Реферат

Методы исследования плазмы

# ***Введение***

Классификация (активные, пассивные, контактные, бесконтактные). Метод электрических зондов Ленгмюра. Метод магнитных зондов, оптические, корпускулярные методы исследования плазмы.

Диагностика плазмы использует методы ряда фундаментальных физических наук:

атомная физика (спектроскопия во всех диапазонах волн) - анализ спектров.

ядерная физика (анализ продуктов ядерных реакций)

квантовая электроника (эксперименты по рассеянию лазерного излучения на плазме)

радиофизика (зондирование плазмы с помощью радиоволн)

электротехника (зондовые и магнитные измерения).

**Направления исследований**

измерение концентрации заряженных и нейтральных частиц;

измерение энергетического распределения заряженных частиц;

измерение потоков энергии и частиц на стенки;

измерение T электронной и ионной компонент;

исследование направленного движения плазмы как целого;

исследование ВЧ спектров плазмы;

измерение энергетического времени жизни плазмы;

измерение коэффициента диффузии, теплопроводности, электропроводности и т.д.

# ***Классификация методов изучения свойств плазмы***

пассивные методы (анализ излучения) см на обороте);

активные методы (просвечивание плазмы сфокусированным интенсивным пучком эл-маг. излучения. По его рассеянию и ослаблению можно оценить характеристики плазмы).

контактные методы (маг. и эл. зонды) - для холодной плазмы.

бесконтактные методы - для горячей плазмы

Пассивные методы (анализ потоков частиц из плазмы) подразделяются на следующие группы:

анализ потоков излучения: стационарные методы (определяют интегральные характеристики) и динамические (регистрируют развитие процесса во времени). Детекторы для измерения энергетических характеристик: термопары, болометры, терморезисторы. Детекторы для измерения спектральных составляющих: спектрометры + фоторегистраторы;

анализ потоков частиц. Детекторами служат различные формы: фарадеевы цилиндры (для анализа заряженных и нейтральных частиц. Нейтральные частицы могут быть преобразованы в заряженные).

Потоки энергии измеряются калориметрическими методами. Детекторами служат пластины (~ погл. 20%) и глубокие цилиндры (до 100 %).

Динамические измерения производятся с помощью германиевого терморезистора. Разрешение во времени ~ 10 мкс., чувствительность ~

-4 Дж.

Одним из первых - метод электрического зонда Ленгмюра.

Позволяет определить: концентрацию n, температуру е-, потенциал плазмы.

Достоинство - локальность измерения характеристики.

Применяют в холодной, разреженной плазме.

Размер зонда выбирают l " λсв. пр.

Пренебрегают электронно-ионной эмиссией, распылением зонда под действием частиц, магнитным полем зонда. Материал зонда W, Mo (поволока).



Рис. 1



Рис. 2. Ионный поток насыщения. Электронный + ионный ток. Электронный ток насыщения

I. *: -* электроны не проходят на зонд.

Остаётся ионный ток



Формула хаотического токаi - средняя скорость;- площадь зонда;

/2 - половина ионов движется от зонда;

С ростом U (|U| уменьшается, U<0) наиболее быстрые электроны начинают преодолевать барьер eU зонда и попадают на зонд. I начинает понижаться (I=Ii-Ie-).

Вокруг зонда будет облако ионов на расстоянии ~Rg (дебаевский).

В точке S Ii=Ie.. |U| уменьшается - электронный ток растёт, Iобщ=Ii-Ie-.

e>Ii. В точке 0 Ii =0, Uзонда= Uплазмы.

. Весь электронный ток идёт на зонд, плотность тока = j хаотического электронного тока в плазме.

Перемещая зонд можно построить распределение потенциалов, следовательно, установить распределение Епрдольн.,.

Возможно определение температуры электронов:

*=*  (1)

где jeo - ток насыщения;- потенциал зонда по отношению к потенциалу плазмы;

Логарифмируя (1), а затем дифференцируя по U получаем:

 =  

  =  = 

tgα - наклон графика I=I (U), построенного в полулогарифмическом масштабе (Рис.3) (т.е. гр. ln je=f (U3).



Рис. 3

А также можно определить концентрацию е - и ионов в плазме:



Метод позволяет измерить распределение концентрации по сечению столба плазмы.

При создании высокотемпературной плазмы в некоторых случаях требуется измерить токи . Для измерения таких токов используют методы:

пояс Роговского;

метод шунтов.

Метод пояса Роговского.



Рис. 4

Ток вызывает магнитное поле. Трансформатор тока. Бесконтактность. Процесс измерения не влияет на процессы в разряде. В качестве пояса Роговского используются катушки или проводники, расположенные в области протекания тока. Обычно r, R малы по сравнению с индуктивными сопротивлением катушки.





точнее:

→ ne =

 *-* эдс электронно-магниитной индукции

где Φ - магнитный поток, связанный с катушкой.- количество витков в катушке.

Используют импульсный осциллограф: В итоге



где I - ток разряда;- ток в катушке;

Метод шунтов.



Рис. 5



Рис. 7 Конструкция шунта

очень маленькое, λ шунта необходимо уменьшать.

Встречное направление тока



Рис. 6

С ростом ω, следовательно, R повышается на ВЧ, но ω меняется, следовательно, меняется и R, это одна из трудностей измерений.

Большие токи, текущие через зонд, вызывают механические силы, которые могут его деформировать - необходимо жёстко закреплять шунты - ещё одна трудность, используют шунты больших размеров, применяются реже, чем пояс Роговского.

Измерение высоких напряжений.

постоянное U (на накопителях энергии - ёмкостях);

импульсное U - на газовом промежутке при разряде.

Постоянные U - делитель из сопротивлений.



Рис. 8

Импульсные U. При измерении ВЧ-сигналов шунтирующие ёмкости будут искажать измерения, и перераспределять U по Rg, Rизм. Для повышения точности необходимо уменьшать Rg, Rизм., следовательно, повышается мощность, следовательно, емкостной делитель Cg"Сизм. Чтобы Zn не шунтировалось Cg, её выбирают ~ nФ.

Для широкого диапазона измерений параллельно соединяют омический и емкостной делитель.

При измерении больших ёмкостей I и U, необходимо бороться с ВЧ помехами, идущими от камеры разряда.

Методы:

удаление измерений аппаратуры от источника помех;

блоки управления и регистрирующая аппаратура помещается в экранирующие оболочки (комнаты, шкафы);

соединение установки с измерительными приборами выполняют с помощью коаксиальных экранированных кабелей, которые дополнительно помещают в трубы, оплётку и т.д.;

разъемы с экранированными корпусами;

повышенные требования к заземлителям;

защита сети от перенапряжений, перепадов, вызванных импульсным разрядом, следовательно, используют разделительные трансформаторы ВЧ фильтры.

Метод магнитных зондов.

Если измерение I и U позволяет определить усреднённые характеристики разряда, то миниатюрные магнитные катушки позволяют регистрировать локальные характеристики:

распределение Н-поля в плазме;

токи, их распределение;

давления и плотности энергии в плазме.

Этот метод - КОНТАКТНЫЙ (бесконтактных методов измерения конфигурации магнитных полей пока не найдено).

Магнитный зонд - миниатюрная катушка, намотанная тонким проводом. Зонд размещён в исследуемом объёме через вакуумное уплотнение с возможностью перемещения по объёму и поворота по φ.



Рис. 9

. Управляемый разрядник;

. Емкостной накопитель;

Необходимо определить распределение электромагнитного поля. На катушке регистрируется



т.е. необходимо выполнить интегрирование сигнала, это делается графически, или с помощью специального устройства R-C-цепи.



Рис. 10

н - согласующее сопротивление.

Зонд изменяет параметры плазмы:

локальное охлаждение среды;

возмущение токов;

взаимодействие с быстрыми частицами;

Происходит распыление зонда, загрязнение плазмы. В горячей плазме зонд просто сгорает.

Применение: космическая плазма, МГД-генераторы и т.д.

холодная плазма.

Оптические методы исследования плазмы.

Спектральный анализ, определение ni, ne-, Te-.

Обычная фотография применима для стационарной медленно-меняющейся плазмы. Для регистрации быстропротекающих процессов, когда необходима не интегральная характеристика, а развитие процесса во времени, используют сверхскоростные фоторегистраторы. Параметры: до 108 кадров/с с длительностью экспонирования менее 5нс.

Принципиальная схема.



Рис. 11

Ограничения по скорости записи:

качество поверхности зеркала;

чувствительность плёнки;

скорость вращения зеркала.

Для кадровой развёртки вводят диафрагму с системой линз.

В качестве высокоскоростного затвора используют ячейку Керра. Ёе действие основано на изменении плоскости поляризации кристалла под влиянием электрического поля. Время установления ~ 10-10 с, с учётом внешних емкостей (провода, ввода) - время перезаряда ~ 5∙10-8 с.

При записи быстропротекающих процессов из-за малого времени экспонирования чувствительность плёнки бывает недостаточна. Кроме этого спектральная чувствительность плёнки не всегда совпадает со спектром излучения плазмы. Используют электронно-оптические усилители яркости и электронно-оптические преобразователи изображения. Принцип - преобразование излучения в электронный сигнал, который в свою очередь, после усиления, преобразуется в видимое излучение или электрон. Сигнал регистрируется, вводится в компьютер.

Пример: прибор ночного видения - преобразует ИК-диапазон в видимое излучение с усилением.



Рис. 12

Если ф/катод чувствителен к ИК, УФ, рентгеновским излучениям, получаем преобразование изображения по диапазону.

При подаче импульсного U можем изучать короткие временные интервалы, рассматривать динамику процесса.

Качество (в зависимости от качества люминофора, экрана, вакуума) достигает 1000 линий/мм.

Для усиления изображения используется несколько секций (каскадов).

Кус ~ 105, разрешение падает до 10 линий/мм. Необходима тщательная экранировка от электрических и магнитных полей.

В высокотемпературной плазме основную роль играет тормозное излучение электронов на ядрах атомов и ионах. Спектральная плотность излучения в предположении максвелловского распределения частиц по V, изотропности и стационарности, химической однородности газового разряда определяется общей формулой Зоммерфельда. Её упрощённый вариант имеет такой вид:

 (1)

где

 - комптоновская длина волны электрона 

χn - энергия ионизации;- заряд иона;

ν - частота излучаемого фотона;

Те - температура электронов;i ~ ne - концентрации.

Часто используют (Еλ) терм - спектральная плотность отнесённую к шкале длин волн. Определяя максимум функции (1) можно найти температуру электронов т.к. максимум определяется соотношением:

 (2)





Начало страницы пояснений, т.е. чем выше Те тем короче длина волны излучения, соответствующего максимуму функции Еλ (λ). Определив Те, можно получить значения ni ~ ne из формулы Зоммерфельда. Для снятия характеристики (1) необходим диспергирующий прибор (разлагающий излучение в спектр) и измеритель мощности.

Жесткое рентгеновское излучение регистрируется с помощью сцинтилляционных датчиков. Обычно для этого используют кристалл NaJ, обработанный Те. Он помещается в защитный экран против обычного излучения. При попадании γ-кванта в кристалл возникает вспышка света, интенсивность которой пропорциональна энергии кванта. Сигнал попадает в ФЭУ и регистрируется. Регистрация излучения из плазмы - целое направление в диагностике плазмы. Используются бесконтактные пассивные методы.

К пассивным методам диагностики относятся методы регистрации потоков частиц. Основным устройством, применяющимся для измерения интенсивности потоков, является цилиндр Фарадея.



Рис. 13

Заряженные частицы создают ток I, который регистрирует осц. С помощью диафрагм и внешнего магнитного поля или комбинации электрического и магнитного полей можно выделять потоки частиц различных энергий, следовательно, делать спектральный анализ.

Цилиндр можно изготавливать из нескольких частей, на которые попадают составляющие пучка с различными энергиями. Нейтральные частицы регистрируются по их действию на специальные датчики. Например: генерация электронов, генерация световых квантов и т.д.

Активная диагностика предполагает изучение воздействия плазмы на внешние источники излучения и частиц. Подвергая плазму воздействию ВЧ СВЧ излучений, электронных пучков и измеряя характеристики токов частиц, прошедших сквозь плазму или отражённых ею, можно судить о характеристиках плазмы. Внешнее воздействие, однако, изменяет характеристики плазмы. Поэтому степень воздействия должна быть такова, чтобы вносимые им возмущения не превышали предел искажений.

метод свойство плазма частица

# ***Литература***

1. Вихман Э. Берклеевский курс физики. Квантовая физика. М.: Наука, 2007.

2. Волькенштейн В.С. Сборник задач по общему курсу физики. М.: Наука, 2009.

. Гершензон Е.М. и др. Курс общей физики. т. т.1-2. Механика. М.: Академия, 2008.

. Детлаф А.А., Яворский Б.М. Курс общей физики.М. Высшая школа, 2009

. Иродов И.Е. Задачи по общей физике. М.: Бином, 2008.

. Иродов И.Е. Механика. Основные законы. М.: Лаборатория базовых знаний, 2009.

. Иродов И.Е. Электромагнетизм. Основные законы. М.: Лаборатория базовых знаний, 2009.

. Калашников С.Г. Электричество. М.: Наука, 2007.

. Китель И., Найт У., Рудерман М. Берклеевский курс физики. Механика. М.: Наука, 2007.

. Матвеев А.Н. Курс физики. т.т. 1-4. М.: Высшая школа, 1976-2009.