

Англо-советский эксперимент по физике плазмы

С февраля по декабрь 1969 г. в Институте атомной энергии им. И. В. Курчатова группа физиков Калэмской лаборатории в составе докторов Н. Д. Пикока, Д. Ч. Робинсона, П. Д. Уилкока и М. Д. Форреста, которая совместно с сотрудниками ИАЭ проводила эксперимент по определению электронной температуры и плотности плазмы, а также их распределению по радиусу плазменного шнура методом томсоновского рассеяния лазерного излучения. Этот метод в отличие от ранее применявшихся позволял непосредственно измерять электронную температуру и плотность плазмы.

Английская аппаратура была размещена на установке «Токамак Т-3» (большой радиус 1 м, малый радиус 25 см, радиус диафрагмы 17,5 см).

При параметрах плазмы в данной установке $T_e \sim 10^2 \div 2 \cdot 10^3$ эв, $n_e \sim 10^{13} - 5 \cdot 10^{13}$ см⁻³ солнеч-

теровский коэффициент составлял $\alpha = \frac{\lambda_0}{4\pi\lambda_D \sin\theta/2} \ll 1$,

где $\lambda_0 = 6943$ Å; λ_D — дебаевский радиус; θ — угол рассеяния ($\theta = 90^\circ$). Осуществлялся случай рассеяния на свободных электронах. Спектр рассеянного излучения при предположении максвелловского распределения электронов по скоростям описывается гауссовской кривой.

Пучок света с расходимостью 2,5 мрад от рубинового лазера, работавшего в режиме «гигантского» импульса с энергией излучения 5 Дж и длительностью 20—30 нсек, проходил по диаметру плазменного шнура. Рассеянное под углом 90° излучение регистрировалось из объема плазмы 0,1 см³ посредством коллимирующей оптики и светосильного спектрографа с десятиканальной фотоэлектрической системой записи спектра. Спектральная ширина каждого канала 78 Å.

Снималась половина гауссовой кривой со стороны коротких длин волн от линии лазерного излучения 6943 Å. Спектр регистрировался за один импульс тока по всем каналам одновременно. В одном из каналов измерялась интенсивность водородной линии H_α .

Концентрация электронов в плазме оценивалась по отношению абсолютных значений энергии рассеянного света и энергии излучения лазера.

Специальная перископическая система позволяла получить распределение температуры и плотности электронов по радиусу плазмы. Одновременно распределение концентрации регистрировалось многохордовым двухмиллиметровым интерферометром. Данные о плотностях по лазеру и СВЧ интерферометру находятся в хорошем соответствии.

Измерена электронная температура плазмы от 100 до 2000 эв в зависимости от режимов разряда. Концентрация плазмы менялась от 1×10^{13} до $4,5 \times 10^{13}$ см⁻³, ток — от 40 до 150 кА, величина продольного магнитного поля — от 17 до 38 кэ.

Следует отметить, что экспериментальные точки, с точностью до ошибки измерения, хорошо укладываются на теоретическую гауссову кривую. Это может означать, что имеет место максвелловское распределение электронов по энергиям. Электронная температура нарастает до максимального значения за 12 мсек и остается практически постоянной до конца разрядного тока.

Радиальное распределение температуры и плотности электронов достаточно плоское вблизи оси шнура и монотонно падает к периферии. Температура растет с величиной разрядного тока примерно как I^2 (снимались зависимости при длительности тока 35 и 70 мсек) и падает с ростом плотности плазмы.

Электронная температура плазмы практически не зависит от величины продольного магнитного поля.

Работа проводилась при режимах с высоким значением аномального сопротивления плазмы. Температура плазмы, рассчитанная по проводимости во всех исследованных режимах, меньше температуры, измеренной с помощью лазера и слабо меняется в течение импульса тока. Ее величина составляет 100—200 эв в зависимости от режимов работы.

Измерение распределения температуры электронов через 4 мсек после начала тока при некоторых режимах дало указание на слабое «скинирование» температуры вблизи края шнура, однако в дальнейших экспериментах не удалось получить четкого эффекта «скинирования», так как более ранние измерения по времени невозможны из-за высокого уровня собственного излучения плазмы, а измерения позже 4 мсек давали плоское распределение вблизи оси. Быстрое выравнивание температур указывает на то, что электронная теплопроводность плазмы существенно выше классической.

Найденное из измерений абсолютной интенсивности H_α время жизни частиц составляло 15—20 мсек и превышало энергетическое время жизни плазмы, равное 5 мсек.

Из данных о радиальном распределении температуры и плотности электронов рассчитывалась поперечная энергия плазмы как функция времени. Одновременно поперечная компонента энергии определялась по диаметру магнитному эффекту плазмы. Величины энергии, измеренные двумя независимыми методами, находятся в удовлетворительном согласии.

Отметим, что данные о параметрах плазмы, полученные методом лазерного рассеяния, подтвердили результаты, ранее полученные советскими физиками с помощью других методик.

В. В. САННИКОВ

ЛИТЕРАТУРА

1. Nature, 224, No. 1, 488—490 (1970).

Соглашение о научно-техническом сотрудничестве

В июне 1970 г. в Дубне подписано Соглашение о научно-техническом сотрудничестве между Государственным комитетом по использованию атомной энергии СССР и международным физическим центром социальных стран — Объединенным институтом ядерных исследований. Цель этого Соглашения — «способствовать всестороннему развитию научно-технического сотрудничества государств-членов ОИЯИ путем объединения усилий ученых ОИЯИ и ученых, работающих

в институтах ГКАЭ...». Обе стороны, как это записано в Соглашении, «будут развивать совместное научно-техническое сотрудничество в области ядерной физики, обеспечивая максимальное и эффективное использование имеющихся в их распоряжении ускорителей, исследовательских реакторов, аппаратуры для обработки экспериментальной информации и других экспериментальных и исследовательских установок, а также будут создавать новое оборудование для этих целей...».