



B 333
P. 76



МАТЕРИАЛЫ
VI РОССИЙСКОГО СЕМИНАРА

СОВРЕМЕННЫЕ СРЕДСТВА ДИАГНОСТИКИ
ПЛАЗМЫ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ ДЛЯ
КОНТРОЛЯ ВЕЩЕСТВ И ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Москва, МИФИ, 22-24 октября 2008 г.

Москва 2008

М.В. Иванцовский^{1,2}, А.В. Бурдаков^{1,2}, Л.Н. Вячеславов¹, В.В. Поступаев^{1,3},
С.С. Попов^{1,3}, А.Ф. Ровенских¹, А.Д. Хильченко¹

¹ Институт Ядерной физики им. Г.И.Будкера СО РАН

² Новосибирский государственный технический университет

³ Новосибирский государственный университет

Установка ГОЛ-3 (гофрированная открытая ловушка) относится к классу открытых плазменных ловушек с магнитной системой удержания. Нагрев плазмы в установке осуществляется релятивистским электронным пучком (РЭП) имеющим следующие характеристики: энергия ~ 0.8 МэВ, ток ~ 30 кА, длительность импульса ~ 10 нс, полное энергосодержание ~ 150 кДж. Этот пучок нагревает дейтериевую плазму с плотностью $\sim 10^{21}$ м⁻³ до температуры $2 \div 3$ кэВ [1]. Время удержания в этих экспериментах было ~ 1 мс.

Для определения температуры и плотности электронов плазмы на установке используется система томсоновского рассеяния.

Система томсоновского рассеяния работает на первой гармонике твердотельного Nd-лазера (1054 нм), работающего в одноимпульсном режиме (40 Дж, 15 нс). Система позволяет производить измерения рассеянного света на

углы рассеяния 90° и 8° (рис. 1),

которые обеспечивают измерения в

диапазоне энергий до 20 кэВ [2].

Более того, используя измерения

рассеянного света на малый градус в

разных направлениях, можно

измерять пространственную

структуру функции распределения.

Измерения производятся в точке

$Z=415$ см от точки инжекции пучка в плазму.

Лазер состоит из генератора, двух усилителей (пяти- и однопроходного), пространственного фильтра и набора диафрагм. В фокусе диаметр луча составляет ~ 0.2 мм. При проведении 90° измерений свет собирается объективом

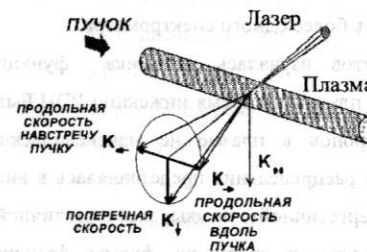


Рис.1 Схема регистрации рассеянного света

Из-за малого междуэлектродного расстояния (2 мм) ток насыщения в такой камере достигается при малом напряжении питания 9-10 В. Для испытаний НИК применялось излучение рентгеновской трубки с вольфрамовым анодом. Напряжение на трубке изменялось от 5 до 50 кэВ.

Возможность применения НИК на установке ИТЭР определяется ее чувствительностью к гамма излучению. Эта чувствительность была определена на источнике гамма излучения ⁶⁰Co (энергия квантов 1.173 и 1.332 МэВ). Эти эксперименты показали, что при экранировке НИК со всех не рабочих сторон, эффективность регистрации гамма квантов примерно в 14 раз меньше, чем эффективность регистрации рентгеновских лучей. Известно, что чувствительность ионизационной камеры к гамма излучению определяется, в основном, материалом стенок [3]. Изготовление стенок из легких материалов существенно уменьшает эту чувствительность. В нашем случае чувствительность определяется материалом электродов.

Низкое напряжение питания НИК позволяет применить напряжение, промодулированное по амплитуде [4]. Для компенсации переменного сигнала, проникающего на вход усилителя через емкость НИК была использована мостовая схема.

Описанная схема компенсации наводок была испытана на токамаке Т-10. Расстояние от детектора до измерительного устройства составляло 70 м. Было показано, что применение НИК вместе с предложенной схемой практически полностью устраняет электромагнитные наводки

Выводы

1. Разработана ионизационная камера, работающая при напряжении питания менее 10 В.
2. Низкое напряжение питания НИК позволяет эффективно применить систему подавления наводок и разместить усилитель на расстоянии 70 - 100 м от установки.

Литература:

1. Gott Yu. V., Stepanenko M.M. // Rev. Sci. Instruments. 2005. V. 7. P. 073506.
2. Барыков И.А., Готт Ю.В., Степаненко М.М. // Приборы и техника эксперимента. 2006. № 2. С. 133.
3. Векслер В., Грошев Л., Исаев Б. Ионизационные методы исследования излучений. // Государственное издательство технико-теоретической литературы. Москва-Ленинград. 1949.
4. Чуклаев С.В., Грудский М.Я., Артемьев В.А. Вторично-эмиссионные детекторы ионизирующих излучений. // Энергоатомиздат. Москва. 1995.

и фокусируется на торцы кварцевых световодов (диаметр световодов 1 мм). По световодам свет передается на пульттовую, где располагается спектрометр и регистрирующее оборудование: лавинный фотодиод (ЛФД) с усилителем и АЦП.

При измерении света рассеянного на 8^0 используется другая система сбора света. Для регистрации используется четыре секторных параболических зеркала, расположенные за секторными диафрагмами, которые через промежуточные плоские зеркала фокусируют рассеянный свет на торец кварцевого световода (диаметр 1 мм). Далее свет доставляется в пульттовую и регистрируется, как описано выше.

Для измерения спектра используется стигматический спектрометр, представленный на рисунке 2. Эта схема позволяет передать изображение входного световода на выход в масштабе 1:1 без потерь. Когда вместо выходного световода устанавливается коллектор световодов, то в каждый световод (канал) попадает своя длина волны, что позволяет измерить спектр рассеянного излучения. Для проведения

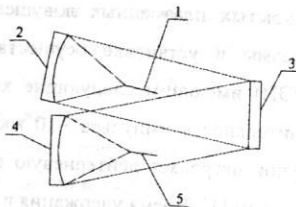


Рис.2 Схема стигматического спектрометра
1. Входной световод
2, 4. Параболические зеркала
3. Дифракционная решетка
5. Выходной световод

одновременных измерений рассеянного света по разным направлениям или разными углами необходимо использовать более одного спектрометра.

В последней серии экспериментов изучалась динамика функции распределения электронной компоненты плазмы во время инжекции РЭП. Было установлено, что распределение электронов в плазме не максвелловское. Поэтому, в дальнейшей работе, функция распределения представлялась в виде суммы двух функций гаусса «низкоэнергетичной» и «высокоэнергетичной» компонент. Было выявлено, что существует эволюция формы функции распределения электронов со значительным разбросом от выстрела к выстрелу между «низкоэнергетичной» и «высокоэнергетичной» компонентами[3]. Быстрое исчезновение электронов с энергией в несколько кэВ из плазмы (рис.3) может быть объяснено высоким уровнем микротурбуленции в плазме в течении второй половины пучка с одновременным уменьшением источника накачки таких электронов. В течение этого периода мощности и/или качества пучка

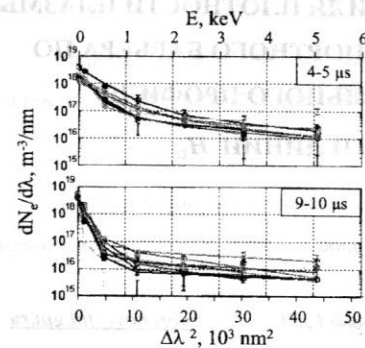


Рис.3 Спектр рассеянного под 90^0 излучения для 4+5 (сверху) и 9+10 мкс (снизу) после начала инжекции пучка.

Данная работа частично поддержана Фондом поддержки российской науки, РФФИ 07-08-00682, 08-01-00622, 08-02-01197, CRDF Y4-P-08-09, РНП.2.2.2.3.1003.

Литература:

1. BURDAKOV A.V., et al., "Plasma Heating and Confinement in GOL-3 Multiple Mirror Trap," Fusion Science and Technology, **51** (No. 2T), 106 (2007).
2. POPOV S.S., et al., "Measurements of the Electron Energy Spectrum by Using Small-Angle Thomson Scattering", Plasma Physics Reports, **34**, 212 (2008).
3. АСТРЕЛИН В.Т., и др., " Подавление теплопроводности и генерация ионно-звуковых волн при нагреве плазмы электронным пучком ", Физика плазмы, 1998, т.24, № 5, с.450-462.
4. POSTUPAEV V.V., et al., "Dynamics of Electron Distribution Function in Multiple Mirror Trap GOL-3 ", 35th EPS Conference on Plasma Phys. Hersonissos, 2008, ECA, Vol.32, P-5.098.

недостаточно для дальнейшего нагрева плазмы, но пучок все еще подходит как инструмент для поддержания высокого столкновительного уровня электронов, что обеспечивает подавление продольной теплопроводности и существенно снижает продольные потери в ловушке[4].

МНОГОКАНАЛЬНЫЙ ДИСПЕРСИОННЫЙ ИНТЕРФЕРОМЕТР ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПЛОТНОСТИ И ПОЛОЖЕНИЯ ПЛАЗМЫ

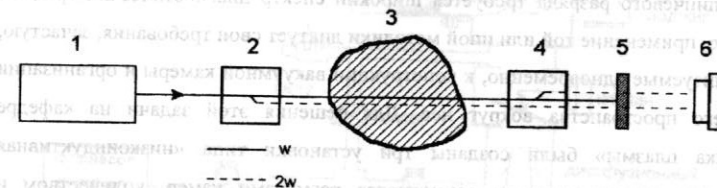
А.Л.Соломахин, П.А.Багрянский, Р.В.Воскобойников, А.А.Лизунов,
А.Н.Квашнин, Ю.В.Коваленко, А.Д.Хильченко.

*Институт ядерной физики им. Г.И.Будкера СО РАН, 630090, Новосибирск,
Россия*

Традиционно для интерферометрии плазмы используются интерферометры Майкельсона и Маха-Цандера, то есть системы с пространственным разделением каналов. Этим обстоятельством обусловлен главный недостаток интерферометров такого типа - высокая чувствительность к вибрациям оптических элементов. Для уменьшения влияния вибраций принимаются следующие меры: 1) используются массивные виброизолирующие станины, и осуществляется звукоизоляция оптических элементов; 2) для зондирования используется излучение субмиллиметрового диапазона (118 мкм, 337 мкм); 3) используются «двухцветные» интерферометры. Все перечисленные пути преодоления влияния вибраций имеют свои недостатки.

Для измерения линейной плотности плазмы на существующих и будущих крупных термоядерных установках предлагается использовать схему дисперсионного интерферометра. Оптические каналы дисперсионного интерферометра разделены по частотам, причем излучение в коротковолновом канале формируется методом удвоения частоты зондирующего излучения. Свойства большинства нелинейных кристаллов позволяют организовать такой режим удвоения частоты, при котором излучение второй гармоники распространяется точно по тому же пути, что и излучение первой гармоники. Это обстоятельство позволяет создать интерферометр, чувствительный только к дисперсии изучаемой среды и слабо чувствительный к вибрациям оптических элементов. ДИ в простейшем случае состоит из двух оптических удвоителей частоты, между которыми помещен исследуемый объект. Зондирующее

излучение лазера 1 с частотой ω частично преобразуется в излучение второй гармоники (ВГ) в первом удвоителе частоты 2. Через исследуемый объект 3 по одному и тому же пути распространяются две электромагнитных волны с частотами ω и 2ω . Во втором удвоителе частоты 4 компонента излучения с частотой ω вновь преобразуется во ВГ. Оставшаяся часть излучения с частотой ω поглощается фильтром 5. Таким образом, сигнал, регистрируемый детектором 6, есть результат интерференции двух волн с частотой 2ω . Одна из волн генерируется в первом кристалле, а другая - во втором кристалле после прохождения плазмы.



Разработан четырехканальный двухпроходный интерферометр с длиной волны зондирующего излучения 10,6 (ω) и 5,3 (2ω) мкм для контроля плотности и положения плазмы в токамаке TEXTOR (FZ Juelich, Германия). Изготовлен один из каналов интерферометра. Продемонстрирована его работоспособность в условиях реального эксперимента на токамаке TEXTOR и открытой ловушке ГДЛ (ИЯФ СО РАН). Ведется изготовление и запуск остальных каналов интерферометра. Предполагается, что систем будет выдавать результаты измерения в реальном масштабе времени, что позволит её использовать для стабилизации и контролируемого изменения плотности и положения плазмы.