закон схождения сильных цилиндрических и сферических ударных волн

Юсупалиев У., Cысоев Н.Н., Шутеев С.А., Еленский В.Г.

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

Задача о схождении цилиндрических и сферических УВ в газе с однородной плотностью впервые была рассмотрена авторами работ [1, 2]. Ими в качестве масштаба длины был принят радиус фронта УВ *R*(*t*) =*А*SW(–t)α, момент *t*= 0 считался моментом её кумуляции **(***α* – показатель автомодельности, *А*SW – размерный постоянный параметр, при *t*< 0 УВ сходятся**)**. Система уравнений задачи состояла из уравнений непрерывности, Эйлера и адиабатичности. В [1, 2] численным методом были определены значения величины *α* лишь для некоторых значений показателя адиабаты газа *γ*, а именно: 1,4 [1, 2]; 1; 1,67; 3 и γ→ ∞ [2]. Зависимость *α*(γ)для сходящихся цилиндрических и сферических ***детонационных*** волн впервые получена в [3]. В связи с проблемой ***управляемого газодинамического термоядерного синтеза***, эта задача снова приобретает актуальность [4]. Недавно она снова численно решалась для значений γ = 1,001 ÷ 3,0 в [5]. Несмотря на давнюю историю исследований сходящихся УВ, до сих пор не определена аналитическая зависимость *α* = *α*(*γ*, *М*SW), где *М*SW – число Маха УВ. Поэтому данное сообщение посвящено установлению такой зависимости.

Для определения этой зависимости воспользуемся указанной системой уравнений и равенством внутренней энергии и кинетической энергии единицы массы газа за фронтом сильной УВ [6], откуда для давления газа получим *p* = 0,5(*γ*eff – 1)*ρυ*2, где *γ*eff – эффективный показатель адиабаты газа за фронтом УВ, *υ* и *ρ* – скорость и плотность газа за фронтом УВ соответственно.Тогда решения системы уравнений искались виде произведений *υ*= (*dR*/*dt*)⋅*u*(*ξ*) и *ρ*= *ρ*0⋅*g*(*ξ*) (*ξ*= *r*/*R*(*t*) – автомодельная переменная, *ρ*0 – плотность газа перед фронтом УВ). Подставляя *υ* и *ρ* в эту систему, дифференциальные уравнения с частными производными сводятся к обыкновенным дифференциальным уравнениям, из которых определены закон схождения указанных УВ ***R(t)*= *А*SW∙*t*1/(1–C**), где*С* – константа разделения переменных, которую удается определить при *ξ*= 1 (что соответствует координате фронта УВ), а значит, и найти искомый показатель автомодельности:

 ,
где ν = 1 или 2 для цилиндрической или сферической УВ соответственно.

Показано, что полученная зависимость *α*(*γ*, *М*SW) при *γ* = 1,4 и *γ*= 1,67 в пределах ошибки измерений согласуется с опытными данными для сходящихся цилиндрических УВ, созданных двумя способами: с помощью *θ*-пинча [7] и электрического взрыва металлизированной майларовой пленки в воздухе (при атмосферном давлении), реализованного нами.

Литература

1. Guderley G. // Luftfahrtforschung. 1942. B.19**.** H. 9. S. 302–312.
2. Ландау Л.Д., Станюкович К.П. // ДАН СССР. 1945. T.46. № 9. C. 87.
3. Нигматулин Р.И. // ПММ. 1967. Вып.1. С.158–163.
4. Попов Н.А., Щербаков В.А., Минеев В.Н. и др. // УФН. 2008. Т. 178. № 10. 1087-1094.
5. Валиев Х.Ф., Крайко А.Н. // ПММ. 2011. Т.75. Вып. 2. С. 314–326.
6. Чу К., Гросс Р. Ударные волны в физике плазмы. В сб.: Физика высокотемпературной плазмы. М.: Мир, 1972. С. 262–336.
7. Баронец П.Н. // Изв. АН СССР. МЖГ. 1984. № 3. C.182–187.