

Экспериментальные методы исследования плазмы, ч. 1

Электронный лекционный курс*

Судников А. В.

Лекция 7 Активная корпускулярная диагностика

© Новосибирский государственный университет 2013 г. Редакция 2017 г.

* Курс подготовлен в рамках реализации Программы развития НИУ НГУ на 2009–2018 годы

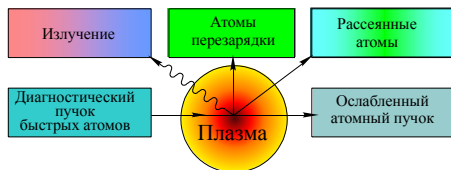
Активная корпускулярная диагностика плазмы (часть 2)

- Основы метода
 - Взаимодействие диагностического пучка с плазмой
 - Источники диагностических атомарных пучков (обзорно)
- Многократное ослабление пучка
- Резерфордское рассеяние быстрых атомов
- Регистрации вторичных ионов
- Зондирование пучками тяжелых ионов или атомов
- Пучково-спектроскопические диагностики
 - Собственное свечение пучка
 - Динамический эффект Штарка (MSE)
 - Перезарядно-рекомбинационная спектроскопия (CHERS)

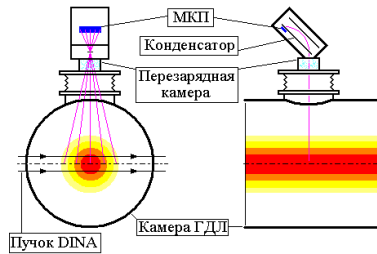
Активная корпускулярная диагностика плазмы

Параметры плазмы определяются в результате взаимодействия диагностического пучка частиц с плазмой.

Общая схема измерений:

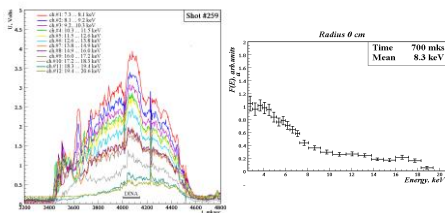


Метод искусственной мишени.



Анализатор атомов перезарядки совмещен с камерой-обскурой.

Метод искусственной мишени



Сигнал с каналов анализатора

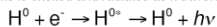
Результат: локальная $F_1(E)$

Активная корпускулярная диагностика плазмы (часть 2)

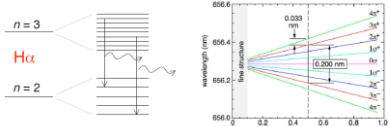
- Основы метода
 - Взаимодействие диагностического пучка с плазмой
 - Источники диагностических атомарных пучков (обзорно)
- Многоходовое ослабление пучка
- Резерфордское рассеяние быстрых атомов
- Регистрации вторичных ионов
- Зондирование пучками тяжелых ионов или атомов
- Пучково-спектроскопические диагностики
 - Собственное свечение пучка
 - Динамический эффект Штарка (MSE)
 - Перезарядно-рекомбинационная спектроскопия (CHERS)

Динамический эффект Штарка

- Beam of H atoms is excited and radiates as it traverses plasma



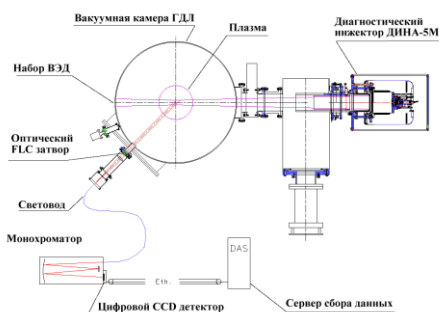
- H^0 electron energy levels are split by motional $E = v_{beam} \times B$



- Measure emitted radiation pattern, know v_{beam} , calculate B



Динамический эффект Штарка. Пример диагностической системы

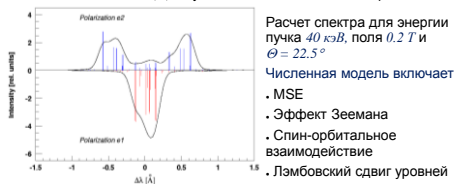


Модель распределения интенсивности переходов в мультиплете H_{α} для общих условий MSE-эксперимента

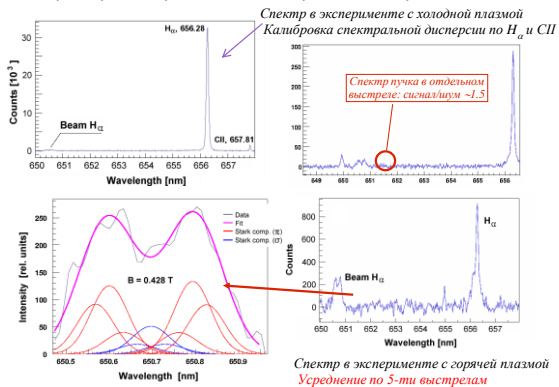
Требование к временному разрешению диагностики: 200–300 мкс ($\tau \approx 750$ мкс)

Требование к точности измерения $|B|$: $\approx 5\%$ (для вычисления β)

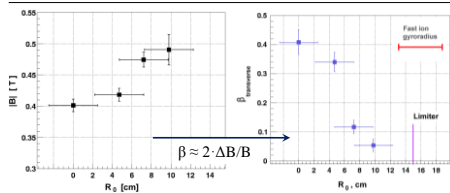
Интервалы тонкой структуры составляют $\sim 10\%$ от штарковского расщепления для 40 кэВ пучка атомов H при движении в поле 0.2 T. Для интерпретации результатов в слабых полях и для повышения точности вычисления $|B|$ актуальна точная модель спектра.



Примеры шарковских спектров в эксперименте на ГДЛ

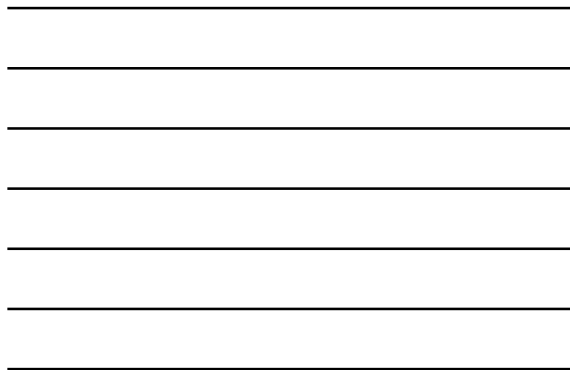


Пример результатов MSE-диагностики на ГДЛ

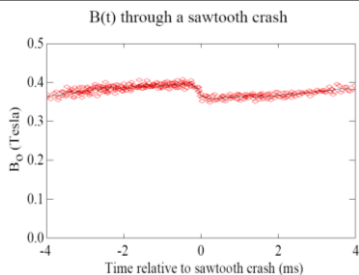


Радиальный профиль $|B|$ в области точки остановки быстрых ионов. Горизонтальные "усы" показывают пространственное разрешение диагностики.

Радиальный профиль β_β в точке остановки быстрых дейтронов. Максимальное значение на оси 0.4, радиус ≈ 8 см



Пример результатов MSE-диагностики на MST



Пример комбинированного использования активных корпускулярных диагностик: MST

On MST, two-pronged approach to advancing beam-based diagnostics:

- compact, high-brightness diagnostic neutral beams
- custom high-throughput spectrometers

New physics (some unexpected) already obtained

- impurity, majority ion heating differ

Diagnostic	Plasma parameters measured	Spatial and temporal resolution
CHERS	Impurity (C) T_i and v_i	2 cm, 100 kHz
Rutherford scattering	Majority (D) T_i and v_i	~14 cm, 100 kHz
Spectral MSE	$ B \geq 0.2$ T, ~2% precision	~8 cm, 10 kHz

CHERS and Rutherford scattering measurements show that ions are strongly heated during a reconnection event.



- Majority T_i increase is less than impurity
 - implies Z or mass dependence to heating mechanism

