М. : Атомиздат, 1975.
18. Брейзман Б. Н. Коллективное взаимодействие релятивистских электронных пучков с плазмой // Вопросы теории плазмы / Под ред. Б. Б. Кадомцева. М. : Энергоатомиздат, 1987. – Т. 15. – С. 55–145.
19. Райзер Ю.П. Физика газового разряда. М.: ИНТЕЛЛЕКТ, 2009.
20. Голдстон Р. Дж. Диагностика высокотемпературной плазмы в магнитных ловушках // Основы физики плазмы / Под ред. Р.З. Сагдеева и М. Розенблюта. – М. : Энергоатомиздат, 1984. – Т. 2. – С. 583–627.
21. Давыденко В.И., Иванов А.А., Вайсен Г. Экспериментальные методы диагностики плазмы. – Новосибирск: НГУ, 1999.
22. Стрелков В.С.. Физические основы методов диагностики плазмы в токамаке. – М. : МИФИ, 2004.
23. Семашко Н.Н., Владимиров А.И., Кузнецов В.В. и др. Инжекторы быстрых атомов водорода. М. : Энергоиздат, 1981.
24. Грин Т. Формирование и транспортировка пучков быстрых атомов / К. Барнет, М. Харрисон. Прикладная физика атомных столкновений. Плазма. – М. : Энергоатомиздат, 1987.

25. Монтгомери Д.Б. Получение сильных магнитных полей с помощью соленоидов. М. : Мир, 1971.
26. Импульсные системы большой мощности: сб. статей. Пер. с англ. ; Под ред. Э.И. Асиновского. М. : Мир, 1981.
27. Уилсон М. Сверхпроводящие магниты. М.: Мир, 1985.
28. Глазков А.А., Саксаганский Г.Д. Вакуум электрофизических установок и комплексов. М.: Энергоатомиздат, 1985.

Программу составили

Доктор физ.-мат. наук

В.И. Давыденко

Доктор физ.-мат. наук

профессор

И.А. Котельников