Наблюдаемое явление тепловой изоляции плазмы и особенности диамагнитных измерений в стеллараторе Л-2М при работе в режимах ECRH и ECRH+OH

Ю.В. Хольнов

Институт Общей Физики им. А.М. Прохорова РАН, Москва, Россия; hol@fpl.gpi.ru

Диамагнитные измерения в тороидальных установках используются для определения энергии плазмы бесконтактным способом. В отличие от симметричной установки типа токамак, в стеллараторе имеются некоторые сложности в применении диамагнитных измерений, особенно при наличии токов омического нагрева (OH). В работе [1] впервые показана возможность использования диамагнитных измерений на стеллараторе Л-2. Создание и нагрев плазмы производятся методом электронно-циклотронного резонанса (ECRH) с помощью гиротронных комплексов МИГ-2 (до 2009 г.) и МИГ-3 (с 2010 г.). В данной работе приводятся некоторые данные по измерению энергии плазмы, полученной в режиме ECRH+OH; и в бестоковой плазме при ECRH. При наличии токов ОН сложность интерпретации тороидального магнитного потока связана с тем, что он состоит из трех компонентов: диамагнитного, парамагнитного и третьего, обусловленного взаимодействием стеллараторного поля с током, протекающего по плазме. В работе анализируется возможность измерения энергии плазмы при протекании положительного и отрицательного токов ОН в условиях, когда ток ОН индуцируется во время пробоя ECRH и когда он возбуждается при наличии горячей плазмы, созданной с помощью ECRH. В первом случае при пробое зафиксирован короткий парамагнитный сигнал, связанный с нетепловыми электронами во время пробоя.

При анализе диамагнитного сигнала в бестоковой плазме после пробоя газа наблюдалось возрастание производной энергии плазмы dW/dt в течение времени τ, которое зависело от мощности нагрева и плотности плазмы. Рост dW/dt связан с нагревом плазмы и увеличением поглощения СВЧ-мощности. В какой-то момент времени рост величины dW/dt резко прекращался, то есть появлялись потери. В этот момент на краю плазмы резко возрастали потенциал Vf и плотность плазмы (измеренная по ионному току насыщения). Возрастание Vf коррелировало с ростом МГД-колебаний, основная мода которых возбуждалась в 2-3 см от края плазмы. Было также обнаружено, что интенсивность радиационного излучения, связанного с пробоем, падает при появлении плазмы на краю в момент τ. На основании этих экспериментальных данных можно предположить, что вначале, сразу после пробоя, отсутствуют потери (вынос энергии на стенку камеры), то есть имеет место изоляция плазмы от стенки камеры. Причиной изоляции может быть холодная краевая плазма с плохой теплопроводностью. После прогрева краевой плазмы появляются потери, которые ограничивают рост dW/dt.

Иная ситуация наблюдается при дополнительном нагреве плазмы, осуществляемом 2-ым гиротроном через несколько мс после включения 1-го гиротрона. Мощность нагрева dW/dt через ~ 200 мкс (время определяется металлической камерой) достигает максимума, затем примерно такое же время остается постоянной. Можно предположить, что в течение ~ 400 мкс включение 2-го гиротрона не приводит к росту потерь. В это время, по-видимому, потери остаются такими же, как и до включения 2-го гиротрона. Потом мощность нагрева начинает падать с характерным временем ~1 мс, то есть включаются дополнительные потери. В это время на краю плазмы не видно никаких особенностей, поэтому, можно предположить, что краевая плазма имеет хорошую теплопроводность, для того чтобы канализировать дополнительные тепловые потери из плазмы.

Литература

1. Э.Д. Андрюхина, О.И. Федянин. Физика плазмы, т. 3 (1977), в. 4, с. 792.