

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

01; 02

Журнал технической физики, т. 60, в. 10, 1990

© 1990 г.

ЗАКОН ПОДОБИЯ ДЛЯ РАВНОВЕСНЫХ И НЕРАВНОВЕСНЫХ СВОЙСТВ ГАЗОВ И ЖИДКОСТЕЙ

Э. Г. Азнакаев

Проблема нахождения равновесных и неравновесных свойств плотных газов и жидкостей чрезвычайно важна. Для описания систем многих взаимодействующих частиц используются методы статистической физики [1].

В работе [2] предложено описание процессов переноса в плотных газах и жидкостях. На основании результатов работы [2] в данной работе получены новые расчетные формулы для определения неравновесных и равновесных свойств газов и жидкостей в широком диапазоне термодинамических переменных. Установлен закон подобия для равновесных и неравновесных свойств газов и жидкостей.

Пусть β — равновесные и неравновесные характеристики вещества, β_T — соответствующие величины для разреженного газа, определяемые по формулам кинетической теории газов [3], $\beta^* = \beta/\beta_T$, тогда из анализа результатов работы [2] запишем

$$\ln \beta^* = \alpha_0^* \rho^* T^{*-1} - \alpha_1^* \rho^{*2} T^{*-2}. \quad (1)$$

Здесь ρ — плотность вещества; T — его температура; $\rho^* = \rho/\rho_{кр}$; $T^* = T/T_{кр}$; α_i^* — числовые постоянные; $\alpha_0^* = 1$; $\alpha_1^* = K/4$; K — постоянная величина, близкая к единице; $\rho_{кр}$ и $T_{кр}$ — критические плотность и температура вещества.

При обработке экспериментальных данных широкого класса веществ в широком диапазоне термодинамических переменных использовались соотношения типа (1). Они характеризуются хорошей точностью.

Соотношения проверялись на экспериментальных значениях коэффициента теплопроводности жидких и газообразных неона, аргона, криптона, ксенона, азота, кислорода, воздуха, различных углеводородов, двуокиси углерода, фреонов. Погрешность рассчитанных значений не превышает 4 %, что обычно лежит внутри области погрешностей эксперимента. Максимальный диапазон, в котором проводилось сравнение рассчитанных и экспериментальных значений, составляет по температуре от криогенных до 2000 К и по давлению от низких до 3000 бар.

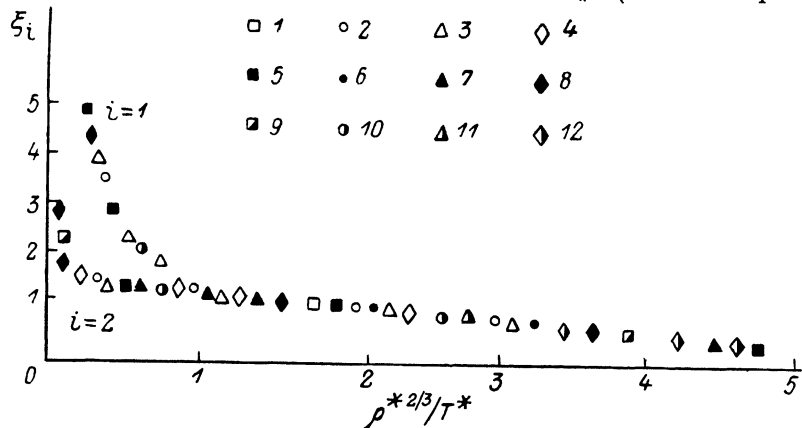
Формулы проверялись на экспериментальных значениях коэффициента сдвиговой вязкости жидкого и газообразного криптона, углекислого газа, различных углеводородов, воздуха, азота, кислорода, аргона, неона, ксенона, водорода, фтора, фреонов. Погрешность рассчитанных значений не превышает 2 %, что обычно лежит внутри области погрешностей экспериментальных данных. Максимальный диапазон, в котором проводилось сравнение рассчитанных и экспериментальных значений, составляет по температуре от криогенных до 2000 К и по давлению от низких до 5000 бар.

Проводилась проверка и на экспериментальных значениях давления жидких и газообразных аргона, криптона, ксенона, неона, метана, азота, кислорода, двуокиси углерода, воздуха, бензола, водорода, различных углеводородов, фреонов. Погрешность рассчитанных значений не превышает 0.5 %. Максимальный диапазон, в котором проводилось сравнение рассчитанных и экспериментальных значений, составляет по температуре от криогенных до 5000 К и по давлению от низких до 1000 бар. На основании расчетных формул для давления рассчитываются различные термодинамические и калорические свойства исследуемых веществ.

Для подтверждения работоспособности полученных соотношений и выполнения закона подобия для широкого класса исследованных веществ построены графики зависимости величин ξ_i от $\rho^{*2/3}/T^*$.

На рисунке $\xi_i = T^* \rho^{*-1} \ln \beta^*$. Для $i=1$ $\beta^* = \beta/\beta_{т.с}$, для $i=2$ $\beta^* = \beta/\beta_r$. Здесь $\beta_{т.с}$ рассчитывается для разреженного газа в модели твердых сфер, а β_r — для разреженного газа частиц, взаимодействующих посредством межмолекулярного потенциала Леннарда—Джонса [1, 3].

Из рисунка видно, что данные различных веществ укладываются на единую кривую. Это дает экспериментальное подтверждение справедливости закона подобия в форме, предлагаемой в работе, и показывает совпадение экспериментальных и рассчитанных значений величин в широкой области существования жидкой и газовой фаз (исключая окрестность кри-



1 — аргон, 2 — ксенон, 3 — криптон, 4 — неон, 5 — метан, 6 — азот, 7 — кислород, 8 — водород, 9 — двуокись углерода, 10 — фтор, 11 — воздух, 12 — бензол.

тической точки жидкость—газ). Тангенс угла наклона кривых к оси абсцисс равен $1/4$ при $\rho^{*2/3}/T^* \geq 1$. При построении графиков и оценке точности расчетных формул использовались экспериментальные данные работы [4].

Построенный обобщенный график работы может быть использован для определения неравновесных и равновесных свойств различных газов и жидкостей в широком диапазоне термодинамических переменных.

Отметим, что, как следует из формулы (1), при $\rho^* \ll 1$ и $T^* \gg 1$ газ близок к идеальному, так как $\beta^* = \beta/\beta_r$ стремится к единице, т. е. $\beta \rightarrow \beta_r$. Величина $\xi = (T \ln \beta^*)/\rho$ при этом не стремится к нулю, так как знаменатель ρ стремится к нулю.

Как видно из приведенного рисунка, область достаточно хорошей интерполяции экспериментальных данных формулой (1) определяется условием $\rho^{*2/3}/T^* > 0.8$. Отсюда видна неприменимость расчетной формулы (1) в предельном случае идеального газа.

Соотношение (1) применимо для веществ, состоящих из молекул, взаимодействующих посредством сферически симметричного или близкого к нему межмолекулярного потенциала. Вещества, молекулы которых имеют большой постоянный дипольный момент и не описываются сферически симметричным потенциалом (как, например, вода), не рассматриваются в работе. Не рассматриваются вещества, например He^4 , при рассмотрении которых необходим учет квантовых эффектов.

Список литературы

- [1] Климонтович Ю. Л. Статистическая физика. М.: Наука, 1982. 608 с.
- [2] Азнакаев Э. Г. // ДАН УССР. Сер. физ.-мат. наук. 1983. № 2. С. 49—51.
- [3] Чепмен С., Каулинг Т. Математическая теория неоднородных газов. М.: ИЛ, 1960. 510 с.
- [4] Рид Р., Праусниц Дж., Шервуд Т. Свойства газов и жидкостей. Л.: Химия, 1982. 592 с.

Киевский институт инженеров
гражданской авиации

Поступило в Редакцию
21 ноября 1989 г.