



Math-Net.Ru

All Russian mathematical portal

G. A. Pavlov, A. A. Ovchinnikov, Критические явления при течении низкотемпературной плазмы, *TVT*, 1981, Volume 19, Issue 6, 1302–1303

<https://www.mathnet.ru/eng/tvt8646>

Use of the all-Russian mathematical portal Math-Net.Ru implies that you have read and agreed to these terms of use
<https://www.mathnet.ru/eng/agreement>

Download details:

IP: 18.97.14.81

May 15, 2025, 13:28:03



ЛИТЕРАТУРА

1. *Oliver D. A.* Interelectrode breakdown in electrode walls paralled and inclined to the magnetic field.— VI Int. Conf. MHD, Washington, USA, 1975, v. 1, p. 329.
2. *Хавт В. Д.* Модель образования анодных пятен на горячих электродах в потоке слабоионизированной плазмы молекулярных газов.— ТВТ, 1977, т. 15, № 3, с. 496.
3. *Хайнацкий С. А., Кривицкий Е. В.* К вопросу о тепловой теории пробоя жидких диэлектриков.— Тез. докл. I Всес. конф. «Электрический разряд в жидкости и его применение в технологии машиностроения и металлообработке». Т. 1. Киев: Наукова думка, 1976, с. 16.
4. *Раковский Г. Б.* Перегревная неустойчивость как механизм развития теплового пробоя проводящих жидкостей.— Тез. докл. Всес. конф. «Физика диэлектриков и новые области ее применения». Караганда: Изд. Караганц. политехи. ин-та, 1978, с. 24.
5. *Сканави Г. И.* Физика диэлектриков. М.: Физматгиз, 1958, 907 с.
6. *Тонконогов М. П., Ким С. В., Ушаков В. Я.* Поляризационные явления при импульсном электрическом пробое суспензий.— Изв. вузов. Физика, 1972, № 3, с. 59.
7. *Лозанский Э. Д., Фирсов О. Б.* Теория искры. М.: Атомиздат, 1975, 272 с.
8. *Комельков В. С.* Современное состояние теории развития электрического разряда в жидких диэлектриках.— В кн.: Электрофизические процессы в жидких диэлектриках и научные проблемы применения электроизолирующих жидкостей в электроэнергетике. Томск: Изд. Томск. ун-та, 1976, с. 3.
9. *Коллеров Д. К., Яргулова А. М.* Об эффекте Холла в растворах электролитов.— Измерительная техника, 1973, № 6, с. 69.
10. *Резцов В. Ф.* Об электрических полях и тензоре эффективной проводимости сплошных неоднородных сред с эффектом Холла.— ДАН УССР. Сер. А, 1977, № 1, с. 85.
11. *Глушков Е. А., Резцов В. Ф.* Аномальные электрофизические характеристики неоднородных полупроводников в магнитном поле.— ФТП, 1979, т. 13, № 8, с. 1469.
12. *Резцов В. Ф.* О локализации джоулева тепловыделения и температуры на неоднородностях в изотропных и анизотропных средах.— ТВТ, 1980, т. 18, № 2, с. 347.

УДК 533.95

КРИТИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ ПРИ ТЕЧЕНИИ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПЛАЗМЫ

Павлов Г. А., Обчинников А. А.

Критические условия, при которых отсутствуют стационарные профили гидродинамических переменных при движении низкотемпературной плазмы с экспоненциальной зависимостью сдвиговой вязкости и теплопроводности от температуры, предсказаны в [1] в предположении, что теплопроводность и вязкость определяют диссипативные процессы в такой среде.

Очевидно, помимо экспоненциальной зависимости, в низкотемпературной плазме в определенном диапазоне параметров могут иметь место и степенные температурные зависимости вязкости η и теплопроводности λ (например [2]). Таким образом, возможны следующие комбинации функций $\lambda(T)$ и $\eta(T)$: 1 — $\lambda \sim T^{n_1}$, $\eta \sim T^{n_2}$; 2 — $\lambda \sim T^n$, $\eta \sim \exp(E_1/kT)$; 3 — $\lambda \sim \exp(-E_2/kT)$, $\eta \sim T^n$; 4 — $\lambda \sim \exp(-E_2/kT)$, $\eta \sim \exp(E_1/kT)$. Можно показать, что в первом (при n_1 или n_2 равных нулю) и третьем случаях критические условия отсутствуют; второй случай с $n=0$ изучен в [3], четвертый — в [1]. Исследуем критические условия в первом ($n_1, n_2 \neq 0$) и втором ($n \neq 0$) случаях.

Рассмотрим второй случай. Плоское стационарное симметричное течение равновесной плазмы под действием постоянного градиента давления $b = -\partial P/\partial z$ с заданной температурой T_0 на границе, отстоящей от оси симметрии на расстоянии x_0 , описывается следующей системой уравнений:

$$\frac{d}{dx} \left(\eta \frac{dv}{dx} \right) - \frac{dP}{dz} = 0, \quad \frac{d}{dx} \left(\lambda \frac{dT}{dx} \right) + \eta \left(\frac{dv}{dx} \right)^2 = 0,$$

$$v_{x'}(0) = T_{x'}(0) = 0, \quad v(x_0) = 0, \quad T(x_0) = T_0. \quad (1)$$

Здесь v — составляющая скорости вдоль оси z ; $\lambda = \lambda_0(T/T_0)^n$; $\eta = \eta_0 \exp(E_1/kT)$, $E_1 > 0$; начало системы координат расположено в плоскости симметрии течения; ось x перпендикулярна плоскости симметрии. Уравнения (1) в безразмерных переменных: $v = (bx_0^2/\eta_0) \exp(-E_1/kT_0) w$, $T - T_0 = \theta kT_0^2/E_1$, $\beta = kT_0/E_1$, $x = x_0 r$ при условии $\beta\theta \ll 1$ сводятся к уравнению

$$z'' + \alpha \beta n z^{1+(\beta n)^{-1}} r^2 = 0, \quad z'(0) = 0, \quad z(1) = 1,$$

$$\kappa = b^2 x_0^4 \exp(-1/\beta) E_1 / \lambda_0 \eta_0 k T_0^2, \theta' = z' / \beta n z.$$

Все положительные решения этого уравнения $(z_0(r))$ монотонны [4, 5] и зависят от параметров κ и βn . Критические значения κ при заданных βn определялись по отсутствию конечных решений нестационарного варианта задачи (1). Другими словами, численное решение нестационарного варианта уравнения (1) с некоторым $\theta(r, 0)$ при $\lambda_0 / c_p \eta_0 \ll 1$ показало, что при $\kappa > \kappa_{кр}$ функция $\theta(r, t)$ возрастает со временем, а при $\kappa < \kappa_{кр}$ стремится к своему стационарному значению. Для $\beta n = 0,25$ $\kappa_{кр} = 7$; для $\beta n = 0,1$ $\kappa_{кр} = 6$; для $\beta n = -0,25$ $\kappa_{кр} = 6,5$. Достаточное условие устойчивости решения (2) относительно одномерных возмущений при выполнении неравенства $\lambda_0 / c_p \eta_0 \ll 1$ имеет вид

$$\kappa (1 + \beta n) z_0^{1/\beta n} (a, \kappa) < \pi^2 / 4, \quad (3)$$

где a — точка в $[0, 1]$, в которой $z_0(r, \kappa)$ принимает максимальное значение.

Аналогично исследован первый случай при $n_1, n_2 \neq 0$. В безразмерных переменных $w = (\eta_0 / b x_0^2) v$, $\theta = T / T_0$, $x = x_0 r$ уравнения (1) сводятся в этом случае к

$$z'' + n_1 \left(\frac{n_1}{1 + n_1} \right)^{n_1 + n_2} \kappa r^{2z - n_2 / (1 + n_1)} = 0, \quad (4)$$

$$\kappa = b^2 x_0^4 / \lambda_0 \eta_0, \quad \theta' = z' / n_1 z^\alpha, \quad \alpha = n_1 (1 + n_1)^{-1}.$$

Из рассмотрения следует исключить варианты с $-1 \leq n_1 < 0$. Так же, как и в предыдущем случае, критические значения κ при заданных n_1, n_2 определены по отсутствию конечных решений нестационарного варианта задачи (1). Численное решение нестационарного варианта уравнения (1) с заданным $\theta(r, 0)$ при $\lambda_0 / c_p \eta_0 \ll 1$ показало, что при $\kappa > \kappa_{кр}$ $\theta(r, t)$ возрастает со временем, а при $\kappa < \kappa_{кр}$ стремится к некоторому $\theta_0(r)$. При $n_1, n_2 > 0$ $\kappa_{кр}$ отсутствует; при $n_1 = 2, n_2 = -31, \kappa_{кр} = 10^{-5}$; при $n_1 = -2, n_2 = 2, \kappa_{кр} = 10$; при $n_1 = -2, n_2 = -3, \kappa_{кр} = 1$. Достаточное условие устойчивости решения (4) относительно одномерных возмущений при выполнении неравенства $\lambda_0 / c_p \eta_0 \ll 1$ имеет вид

$$\kappa n_1 \left(\frac{n_1}{1 + n_1} \right)^{n_1 + n_2} \frac{n_2}{1 + n_1} z_0^{-(n_2 + n_1 + 1) / (n_1 + 1)} (a, \kappa) < - \frac{\pi^2}{4}. \quad (5)$$

Таким образом, в данной работе, так же, как и в [1, 3], исследованы критические условия, реализующиеся при одномерном движении низкотемпературной плазмы с различными зависимостями сдвиговой вязкости и суммарной теплопроводности от температуры. Резкая температурная зависимость указанных коэффициентов переноса обусловлена процессами диссоциации и ионизации компонент газовой смеси. Как следует из приведенных выше результатов численного анализа, при степенной зависимости $\lambda(T)$ и экспоненциальной $\eta(T)$ в плазме существуют критические явления, имеющие взрывной характер (случай 2). В то же время при степенном росте теплопроводности и уменьшении вязкости критические условия в низкотемпературной плазме не реализуются, поскольку соответствуют не наблюдаемому в такой плазме уменьшению вязкости с температурой ($n_2 = -31$). В других комбинациях степенных температурных зависимостей λ и η взрывные критические явления также имеют место.

Авторы выражают благодарность А. Л. Ни за помощь, а А. Н. Дремину и В. Е. Фортову за постоянное внимание к работе.

Москва

Поступило в редакцию
24.III.1981

ЛИТЕРАТУРА

1. Павлов Г. А., Фортов В. Е., Овчинников А. А. Критические явления при движении низкотемпературной плазмы. — ДАН СССР, 1980, т. 251, № 5, с. 1085.
2. Теплофизические свойства рабочих сред газофазного ядерного реактора / Под ред. В. М. Иевлева; М.: Атомиздат, 1980.
3. Бостанджиян С. А., Мержанов А. Г., Худяев С. И. О гидродинамическом тепловом взрыве. — ДАН СССР, 1965, т. 163, № 1, с. 133.
4. Александровский Н. Б., Найденов В. И. Критические явления при неизотермическом течении вязкой жидкости по трубам. — ТВТ, 1979, т. 17, № 4, с. 783.
5. Беллман Р. Теория устойчивости решений дифференциальных уравнений. М.: ИЛ, 1954.