О передаче энергии фракцией горячих ионов плазме нецилиндрического Z-пинча

А.Н. Веселовзоров, А.А. Погорелов, Э.Б. Свирский

НИЦ «Курчатовский Институт», Москва, Россия

В задачах ядерного синтеза о передаче энергии от высокоэнергичной фракции ионов к остальной плазме приходится учитывать кроме средней энергии ионов данной фракции, температуру плазмы, различные плотности компонент и размер плазмы. Сдвоенная камера с нецилиндрическим Z-пинчом (нц. Z-пинчом) [1] улучшает критерий удержания реагирующей плазмы для таких устройств. Общая задача о релаксации частиц в плазме была выполнена в работе [2]. Но конкретные условия нагрева ее накладывают свои правила поведения разных групп частиц из распределения их по энергиям при сжатии. Ниже представлены дведругие задачи:

Задача **1**. Рассматривается плазма Z-пинча при неустойчивости m = 0. Бесстолкновительные (б.с.) ионы плазмы чувствуют только магнитную стенку; основная плазма сжимается как ионизованный газ. Сжатие пинча магнитным полем сопровождается выделением группы ионов с длиной свободного пробега λ больше диаметра пинча d. *Причины*: зависимость длины свободного пробега ионов от его энергии W; λ ~ Wi2/n, (n —плотность плазмы), и двухмерность картины адиабатического сжатия б.с.-ионов, (их показатель адиабаты γ = 2, у плазмы γ = 1,67): Тогда температура ионов: T2 = T1(r1/r2). (1)

Уменьшение поперечного размера пинча в (5 ÷ 10) раз (1 → 0,1 см, при длине ≈1 см) увеличивает энергию ионов по (1), в 25 ÷ 100 раз, доводя ее до 60 ÷ 240 кэВ.

Задача **2** формулируется как определение условия уравнивания, выделяющейся энергии в ядерных реакциях синтеза (я.р.с.) и потерь при извлечении ее для нагрева плазмы продуктами я.р.с. При оценках учитывались: Хаотичный разлет частиц при столкновении; различие плотности фракции б.с.-ионов ni и электронов ne; сохранение энергии в пинче. Величина коэффициента перед временем в решении системы уравнений для *T*i, γ *С*1,5/2*B*(1 + γ)2  — постоянная времени для задачи для эквивалента энергии «перегретого» иона при обозначениях (*β* = me/mi, *A* – атомный номер, γ = ni/ne, y = {(1+γ)/(1+β)[1*–*(β–γ)*Ti*/*C*]}0,5 Z — заряд иона) В рассматриваемых случаях средние скорости электронов плазмы ≈2,3∙109см/с, (у ионов они — на порядок меньше). Так, для протонов реакции d(d,t)p, имеющих энергию 3 МэВ (~3∙1010 оK), при температуре электронов Te0 = 1 КэВ = 1,16∙107 оК, количестве электронов в пинче, равном Vne = 3,14∙1017 и выходе в я.р.с. ~1011, время (t – t0) «остывание» окажется ~10–11с. Учитывая различия: объема пинча и объема, занимаемого продуктами я.р.с.; расстояние между пинчами ≈ 6 см; время передачи энергии протонами электронам *τ*ie составит ≈ 9 нс. (время релаксации энергии протонов уменьшает в ~20 раз). Учет времени передачи электроны → дейтроны увеличит его до 7⋅10–7 с*.* Итак, протоны (задачи 2; γ = 10–8; β = 1800–1) доносят энергию дейтронам за ≈7⋅10–7 с. Т. е. время передачи энергии заряженными продуктами я.р.с. плазме оказывается меньше по величине от времени удержания плазмы в сдвоенном нц. Z-пинче [1], ≈(2 ÷ 5)⋅10–6 с.

Отметим выгодность использования в будущем группы хаотично «перегретых» б.с.-ионов нц. Z-пинча (задача 1; β = 3600–1; γ = 8∙10–2) для инициирования реагирующей смеси в возможном Z-пинч-ТЯР.

Литература

1. Lee J.H. et all. Phys. Fluides 1977.V. 20, P. 313.
2. Коган В.И. Книга:«Физика плазмы и управляемые термоядерные реакции». Т.I; М. Издательство АН СССР,1958 г. С. 130.