Структура горячей точки X-пинча

Иваненков Г.В.

Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Москва, Россия, [ivanenkov.gv@mail.ru](mailto:ivanenkov.gv@mail.ru)

Многолетний опыт расчётов динамики X-пинча показал принципиальную важность учёта квантовых законов поведения электронов на стадии рентгеновской вспышки и взрыва горячей точки. Построенная на его основе 2-мерная МГД модель имеет следующие особенности:

1. Коэффициенты переноса электронов вычисляются по модели Ли и Мура [1] с тем изменением, что в ней наряду с дебаевскими электронами введена низкоэнергетическая группа. В плотной плазме электроны постоянно испытывают как квантовое вырождение, так и сильное кулоновское взаимодействие с центральными ионами атомных ячеек. Результаты исследования этих эффектов представлены в статье [2].

2. Для понижения потенциала ионизации используется модель [3], позволяющая описывать эффекты тесной ячейки, размер которой лишь немного больше ионного. В экстремально плотных областях пинча модель описывает ионизацию давлением, приходящую на смену привычным *ei-*столкновениям. Учёт конечного радиуса иона придаёт уравнению состояния сходство с уравнением Ван-дер-Ваальса.

3. В уравнение диффузии фотонов на базе работ Помранинга [4, 5] введён фактор Эддингтона. Уточнение переноса излучения вблизи поверхности, где поток фотонов наименее изотропен, позволило существенно продолжить расчёт стадии взрывного разлёта внешних слоев плазмы.

Представленная модель позволила провести расчёты в области высоких температур экстремально сжатой плазмы, где становятся существенными квантовые эффекты в ферми-газе электронов. Расчёты показали глубокое различие процессов, происходящих в экстремально плотной внутренней и в заметно менее плотной наружной частях горячей точки. Если параметры второй (до 32 и выше) хорошо согласуются с данными рентгеновской спектроскопии, то первая (**) выглядит трудно достижимой для сегодняшней техники измерений из-за высокого поглощения излучения плазмой с плотностью ионов до 5⋅1024 см–3 и электронов ~1026 см–3. Температуры, соответственно, достигали значений порядка 20 и 1 кэВ. На оси наблюдались сильные флуктуации, вокруг оси формировались структуры, в области которых в масштабах <1 нм в дальнейшем возникали субпикосекундные взрывные процессы. В них давление плазмы было > 100 Гбар, происходила ионизация давлением ионов с зарядами 17–21. Многократное повторение микровзрывов вело к резкому расширению внешней части, скорость которого достигала 3⋅108 см/с. Анализ [2] позволяет связать эти процессы с утратой замагниченности ферми-газа электронов в условиях, когда в величине времени *ei-*столкновений доля кулоновских соударений становится ниже вклада квантовых флуктуаций.

Литература.

[1] Y.T. Lee, R.M. More.Phys. Fluids, **27**, 1273 (1984).

[2] G.V. Ivanenkov. J. Rus. Laser Res., in press, vol. 38, no. 6 (1917).

[3] А.А. Белов, Н.Н. Калиткин, И.А. Козлитин, К.И Луцкий. Изв. РАН, сер. физ., 8**1**, 63 (2017).

[4] R. Sanchez, G.C. Pomraning. J. Quant. Spectros. Radiat. Transfer, **45**, 313 (1991).

[5] G.C. Pomraning. Laser and particles beams, **10**, 239 (1992).