Метод определения распределения плотности плазмы/газа с помощью сильных ударных волн

У. Юсупалиев

Физический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова,Москва,Россия, nesu@phys.msu.ru

При исследовании плотной плазмы возникает задача определения пространственного распределения её плотности *ρ*(*r*). Решение этой задачи с помощью существующих методов вызывает значительные трудности. В данном сообщении предлагается новый метод её решения – на основе зондирования среды (плазмы/газа) сильными ударными волнами (УВ). Такие УВ возникают при инициировании сильноточных электрических и оптических разрядов. Одной из ***особенностей*** отраженной УВв цилиндрическом Z-пинче от его оси симметрии заключается в её ***усилении***, что является следствием уменьшения плотности *ρ*(*r*) плазменного шнура по мере удаления УВ от этой оси. Если известна связь *ρ*(*r*)=*f*(*D*(*r*)), то, измеряя скорость УВ *D*, можно определить распределение плотности *ρ*(*r*). Для установления такой связи рассмотрена феноменологическая ***модель*** распространения сильной УВ в среде с ***переменной***плотностью, состоящая из уравнений непрерывности, Эйлера и адиабатичности, описывающих движение среды за фронтом УВ. Из них получено уравнение

 . (1)

Решение (1) искалось в виде:

 p(t,r)=ρ0(t)τ(ξ); ρ(t,r)=ρ0(t)g(ξ); v(t,r)=u(ξ); (2)

где *ξ=*, *р* и v – давление игидродинамическая скоростьсреды, *RSW* – координата фронта УВ, ******≡D. Из (1) с учетом (2) получено уравнение, содержащее безразмерные комплексы πSW1= и πSW2=, показатели подобия которых относительно преобразований =*s∙r, =s∙t* равны нулю, и тогда, согласно теории подобия и размерности [1], эти комплексы представляют собой инварианты: *πТВ1*=CTB1, *πТВ2*=CTB2 (CTB1 и CTB2 – константы, *s* – коэффициент сжатия/растяжения). В этом случае в (1) происходит разделение по переменным *t* и *ξ*. Из системы двух обыкновенных дифференциальных уравнений, соответствующих этим инвариантам, с учетом предельного сжатия за фронтом УВ получено ее решение:

 *ρ0*(*t*)/*ρ0* (*t0*)=[*D*(*t*)/*D*(*t0*)]β, (3)

а из дифференциального уравнения от ***ξ***  (с граничным условием ***ξ=***1) определена величина:

 *β*= –+2*νγeff*/(*γeff* +1)CSW2, (4)

где *ρ0*(*t*) – плотность перед фронтом УВ со скоростью *D*(*t*), *β≡CSW1/CSW2*, *ν* определяет симметрию задачи, *γeff* – эффективный показатель адиабаты плазмы/газа. Для сильной плоской УВ (ν=0) в идеальном газе формула (3) совпадает с формулой, полученной на основе инварианта Римана в[1]. Из формулы (3) с учетом (4) и закона распространения УВ *RSW*(*t*)=*ASW∙tα* (при *t* > 0, *ASW* – размерная постоянная) получено распределение плотности:

 *ρ(RSW)*=*ρ01*=*ρ01*.

На основе этой формулы найдено радиальное распределение плотности плазменного шнура цилиндрического Z-пинча (при ν=1) на стадии его максимального сжатия.

Литература

1. Whitham G.B . // J. Fluid Mech. 1958. Vol. 4. No. 4. Part. 4. Р. 337-360.