



УДК 533.15

А.В. Семенов

### ТЕРМОДИФфуЗИЯ В ГАЗОВОЙ СМЕСИ АРГОН-ГЕЛИЙ

Свойства термодиффузионного молекулярного переноса массы бинарных газовых систем используются при расчетах и оптимизации процессов разделения изотопов [1] и процессов массообмена [2].

В настоящее время наиболее надежным методом исследования термодиффузии в газах следует считать экспериментальные измерения. Уравнения, отображающие зависимость термодиффузионной постоянной  $\pm_T$  от состава и температуры, можно получить аппроксимацией экспериментальных данных независимых исследований различных авторов. Относительные погрешности экспериментальных данных принимаются по оценкам авторов работ с учетом существующего мнения о точности и достоверности используемых экспериментальных методов. Из экспериментальных методов наибольшее распространение получили двухобъемные аппараты, с помощью которых проведена большая часть исследований.

В методе двухобъемного аппарата [3, 4] газовая смесь заполняется в термодиффузионный прибор, состоящий из двух вертикально расположенных сосудов, соединенных между собой капиллярной трубкой. Сосуды поддерживаются при разных температурах, причем верхний сосуд находится при более высокой температуре, что позволяет исключить конвективные потоки. По достижении установившегося состояния берутся пробы для анализа и рассчитывается коэффициент термодиффузионного разделения

$$q = \left( \frac{I_1^{\text{гор}}}{I_2^{\text{гор}}} \right) / \left( \frac{I_1^{\text{хол}}}{I_2^{\text{хол}}} \right), \quad (1)$$

$$\ln q = a_T \ln \frac{T_{\text{гор}}}{T_{\text{хол}}}, \quad (2)$$

где  $q$  - коэффициент термодиффузионного разделения;

$I_1^{\text{хол}}, I_2^{\text{хол}}$  - концентрация соответственно  $He$  и  $Ar$  в „холодном” сосуде термодиффузионного прибора в равновесном состоянии при  $T_{\text{хол}}$ ;

$I_1^{\text{гор}}, I_2^{\text{гор}}$  - концентрация соответственно  $He$  и  $Ar$  в „горячем” сосуде термодиффузионного прибора в равновесном состоянии при  $T_{\text{гор}}$ ;

$a_T$  - термодиффузионная постоянная.

Термодиффузионная постоянная  $a_T$  соответствует температуре  $T_{\text{ср}}$ , находящейся внутри интервала температур от  $T_{\text{гор}}$  до  $T_{\text{хол}}$ , определяемого выражением [3]

$$T_{\text{ср}} = \frac{T_{\text{гор}} T_{\text{хол}}}{T_{\text{гор}} - T_{\text{хол}}} \ln \frac{T_{\text{гор}}}{T_{\text{хол}}}. \quad (3)$$

Средняя температура  $T_{\text{ср}}$  называется температурой Брауна.

Исходный массив опытных данных [6-30] был аппроксимирован уравнением методом наименьших квадратов

$$a_T = 0.3885 - \frac{\left[ 65.42 \left( \frac{I_1}{100} \right) - 30.78 \right]}{T_{\text{ср}}}, \quad (4)$$

где  $I_1$  - концентрация  $He$  в термодиффузионном приборе до процесса разделения, % объемные.

Анализ уравнения (4) показал, что распределение остатков близко к нормальному, а сама функция и ее коэффициенты существенно значимы. В уравнение (4) оптимальное число констант 3. Обычно оптимальное число констант уравнения определяют, сравнивая дисперсии уравнений с различным числом констант. В качестве окончательного принимается такое количество констант, когда при увеличении числа коэффициентов дисперсия перестает устойчиво убывать. При этом в качестве критерия значимости уменьшения дисперсии используется критерий Фишера [5]. Средняя квадратичная погрешность  $\sigma = 9,7\%$ . Интервалы изменения параметров состояния, охваченных экспериментальными данными, следующие:  $I_1 = 3,3 - 93,2\%$ ,  $T_{\text{гор}} = 1010 - 283\text{ К}$ ,  $T_{\text{хол}} = 300 - 80\text{ К}$ .

#### Литература

1. Джонс К., Ферри В. Разделение изотопов методом термодиффузии. - М.: Изд-во иностранной литературы, 1947. - С. 168.
2. Берд Р., Стьюарт В., Лайтфут Е. Явления переноса. - М.: Изд-во „Химия”, 1974. - С. 668.
3. Грю К. Э., Иббс Т. Л. Термическая диффузия в газах. - М.: Государственное изд-во технико-теоретической литературы, 1956. - С. 186.
4. Chapman S., Dootson F. W. Thermal Diffusion // Philos. Mag. 1917. V. 33. № 195. P. 248 - 253.
5. Козлов А. Д., Кузнецов В. М., Мамонов Ю. В. Анализ современных методов расчета рекомендуемых справочных данных о коэффициентах вязкости и теплопроводности газов и жидкостей. // Обзоры по теплофизическим свойствам веществ. - М.: Институт



- высоких температур АН СССР, 1989, № 3 (77).
6. Ibbs T.L. Thermal Diffusion Measurements // Proc. Roy. Soc., London, 1925, vol. 107 A, No. 743, P. 470-486.
  7. Ibbs T.L., Grew K.E. The Influence of Low Temperatures on the Thermal Diffusion Effect, Proc. Phys. Soc., London, 1931, vol. 43, No. 237, p. 142-156.
  8. Puschner M. Untersuchungen uber Thermische Diffusion in Gasmischen. II, Ztschr. Phys., 1937, Bd. 106, No. 9-10, s. 597-605.
  9. Atkins B.S., Bastick R.S., Ibbs T.L. Thermal Diffusion in Mixtures of the Inert Gases, Proc. Roy. Soc., London, 1939, vol. 172 A, No. 948, p. 142-158.
  10. Grew K.E. Thermal Diffusion in Mixtures of the Inert Gases, Proc. Roy. Soc., London, 1947, vol. 189 A, No. 1018, p. 402-414.
  11. van Itterbeek A., de Troyer A. Further Experiments on the Thermal Diffusion of Gases at Low Temperatures, Physica, 1950, vol. 16, No. 3, p. 329-332.
  12. Saxena S.C., Mason E.A. Thermal Diffusion and the Approach to the Steady State in Gases. Mol. Phys., 1959, vol. 2, No. 4, p. 379-396.
  13. Котоусов Л.С. К вопросу о связи коэффициента термодиффузии с термодинамическими свойствами бинарных смесей. II. Зависимость коэффициента термодиффузии газовой смеси от давления в области 0,01-0,5 ат. // Журнал технической физики, 1962, т. 32, № 1. – С. 224-229.
  14. van Dael W., van Itterbeek A., Cauwenbergh H., Measurements of the Thermal Diffusion Factor in the Pressure Range 1-400 torr, Physica, 1966, vol. 32, No. 3, p. 621-624.
  15. Mathur B.P., Saxena S.C. Composition Dependence of the Thermal Diffusion Factor in Binary Gas Mixtures. Z. Naturforsch., 1967, Bd. 22 A, No. 2, s. 164-169.
  16. Mathur B.P., Nain V.P.S., Saxena S.C. A Note on the Composition Dependence of the Thermal Diffusion Factor of Ar-He System Z. Naturforsch., 1967, Bd. 22 a, Heft 5, s. 840.
  17. Mathur B.P., Joshi R.K., Saxena S.C. Thermal Diffusion Factor from the Measurements on a Trennschaukel: Ar-He, Kr-Ne, J. Chem. Phys., 1967, vol. 46, No. 12, p. 4601-4603.
  18. Joshi R.K., Mathur B.R., Saxena S.C. Evaluation of Thermal Diffusion Factor and Diffusion Coefficient from Measurement on a Treunschankel, Mol. Phys., 1967, vol. 12, No. 5, p.249-257.
  19. Humpreys A.E., Mason E.A. Intermolecular Forces: Thermal Diffusion and Diffusion in Ar-Kr, Phys. Fluids, 1970, vol. 13, No. 1, p.65-70.
  20. Золотухина А.Ф. Экспериментальное определение термодиффузионного фактора для смеси He-Ar. Тепло- и массоперенос и переносные свойства веществ, т. 7. – Минск, 1972. – С. 169-173.
  21. Богатырев А.Ф., Косов Н.Д., Маклецова Е.Е. Исследование зависимости термодиффузионной постоянной бинарных смесей газов от температуры и концентрации. Теплофизические свойства газов, – М.: Изд-во стандартов, 1973. – С. 33-37.
  22. Saviron J.M., Santamaria C.M., Carrion J.A., Yarza J.C. Isotopic and Nonisotopic Thermal Diffusion Factors from Column Measurements, J. Chem. Phys., 1975, vol. 63, No. 12, p. 5318-5321.
  23. Santamaria C.M., Saviron J.M., Yarza J.C. Law of Corresponding States and Thermal-Diffusion Factor of He-Ar Mixtures from Two-Bulb Measurements, Physica, 1976, vol. 84 A, No., p. 212-215.
  24. Жданов В.Л., Золотухина А.Ф. Исследование термодиффузионной постоянной смеси He-Ar при низких температурах. Исследование процессов тепло- и массопереноса в веществах различного агрегатного состояния. – Минск, 1977. – С. 28-35.
  25. Symons J.M., Martin M.L., Dunlop P.J. Thermal Diffusion in Mixtures of Helium with Argon, Neon, Nitrogen and Carbon Dioxide and Neon with Argon, J. Chem. Soc. Faraday Trans., 1979, vol. 75, No. 3, p. 621-630.
  26. Богатырев А.Ф., Лаптев В.Н. Экспериментальное исследование термодиффузионного разделения в изобарных условиях. Теплофизика газов и жидкостей. – Алма-Ата, 1980. – С. 32-35.
  27. Trengove R. D., Robjohns H.L., Bell T.W., Martin M.L., Dunlop P.J. Thermal Diffusion Factors at 300 K for Seven Binary Noble Gas Systems Containing Helium or Neon, Physica, 1981, vol. 108A, No. 2-3, 488-501.
  28. Trengove R.D., Dunlop P.J. The Temperature Dependence of the Thermal Diffusion Factors of Binary Systems of Nitrogen with Five Noble Gases and of Helium with Argon, Ber. Bunsenges. Phys. Chem., 1983, Bd. 87, No. 10, s. 874-877.
  29. Trengove R. D., Harris K.R., Robjohns H.L., Dunlop P.J. Diffusion and Thermal Diffusion in some Dilute Binary Gaseous Systems between 195 and 400 K: Tests of Several Asymmetric Potentials Using the Infinite order Sudden Approximation, Physica, 1985, vol. 131A, No. 3, 505-519.
  30. Hurly J.J., Taylor W.L., Menke D.A., Thermal Diffusion Factors for Equimolar He-Ar from 80 to 640 K and Equimolar He-Xe from 140 to 270 K, J. Chem. Phys. 1991, vol. 94, No. 12, p. 8282-8288.