Термодиффузионное отношение в тринарной смеси с ионизацией. Плазма he [[1]](#footnote-1)\*)

1Коршунов О.В., 1,2Кавыршин Д.И., 1,2Чиннов В.Ф.

1ОИВТ РАН, Москва, Россия, oleg15@inbox.ru,
2ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ», Москва, Россия, dimakav@rambler.ru

Исследования дуговой плазмы Не атмосферного давления в узком канале [1] привели к необходимости расчета потоков и коэффициентов диффузии с помощью газокинетической теории [2]. Одним из диффузионных процессов, происходящих в неизотропных средах с температурными градиентами, является термодиффузия. Ее свойства в ионизованном гелии исследованы в настоящей работе.

Термодиффузия относится к явлениям переноса второго порядка, но в первом приближении теории Чепмена-Энскога термодиффузионные отношения Ki могут быть найдены сравнительно просто. Они определяются линейными комбинациями интегральных скобок полиномов Сонина $Λ\_{ij}^{01}$ и $Λ\_{ij}^{11}$ [2]. Для их нахождения в тринарной смеси необходимо решить 3 системы линейных уравнений с 3 неизвестными в каждой. Задача предельно упрощается в ионизованном простом газе (индексы: 1 - электрон, 2 - ион, 3 - атом):

$\frac{2}{5}$K1=-х1$(Λ\_{21}^{01}+Λ\_{31}^{01})/Λ\_{11}^{11}$, (1)

$\frac{2}{5}$K2= х1$\frac{Λ\_{21}^{01}}{Λ\_{11}^{11}}$ + $Λ\_{23}^{01}\frac{x\_{2}(Λ\_{23}^{11}+Λ\_{33}^{11})-x\_{3}(Λ\_{23}^{11}+Λ\_{22}^{11})}{(Λ\_{23}^{11})^{2}-Λ\_{22}^{11}Λ\_{33}^{11}}$ , (2)

$\frac{2}{5}$K3= х1$\frac{Λ\_{31}^{01}}{Λ\_{11}^{11}}$ - $Λ\_{23}^{01}\frac{x\_{2}(Λ\_{23}^{11}+Λ\_{33}^{11})-x\_{3}(Λ\_{23}^{11}+Λ\_{22}^{11})}{(Λ\_{23}^{11})^{2}-Λ\_{22}^{11}Λ\_{33}^{11}}$ . (3)

В отличие от бинарной смеси у ионов и атомов появляются электронные составляющие - это первые члены правых частей (2), (3). При сильной ионизации мала электронная составляющая атомов, а при слабой - ионов. Второй член правых частей (2), (3) неизменен при переходе к бинарным смесям. Это основная, назовем ее бинарная Kб, составляющая K2 и K3, которая и определяет диффузионные потоки, хотя по величине она сопоставима с электронной составляющей термодиффузии K1. Последняя ускоряет диффузию ионов и замедляет - электронов, но не важна для всего электрон-ионного газа, входящего в бинарную смесь с атомами, так что на диффузионные потоки ионов и атомов электронные состав-ляющие не влияют. Для ионизованного Не вторые члены правых частей (2), (3) дают [2]:

Kб≈ -0.16(x2+0.03x3)/(x2/x3+0.013x3/x2+0.23). (4)

Малые численные коэффициенты у атомных составляющих незначительны при сильной ионизации. Кулоновские сечения взаимно сокращаются, как и в (1). Остальные сечения слабо зависят от энергии. В слабоионизованной плазме кулоновскими столкновениями можно вообще пренебречь, так что модель твердых сфер применима практически всегда.

В Не бинарная составляющая максимальна при x1≈0.2. С ростом x1 термодиффузионные отношения упрощаются: Kб≈-х3/6.2→0, K1≈-х1/6.5→-1/13. При полной ионизации бинарная составляющая незначительна, а электронная максимальна.

В слабоионизованной плазме (x1<<0.02) все термодиффузионные отношения малы, K2≈-Kб, а в (4) преобладают слагаемые с малыми численными коэффициентами. В Не электронная и бинарная составляющие почти одинаковы: K1≈Kб≈-х1/2.6, так что K3=Kб-K1≈0 - термодиффузия атомов, как и в пределе сильной ионизации, прекращается.

Литература

1. *О.В.Коршунов, В.Ф.Чиннов, Д.И.Кавыршин* Сильноионизованная дуговая плазма Не. Неравновесность, неидеальность и кинетика // ТВТ. 2019. Т. 57. № 2. С. 164.
2. *Дж.Ферцигер, Г.Капер*. Математическая теория процессов переноса в газах./ Пер. с англ. Под ред. Д.Н.Зубарева, М.: Мир, 1976. 554 с.
1. \*) [DOI – тезисы на английском](http://www.fpl.gpi.ru/Zvenigorod/L/Lt/en/FK-Kavyrshin_e.docx) [↑](#footnote-ref-1)