Доклады Академии наук СССР
1976. Том 229, № 2

УДК 533.723

ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

Член-корреспондент АН СССР Б. В. ДЕРЯГИН, Ю. И. ЯЛАМОВ,
Е. Р. ЩУКИН, О. А. БАРСЕГЯН

О ВЛИЯНИИ ТЕРМОДИФФУЗИИ НА ТЕРМОДИФФУЗИОФОРЕТИЧЕСКОЕ ДВИЖЕНИЕ АЭРОЗОЛЬНЫХ ЧАСТИЦ

В работах ([1], [2]) была развита теория термодиффузиофоретического движения нелетучих крупных, умеренно крупных ([1]) и малых ([2]) аэрозольных частиц в бинарных газовых смесях с учетом влияния термодиффузии на движение частиц. При рассмотрении ([1]) движения умеренно крупных аэрозольных частиц было последовательно учтено влияние как объемной термодиффузии, так и термодиффузионного скольжения, что привело к появлению добавочных членов в формулах для силы и скорости термодиффузиофореза, пропорциональных коэффициенту термодиффузионного скольжения $K_{TD}^{(sl)}$ и коэффициенту объемной термодиффузии k_{TD}. Формула для скорости термодиффузиофореза, полученная в ([1]), имеет следующий вид:

$$\mathbf{U}_{TD}=-\frac{2\nu_e^{(c)}(K_{Tsl}^{(c)}+K_{TD}^{(sl)})\,[\varkappa_e/\varkappa_i+K_T^{(c)}\lambda_c/R]}{(1+2C_m^{(c)}\lambda_c/R)\,[2\varkappa_e/\varkappa_i+(1+2K_T^{(c)}\lambda_c/R)\,]}\,\frac{\operatorname{grad}T_\infty}{T}-$$

$$-\frac{K_{sl}^{(c)}D_{12}k_{TD}}{(1+2C_m^{(c)}\lambda_c/R)\,[2\varkappa_e/\varkappa_i+(1+2K_T^{(c)}\lambda_c/R)\,]}\,\frac{\operatorname{grad}T_\infty}{T}-$$

$$-\frac{K_{sl}^{(c)}D_{12}}{(1+2C_m^{(c)}\lambda_c/R)}\operatorname{grad}c_{1\infty}, \qquad (1)$$

где $K_{Tsl}^{(c)}$, $K_{sl}^{(c)}$ и $C_m^{(c)}$ — коэффициенты теплового, диффузионного и изотермического скольжений бинарной газовой смеси вдоль поверхности частицы; $K_T^{(c)}$ — коэффициент скачка температуры газовой смеси; $\varkappa_e$ и $\varkappa_i$ — коэффициенты теплопроводности газа и частицы соответственно; $\nu_e^{(c)}$ и D_{12} — коэффициенты кинематической вязкости и диффузии; λ_c — бóльшая из двух длин свободного пробега молекул газовой смеси; R — радиус частицы; c_1 — относительная концентрация первого компонента $c_1=n_1/n$, где $n=n_1+n_2$, а n_1 и n_2 — концентрации молекул первого и второго сорта.

Найденная в ([2]) формула для скорости термодиффузиофореза малых частиц также зависит от объемной термодиффузии (см. в (2) член с k_{TD}):

$$\mathbf{U}_{TD}=-\left\{D_{12}\frac{n(m_1m_2)^{1/2}}{\rho}\frac{[m_2^{1/2}(1+\pi q_1/8)-m_1^{1/2}(1+\pi q_2/8)\,]}{[n_1m_1^{1/2}(1+\pi q_1/8)+n_2m_2^{1/2}(1+\pi q_2/8)\,]}-\right.$$

$$\left.-\frac{(2kT)^{1/2}}{4}\,\frac{[n_1d_1+n_2d_{-1}]}{[n_1m_1^{1/2}(1+\pi q_1/8)+n_2m_2^{1/2}(1+\pi q_2/8)\,]}\right\}n\operatorname{grad}c_1-$$

$$-\left\{D_{12}k_{TD}\frac{n^2(m_1m_2)^{1/2}}{\rho}\frac{[m_2^{1/2}(1+\pi q_1/8)-m_1^{1/2}(1+\pi q_2/8)]}{[n_1m_1^{1/2}(1+\pi q_1/8)+n_2m_2^{1/2}(1+\pi q_2/8)]}-\right.$$

$$\left.-\frac{(2kT)^{1/2}}{4}\frac{[n_1a_1+n_2a_{-1}]}{[n_1m_1^{1/2}(1+\pi q_1/8)+n_2m_2^{1/2}(1+\pi q_2/8)]}\right\}\frac{\operatorname{grad}T}{T}, \qquad (2)$$

где m_1 и m_2 — массы молекул первого и второго сорта; k — постоянная Больцмана; ρ — плотность газовой смеси; T — температура. Коэффициенты $d_{\pm1}$ и $a_{\pm1}$ зависят от параметров сталкивающихся молекул, T, n_1, n_2 имеют сложную структуру, вследствие чего мы их здесь не приводим. Эти коэффициенты могут быть найдены по формулам, приведенным в монографии ([3]).

При $\operatorname{grad}c_1=0$ формулы (1) и (2) переходят в наиболее общие формулы для скорости термофореза нелетучих частиц. До настоящего времени считалось, что термодиффузия не оказывает существенного влияния на скорость термофореза, и ею пренебрегали. Нами было оценено относительное влияние термодиффузии на скорость термофореза в случае бинарной газовой смеси, образованной молекулами гелия (m_1) и воздуха (m_2). Как видно из данных табл. 1 и 2 и кривых рис. 1 и 2, термодиффу-

Таблица 1

c_1	0	0,33	0,50	0,71	1
$K_{TD}^{(sl)}$	0	0,46	0,57	0,58	0
$K_{Tsl}^{(c)}$	1,47	1,55	1,66	1,81	1,12
$K_{TD}^{(sl)}/K_{Tsl}^{(c)}$	0	30%	34%	32%	0

Таблица 2

R (μ)	$c_1=0$	$c_1=0,33$	$c_1=0,50$	$c_1=0,71$	$c_1=1$	R (μ)	$c_1=0$	$c_1=0,33$	$c_1=0,50$	$c_1=0,71$	$c_1=1$
	$f_{TD}^{(c)}/f_T^{(c)}$ для NaCl						$f_{TD}^{(c)}/f_T^{(c)}$ для Fe				
100	0	−6,55	−5,68	−2,72	0	100	0	−19,12	−18,15	−12,53	0
10	0	−1,52	−1,71	−0,87	0	10	0	−2,05	−1,89	−1,51	0
1	0	0,07	+0,12	0,13	0	1	0	0,07	0,11	0,10	0
0,5	0	0,19	0,23	0,22	0	0,5	0	0,19	0,23	0,22	0
$R<0,025$	0	−0,17	−0,21	−0,22	0	$R<0,025$	0	−0,3	−0,3	−0,3	0

зионные эффекты в случае сравнимых концентраций обоих компонентов могут существенно сказаться на термофоретическом движении частиц, причем особенно сильно они влияют на движение умеренно крупных частиц вплоть до изменения направления скорости движения (как это видно из рис. 1 и 2).

В табл. 1 приведены значения коэффициентов $K_{Tsl}^{(c)}$ и $K_{TD}^{(sl)}$, а также их относительные значения в зависимости от относительной концентрации молекул гелия c_1. В табл. 2 даны относительные значения $f_{TD}^{(c)}$ и $f_T^{(c)}$ (см. (3)) от c_1 для частиц NaCl и Fe при различных радиусах частиц. На рис. 1 и 2 приведены кривые зависимости $(f_{TD}^{(c)}+f_T^{(c)})$ от безразмерной

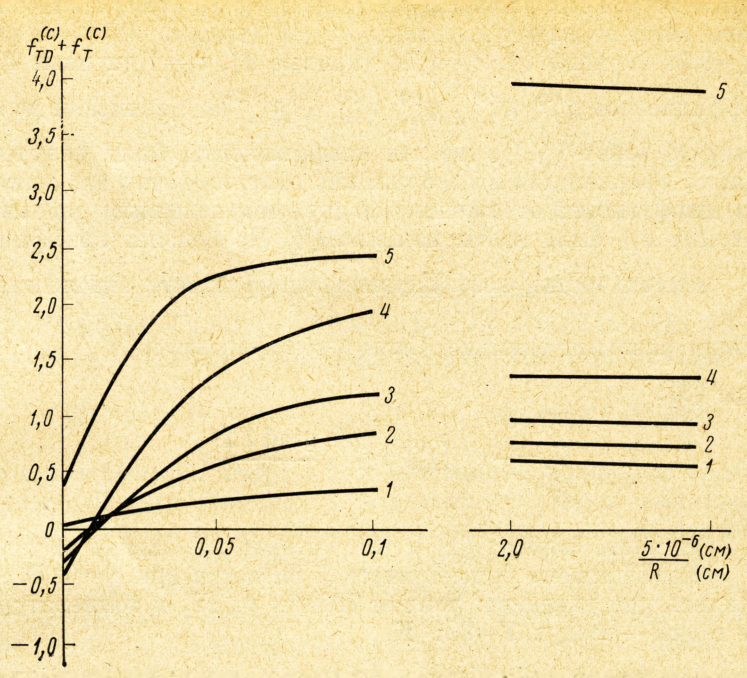


Рис. 1. Кривые зависимости коэффициента $(f_{TD}^{(c)}+f_T^{(c)})$ от переменной $5\cdot10^{-6}/R$ у частиц NaCl в смеси гелий – воздух

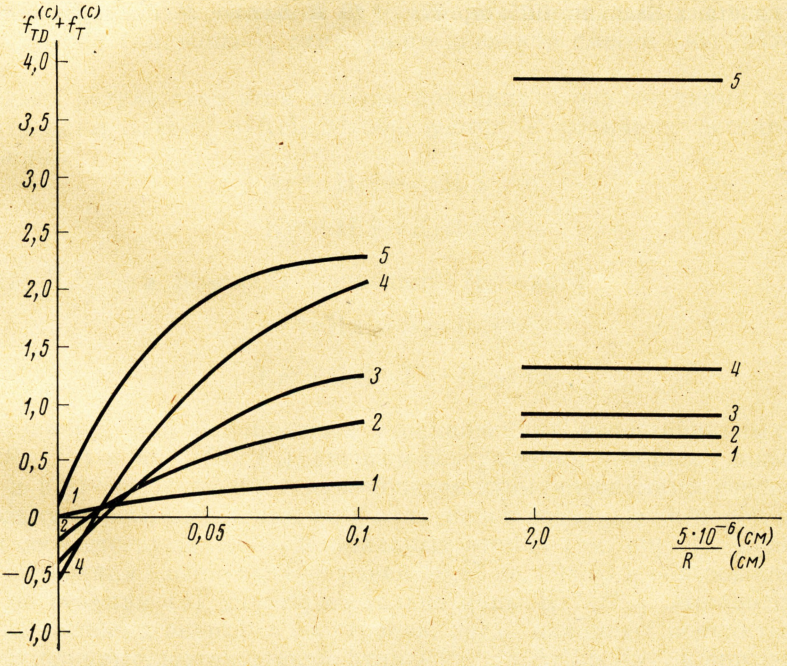


Рис. 2. Кривые зависимости коэффициента $(f_{TD}^{(c)}+f_T^{(c)})$ от переменной $5\cdot10^{-6}/R$ у частиц Fe в смеси гелий – воздух

переменной $5 \cdot 10^{-6}/R$ для частиц NaCl (рис. 1) и Fe (рис. 2). Кривые построены при концентрациях c_1, равных $c_1=0$ (кривые *1*), $c_1=0{,}33$ (кривые *2*), $c_1=0{,}50$ (кривые *3*), $c_1=0{,}71$ (кривые *4*), $c_1=1$ (кривые *5*). Значения коэффициентов $K_T^{(c)}$, $K_{Tsl}^{(c)}$, $K_{sl}^{(c)}$, $C_m^{(c)}$ и K_{TD} мы оценивали по формулам, взятым из работ ([4], [5]), где эти коэффициенты были получены без учета влияния сферичности на скольжение газа; при этом значения коэффициентов диффузности отражения молекул мы положили равными единице. Значения k_{TD} были взяты нами из ([3]). При оценке коэффициентов $f_{TD}^{(c)}$ и $f_T^{(c)}$ мелких частиц коэффициенты диффузности отражения молекул мы взяли равными единице. Смысл коэффициентов $f_{TD}^{(c)}$ и $f_T^{(c)}$ ясен из формулы (3):

$$\mathbf{U}_T=-\nu^{(0)}\left[f_{TD}^{(c)}+f_T^{(c)}\right]\frac{\operatorname{grad} T_\infty}{T}, \qquad (3)$$

где $\nu^{(0)}f_T^{(c)}$ — та часть формул (1) и (2), которая не зависит от термодиффузии, $\nu^{(0)}$ — коэффициент кинематической вязкости при $c_1=0$. Все расчеты проводились при давлении, равном 700 мм рт. ст., и температуре газовой смеси галий — воздух $T=293°$ K.

Калининский государственный университет

Поступило 22 III 1976

ЛИТЕРАТУРА

[1] *Ю. И. Яламов, О. А. Барсегян, В. С. Галоян,* ЖФХ, т. 47, № 10, 2722 (1973). [2] *Ю. И. Яламов, Е. Р. Щукин,* Изв. АН СССР, Механика жидкости и газа, № 3, 186 (1972). [3] *С. Чепмен, Т. Каудинг,* Математическая теория неоднородных газов, М., ИЛ, 1960. [4] *Ю. И. Яламов, М. Н. Гайдуков,* Сб. Физика аэродисперсных систем и физическая кинетика, Калинин, 1975, стр. 37. [5] *Ю. И. Яламов, М. Н. Гайдуков,* там же, стр. 49.