

тируя результаты, контролируют адекватность принятой модели.

Др. проблема — нелокальность большинства методов. Определяется ср. значение  $G$  измеряемой величины  $g(x, y, z)$  в пределах объёма ( $\Delta V$ ) наблюдения или зондирования

$$G = \int_{\Delta V} g(x, y, z) dV,$$

чаще всего  $\Delta V$  — объём в пределах малого сферич. угла, узких слоёв и т. п., «вырезаемых» диагностич. лучами в плазме. Восстановление локальных значений  $g(x, y, z)$  требует измерений по разным направлениям. В случае простой и заранее известной конфигурации плазмы (круговой, эллиптич. и т. п.) достаточно определить  $G$  вдоль параллельных хорд или по углам одной точки. Затем  $g(x, y, z)$  вычисляется с помощью интегрального ур-ния Абеля.

Самое общее разделение методов Д. п. возможно по носителям информации о параметрах плазмы, хотя вклад каждой из таких групп в Д. п. существенно неодинаков.

**Макроскопические методы** устанавливают самые общие представления об интегральных характеристиках плазмы (факт существования, качественное представление об её структуре, динамике движения и т. п.) и обычно основываются на анализе эффективности взаимодействия плазмы с источником питания. Модель для таких методов: плазма — проводящий объём (напр., токовый «шнур» и т. п.). Техн. реализация модели зависит от способа создания плазмы. Так, напр., в газовых НЧ-разрядах — это, прежде всего, измерения тока и падения напряжения (электрич. поля) в плазме. В сильноточных разрядах ток часто измеряется по полю Роговского (катушкой индуктивности), напряжение в тороидальных установках (напр., «Токамаках») — петель связи.

В случае лазерных и СВЧ-методов формирования плазмы определяются мощности падающего, отражённого и прошедшего излучения, к-рые позволяют вычислить поглощаемую в плазме энергию, ср. активную проводимость.

Для оценки газокинетич. давления в плазме  $n_e T_e + \frac{1}{2} n_i T_i$  в ряде случаев используются её диамагн. свойства. При возникновении плазмы происходит изменение магн. потока через контур, охватывающий поперечное сечение рабочей части разрядной камеры. По величине изменения магн. потока судят о величине газокинетич. давления (см. *Диамагнетизм плазмы*).

Определ. информацию о плазменном шнуре дают его индуктивные и ёмкостные свойства.

Измерения полного радиац. потерь плазмы с помощью *болометров*, пироэлектрич. детекторов и т. д. в сочетании с др. методами позволяют анализировать энергетич. баланс, процессы диффузии примесных ионов и т. д. Применение коллиматоров позволяет вести приём в заданном элементе телесного угла (хордовое зондирование).

Динамика плазмы исследуется с помощью скоростной оптической развёртки и регистрации излучения электронно-оптич. преобразователями. При исследованиях плазмы в магн. поле применяются магн. зонды — малые катушки индуктивности, расположенные обычно на периферии плазменных объектов и ориентированные в разных направлениях. По колебаниям магн. потока, пронизывающего катушки, судят о перемещениях плазменного шнура.

Д. п., основанная на регистрации эл.-магн. излучений, наиболее информативна, обширна по диапазону используемых физ. принципов, способам реализации устройств и является обычно бесконтактной. Конкретные методы можно условно разделить на виск. подгрупп.

**Спектроскопическая Д. п.** в основном подразумевает регистрацию и анализ характеристик спектров эл.-магн. излучения плазмы; по используемому интервалу

частот её делят на СВЧ, оптич. (включал УФ) и рентгеновскую. С помощью спектров можно найти пространственно-временные распределения практически всех параметров плазмы в самых широких диапазонах их значений. Гл. недостатки метода — сложность связи параметров плазмы с непосредственно измеряемыми интенсивностями и существенная зависимость от видов статистич. распределений частиц и излучения, к-рые заранее не известны. Поэтому спектроскопич. исследования проводятся в три этапа. Сначала устанавливается модель состояния плазмы и выбирают методы Д. п., допустимые в рамках этой модели, далее эти методы реализуют, а затем интерпретируют полученные результаты измерений и контролируют адекватность принятой модели. Информация, необходимая для решения задач первого этапа, может быть получена из анализа спектрального состава излучения плазмы, к-рый позволяет определить основные компоненты ионного и хим. состава плазмы; выявить линии, принадлежащие ионам (атомам) с наибольшей энергией ионизации  $E_i$ , и оценить значение темп-ры электронов  $T_e$  по эмпирич. ф-лам вида  $T_e = a E_i$  ( $a$  — коэф., зависящий от  $E_i$ ). Выявление последней различимой на фоне сплошного спектра линии в серийной последовательности позволяет оценить значение концентрации электронов  $n_e$  и т. д. Обычно измеряют интенсивности, интегральные вдоль луча наблюдения. Локальные значения, связанные непосредственно с параметрами плазмы, приходится вычислять с помощью интегрального преобразования.

В качестве основных в спектроскопич. Д. п. используются модели локального термич. равновесия (ЛТР), частичного локального термич. равновесия (ЧЛТР), а также коронарная или более общая ударно-радиац. (УР) модель. Наиболее надёжную и определ. информацию получают из оптически тонкой плазмы.

**Диагностики по интенсивностям линий** в большинстве случаев основаны на модели ЛТР. Если измерена локальная абс. интенсивность  $I_{mp}$  спектральной линии, возникающей при спонтанном переходе атомов (молекул, ионов) из возбуждённого состояния  $m$  в состояние  $p$ , то может быть определена темп-ра плазмы  $T$ , однако из др. измерений должна быть известна плотность  $n$ . Проще определить  $T$  по отношению интенсивностей линий, к-рое уже не зависит от  $n$ . В рамках модели ЛТР зависимость относительных интенсивностей мн. линий в полулогарифмич. масштабе от энергии их возбуждения  $E_m$  линейна с наклоном, определяемым темп-рой  $T$ .

Интенсивность спектральной линии с ростом темп-ры сначала увеличивается, а затем, когда становится существенной ионизация, падает. Значение  $T$ , соответствующее макс. интенсивности, зависит от состава плазмы. При известном составе оно может быть заранее рассчитано. Зафиксировав в эксперименте немонотонный ход интенсивности по радиусу столба плазмы данного состава, можно определить зону, где находится максимум темп-ры  $\bar{T}$  даже не проводя подробных измерений интенсивности.

Для Д. п. по спектрам поглощения наиболее типичны метод поглощения тонким слоем и метод обращения. Если слой оптически тонкой однородной плазмы толщиной  $l$  «просвечивать» излучением вспомогат. источника со сплошным спектром  $J_\beta(\nu)$  с яркостной темп-рой  $T_\beta$ , превышающей темп-ру плазмы  $T$ , то на фоне этого спектра можно наблюдать линии поглощения. Если  $T_\beta < T$ , то вместо линий поглощения будут наблюдаться эмиссионные линии. При  $I_\beta = T$  линии в спектре исчезают («обращение линий»). Следовательно, варьируя  $T_\beta$  известным образом, можно по моменту обращения линий определить  $T$  (см. также *Пиromетрия оптическая*).

В рамках модели ЧЛТР для Д. п. используются только линии, создаваемые переходами с достаточно